

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA EMPACADORA Y  
SELLADORA AL VACÍO MANUAL PARA POLLO

JUAN SEBASTIÁN LEÓN BECERRA  
JULIÁN DAVID MURCIA PEÑA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA

2013

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA EMPACADORA Y  
SELLADORA AL VACÍO MANUAL PARA POLLO

JUAN SEBASTIÁN LEÓN BECERRA  
JULIÁN DAVID MURCIA PEÑA

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO

DIRECTOR  
OMAR ARMANDO GELVEZ AROCHA  
INGENIERO MECÁNICO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA

2013

## DEDICATORIA

*A mis padres José Antonio y Myriam, por su apoyo y amor.*

*A mis hermanos Daniel y Diego.*

*Juan Sebastián.*

*Este triunfo se lo dedico a Dios y a mi Familia, por estar siempre conmigo*

*Julián Murcia.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Al profesor Omar Gelvez por brindarnos su colaboración y asesoría en el desarrollo del proyecto. A todos los profesores de la escuela de ingeniería mecánica por compartir su conocimiento y formarnos como profesionales. A Freddy Vargas por su ayuda.

Juan Sebastián León.

A Mónica Ruiz por su amistad, compañía y colaboración en el desarrollo de este proyecto.

A Freddy Vargas por sus consejos.

A mis amigos Freddy Herrera y Jefferson Ávila los vagos, quienes bajaron mi promedio.

Al profesor Omar Gelvez por su amistad.

Julián David Murcia.

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	19
1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....	21
1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA .....	21
1.2 JUSTIFICACIÓN PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA .....	22
1.3 OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO .....	22
1.3.1 Objetivos Generales .....	22
1.3.2 Objetivos Específicos.....	22
2. ALIMENTOS Y SU CONSERVACIÓN .....	23
2.1 MÉTODOS DE CONSERVACIÓN Y VIDA ÚTIL DE ALIMENTOS.....	24
2.1.1 Mediante calor .....	25
2.1.2. Mediante frío .....	25
2.1.3 Deshidratación.....	25
2.1.4 Irradiación.....	26
2.1.5 Atmosfera modificada.....	26
2.1.6 Métodos químicos.....	26
2.2 ESTIMACIÓN DE VIDA ÚTIL DE UN ALIMENTO .....	26
2.2.1 Pruebas organolépticas .....	27
2.2.2 Pruebas fisicoquímicas .....	28
2.2.3 Pruebas microbiológicas.....	29
2.3 CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS CARNICOS CRUDOS: POLLO .....	32
2.4 METODOS DE EMPAQUE PARA CONSERVACION DE ALIMENTOS.....	33
2.4.1 El empaque al vacío y en atmósfera protectora.....	35
2.4.1.1 Materiales plásticos de empaque al vacío .....	36
3. MAQUINAS EMPACADORAS AL VACÍO .....	37
3.1 MÁQUINA EMPACADORA AL VACÍO TIPO BOQUILLA.....	37
3.2 MAQUINA EMPACADORA DE VACÍO TIPO CÁMARA.....	38
3.3 MÁQUINA EMPACADORA AL VACÍO TIPO SKIN.....	40

3.4 TERMOFORMADORA AL VACÍO .....	40
5. SELECCIÓN, DESCRIPCIÓN Y CRITERIOS DE DISEÑO DE LA MÁQUINA ..	41
5.1 METODOLOGÍA QFD PARA EL DISEÑO DE LA MÁQUINA .....	42
5.2 SELECCIÓN DE LA MÁQUINA .....	45
5.3 DESCRIPCIÓN DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA .....	46
6. SISTEMA DE VACÍO .....	50
6.1 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE VACÍO.....	51
6.2 BOMBAS DE VACÍO .....	54
6.3 MÉTODOS DE MEDICIÓN DE VACÍO .....	56
6.4 SELECCIÓN DE LA BOMBA DE VACÍO .....	57
7. SISTEMA DE SELLADO.....	64
7.1 DISEÑO DEL SISTEMA DE SELLADO .....	64
7.2 DISEÑO DE LAS PARTES EN EL SISTEMA DE SELLADO.....	67
7.2.1. Bolsa neumática: .....	67
7.2.2 Mordaza o viga inferior.....	67
7.2.3 Mordazas o viga superior.....	70
7.2.3.1 Cálculo de resistencia de la viga superior .....	70
7.2.4 Selección del caucho siliconado .....	72
7.2.5 Selección de la resistencia de ferroníquel.....	73
7.2.6 Selección del transformador .....	74
7.3 CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE SELLADO.....	76
8. SISTEMA ESTRUCTURAL.....	79
9. DISEÑO DE LA BANDEJA .....	80
9.1 DISEÑO DE LA TAPA DE ACRÍLICO.....	83
9.1.1 Cálculo del espesor de la tapa de acrílico .....	84
9.2 DISEÑO DE LA CARCASA.....	88
9.3 DISEÑO DEL RESORTE:.....	90
10. SISTEMA DE CONTROL.....	96
11. DISEÑO Y DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL.....	97
12. CONSTRUCCIÓN, ENSAMBLE Y PUESTA EN MARCHA .....	101

12.1 CARCASA DE LA MAQUINA.....	101
12.1.1 Cizallado .....	102
12.1.2 Perforado .....	102
12.1.3 Doblado.....	102
12.2 PROCESO DE UNIÓN DE LAS PARTES DE LA MAQUINA.....	103
12.3 TRATAMIENTO DE SUPERFICIES. ....	104
12.4 PROCESO DE ENSAMBLE.....	104
13. DETERMINACIÓN DE LA VIDA ÚTIL DEL POLLO EMPACADO AL VACÍO	106
13.1 DESARROLLO DE LAS PRUEBAS ORGANOLÉPTICAS FISICOQUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICO .....	106
13.1.1 Pruebas organolépticas .....	106
13.1.2 Pruebas fisicoquímicas .....	108
13.1.3 Pruebas microbiológicas .....	112
13.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS VIDA ÚTIL DEL PRODUCTO .....	113
14. ANÁLISIS DE COSTOS.....	115
14.1 COSTOS DIRECTOS .....	115
14.2 COSTOS INDIRECTOS.....	118
14.3 COSTO TOTAL DE LA MÁQUINA.....	118
14.4 COSTOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA VIDA ÚTIL DEL POLLO ....	119
CONCLUSIONES .....	120
RECOMENDACIONES.....	122
BIBLIOGRAFÍA.....	123
ANEXOS.....	125

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Empacadora al vacío tipo boquilla .....	37
Figura 2. Tipos de empacadoras de cámara al vacío .....	39
Figura 3. Termoformadora al vacío.....	40
Figura 4. Medidas de la gallina para el diseño de la máquina. ....	42
Figura 5. Descripción alternativa seleccionada.....	47
Figura 6. Subsistemas de la maquina empacadora al vacío.....	48
Figura 7. Pasos de funcionamiento de la maquina seleccionada .....	49
Figura 8. Partes sistema de vacío.....	51
Figura 9. Esquema general del funcionamiento del sistema de vacío paso a paso .....	52
Figura 10. Mapa conceptual bombas de vacío. ....	54
Figura 11. Vacuómetro de tubo de Bourdón .....	57
Figura 12. Esquema simplificado instalación de vacío.....	59
Figura 13. Presión contra trayectoria media libre de las moléculas .....	60
Figura 14. Flujos de aire en la cámara de vacío .....	61
Figura 15. Grafica de presión de la cámara contra tiempo de succión .....	62
Figura 16. Bomba de vacío de paletas CPS 6S.....	63
Figura 17. Sistema de sellado por impulso y sus partes.....	65
Figura 18. Defectos en el sellado.....	66
Figura 19. Manguera neumática de PVC.....	67
Figura 20. Amplificador de presión .....	68
Figura 21. Perfil de aluminio cuadrado de 1 pulg y su sección transversal.....	70
Figura 22. Estado de carga de la viga superior con apoyos .....	71
Figura 23. Diagramas de cortante y momento flector .....	71
Figura 24. Caucho siliconado de uso industrial.....	73
Figura 25. Cinta Nicrom .....	73
Figura 26. Esquema de la resistencia de ferroníquel para el doble sellado.....	74



Figura 27. Transformador de 150 W de 115 V a 30 V .....	76
Figura 28. Barras de sellado inferior .....	76
Figura 29. Descripción paso a paso de la construcción del sistema de sellado ....	77
Figura 30. Sistema de sellado.....	78
Figura 31. Descripción del sistema estructuras .....	79
Figura 32. Estructura de la bandeja de la cámara de vacío .....	80
Figura 33. Solución CAE para el campo de tensiones de la bandeja .....	81
Figura 34. Campo de desplazamientos .....	82
Figura 35. Tapa de acrílico .....	83
Figura 36. Solución CAE tensiones de von Mises .....	87
Figura 37. Campo de deformaciones.....	88
Figura 38. Deformaciones de la carcasa .....	89
Figura 39. Vista lateral maquina a) cerrada b) máxima apertura .....	90
Figura 40. DCL tapa de acrílico, condición cerrada .....	91
Figura 41. D.C.L. Tapa de acrílico y bisagras, condición máxima apertura .....	91
Figura 42. Especificaciones del resorte seleccionado .....	95
Figura 43. Tablero de mando.....	96
Figura 44. Circuito de control.....	98
Figura 45 Distribución para el corte de piezas en lámina de 8 x 4 pies .....	101
Figura 46. Cizallado, perforado y doblado de láminas metálicas.....	103
Figura47. Cronograma para realizar pruebas microbiológicas. ....	112
Figura 48. Muslos de pollo marca Mac Pollo .....	140
Figura 49. Lavado del pollo.....	141
Figura 50. Pollo sumergido ensalmuera .....	141
Figura 51 .Ecurrido del pollo .....	141
Figura 52. Pollo escurriendo en el refrigerador por 20 min.....	141
Figura 53. Empaque de muslos de pollo.....	142
Figura 54. Muslos empacados.....	142
Figura 55. Días para desarrollar las pruebas organolépticas, fisicoquímicas y microbiológicas .....	143

Figura 56. Pollo cortado en trozos pequeños para ser molidos .....	144
Figura 57. Pollo molido a 6000 rpm durante 20 s .....	144
Figura 58. 10.5779 g de pollo en un vaso de licuadora .....	144
Figura 59. Licuado de 10.5779 g de pollo en 90 ml de agua destilada .....	144
Figura 60. Medición del PH en la primera prueba .....	145
Figura 61. Peso de la caja de Petri .....	146
Figura 62. Peso de la muestra esparcida aproximada a 2 g .....	146
Figura 63. Reacciones en el plano medio en placa y lámina .....	148
Figura 64. Deformación de una sección de placa .....	149
Figura 65. Sección transversal de un elemento diferencial de placa .....	151
Figura 66. Diagrama de cuerpo libre del plano medio de la placa .....	153

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Requisitos microbiológicos del pollo beneficiado .....	30
Tabla 2. Matriz de despliegue de la función de calidad .....	44
Tabla 3. Alternativas preseleccionadas .....	45
Tabla 4. Evaluación de las alternativas.....	46
Tabla 5. Rangos de operación de las bombas de vacío. ....	55
Tabla 6. Tipos de vacuómetros y rangos de operación .....	56
Tabla 7. Propiedades del acero inoxidable .....	82
Tabla 8. Propiedades del acrílico.....	83
Tabla 9. Calcificación de calidad.....	108
Tabla 10. Características organolépticas.....	108
Tabla 11. Requisitos fisicoquímicos del pollo beneficiado. ....	109
Tabla 12. Resultados del PH del pollo .....	110
Tabla 13. Datos para el cálculo del porcentaje de humedad del pollo .....	110
Tabla 14. Resultados porcentaje de humedad .....	111
Tabla 15. Resultados de las pruebas microbiológicas .....	112
Tabla 16. Costos de materia prima .....	115
Tabla 17. Costos de elementos adquiridos.....	116
Tabla 18. Costos de maquinado .....	117
Tabla 19 Costos indirectos .....	118
Tabla 20. Costos totales .....	118
Tabla 21 Costos para la determinación de la vida útil del pollo empacado al vacío .....	119

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. PLANOS .....	126
ANEXO B. TABLA DE RADIO DE DOBLÉS SEGÚN SU CALIBRE .....	139
ANEXO C. PREPARACION DE MUESTRAS .....	140
ANEXO D. PROCEDIMIENTO PARA LA MEDICION DE PH.....	143
ANEXO E. PROCEDIMIENTO PARA MEDIR EL PORCENTAJE DE HUMDEDAD DEL POLLO .....	146
ANEXO F. TEORÍA CLASICA DE PLACAS .....	147
ANEXO G. REPORTE LABORATORIO LABALIME .....	155
ANEXO H. MANUAL DEL USUARIO.....	162

## RESUMEN

### **TITULO:**

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA EMPACADORA Y SELLADORA AL VACÍO MANUAL PARA POLLO.\*

### **AUTORES:**

JUAN SEBASTIAN LEÓN BECERRA  
JULIAN DAVID MURCIA PEÑA \*\*

### **PALABRAS CLAVE:**

Empaque, vacío, termosellado, conservación de alimentos.

### **DESCRIPCIÓN:**

En el presente trabajo de grado se diseña y construye una máquina empacadora de cámara al vacío tipo mesa, convirtiéndose en una propuesta innovadora debido a su tamaño y precio, que la hacen viable económicamente para las medianas y/o pequeñas empresas que busquen expandir sus productos alimenticios.

Se desarrolla esta máquina desde el diseño conceptual, evaluando los diferentes conceptos para después seleccionar el que mejor se adecua a la necesidad, a continuación se hace una división por subsistemas para abordar el diseño de detalle de cada uno de éstos.

Se presenta la selección y el análisis del sistema de vacío así como la implementación con el sistema de control, la selección y montaje de los componentes necesarios en el sistema de termosellado. Finalmente, se muestran los cálculos ingenieriles requeridos como la resistencia y rigidez de la estructura, utilizando para ello métodos teóricos y simulaciones en software CAE.

Se aplica una metodología de evaluación del sellado y del nivel de vacío mediante el uso de pruebas microbiológicas y físico-químicas, que sirven para determinar la extensión en la vida útil de un producto, en este caso, pollo.

Por último se dan las recomendaciones de uso y mantenimiento de la máquina para la lectura por parte del usuario final.

\* Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería mecánica. Director: M.Sc. Omar Armando Gelvez

## ABSTRACT

**TITLE:**

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A MANUAL PACKAGING AND SEALING VACUUM MACHINE FOR MEAT POULTRY.\*

**AUTHORS:**

JUAN SEBASTIAN LEÓN BECERRA  
JULIAN DAVID MURCIA PEÑA \*\*

**KEYWORDS:**

Packaging, vacuum, heat sealing, food conservation.

**DESCRIPTION:**

In the present degree project it is designed and constructed a vacuum packaging machine of table type, becoming an innovative proposal due to its size and cost that makes it an economically viable alternative for the middle size enterprises or the small ones who are seeking for their food products to expand.

This machine is developed from the conceptual design, evaluating the different concepts and then selecting the one who best fulfill the necessity; later the machine is divided into subsystems to perform the detailed design of each one of those.

It is shown the selection and analysis of the vacuum system, also the implementation with the control system; the selection and assembly of the needed components for perform the heat sealing. Finally it is shown the required engineering calculations, such as the resistance and rigidity of the structure, by using theoretical methods and computer aided engineering (CAE) simulations.

An evaluation methodology has been applied to the heat sealing and the vacuum level, through the use of microbiological tests that determines the extension in the product life, in this case, meat poultry.

Lastly usage and maintenance recommendations for an optimal perform are given for the future lecture by the final user.

\* Degree Project

\*\* Faculty of Physical-Mechanical Engineering, Mechanical Engineering School, Director: Msc Omar Armando Gelvez

## INTRODUCCIÓN

En el ámbito mundial, la industria de los alimentos se encuentra en constante crecimiento, por lo que la exigencia en la calidad de los procesos y en los productos se hace cada vez mayor, especialmente aquella relacionada con la calidad higiénica de los mismos.

La principal desventaja en la comercialización de productos alimenticios se ha relacionado con el tiempo de vida útil de éstos. Este tiempo de vida útil o de caducidad depende de la velocidad de deterioro de la mayoría de estos productos, deterioro debido, en mayor proporción, a presencia de contaminantes en cualquiera de las etapas del proceso (desde el momento en que se eligen las materias primas hasta la distribución y almacenamiento) que finalmente pueden afectar la salud de los consumidores.

Con el advenimiento de la revolución industrial y la aparición de nuevas tecnologías de conservación, se han desarrollado métodos como la refrigeración para prolongar aún más la vida útil de productos altamente perecederos, entre los cuales se encuentran los productos cárnicos crudos.

En la actualidad, la innovación tecnológica ha llevado al desarrollo de novedosas máquinas, materiales y procesos de manufactura para preservar y conservar alimentos. Entre estas tecnologías se destacan las máquinas empacadoras al vacío, las cuales permiten prolongar la vida útil de los alimentos, de forma segura, rápida y confiable, mediante la eliminación casi total del aire dentro del envase y un sellado hermético del mismo.

Este sistema previene la re-contaminación de los alimentos brindando una barrera protectora contra la humedad, la luz y cierto grado de aislamiento térmico. De igual

forma inhibe el crecimiento de microorganismos y bacterias aerobias muchas veces patógenas, como por ejemplo, *Listeria*, *Salmonella*, *Escherichia coli*, *Yersinia*, *Staphylococcus* y bacterias anaerobias como *Clostridium botulinum E.* que generan grandes problemas en los consumidores de alimentos perecederos. Adicionalmente, este tipo de empaqueo de alimentos permite a las empresas transportar y comercializar con mayor seguridad sus productos sin perder la calidad de los mismos. De la misma forma impulsa el desarrollo de empresas y microempresas del sector de los alimentos, al consolidar la imagen corporativa mediante un empaque más atractivo e inocuo.

Lo anteriormente mencionado lleva a plantear como objetivo del presente trabajo de grado, la construcción de una máquina empaquera al vacío que sea funcional, fácil de operar, que se adapte a la producción diaria y además proporcione un empaque fuerte y con la hermeticidad debida para asegurar la inocuidad de los productos empaquados.



## **1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA**

La empresa Pluma Roja se encuentra situada en la ciudad de Bogotá, en la dirección: transversal 79 A # 86-03. Se dedica a la venta y distribución de gallina criolla colombiana por mayor y detal; su comercialización promedio son ochenta gallinas diarias.

Con una experiencia de cinco años, la empresa Pluma Roja ha demostrado que la gallina criolla es un producto que tiene mayor demanda en épocas especiales como lo son el día del padre, de la madre, Semana Santa, Navidad, día del amor y la amistad y en los cumpleaños; no obstante, la empresa funciona todo el año; por este motivo se ve obligada a buscar una alternativa que le permita prolongar la vida de su producto sin cambiar sus características que lo distinguen como un producto fresco, sano y natural, sin aditivos químicos ni preservantes.

De seguir esta situación la empresa no podrá aumentar sus ventas ya que sus clientes (Surtidores de tiendas y supermercados) tienen el riesgo de perder su producto; además la empresa no podrá cumplir con su visión de expandirse en otras regiones del país. La empresa quiere ofrecer al consumidor un producto más innovador, que se acople al actual ritmo de vida, pero también debido a la gran diversidad necesita atraer su atención; por este motivo el diseño en los envases adquiere un papel igual o más importante que el propio producto. Una forma de lograr esto es por medio de la conservación y para ello se decidió diseñar y construir una máquina empacadora y selladora al vacío.

## **1.2 JUSTIFICACIÓN PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA**

Una máquina empacadora al vacío permitirá a la empresa prolongar la vida útil de los alimentos, garantizando higiene, calidad e inocuidad de los mismos. Debido a la capa protectora exterior, los alimentos no se deshidratan y mantienen la humedad natural; además, se reducen espacios en almacenamiento y se minimiza la alteración del producto. El empaque al vacío mejora la imagen corporativa de la empresa.

## **1.3 OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO**

### **1.3.1 Objetivos Generales**

Contribuir con la misión de la Escuela de Ingeniería Mecánica a la construcción, aplicación, divulgación del conocimiento y transferencia de tecnologías aplicadas a la conservación de alimentos, mediante el fortalecimiento de las relaciones universidad empresa.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

Diseñar y Construir una máquina empacadora y selladora al vacío de tipo cámara de vacío de mesa, con las siguientes características:

- Capacidad para empacar una gallina despresada en un minuto.
- Un sistema de termosellado que consiste en dos barra selladoras para bolsa multicapa estándar.
- Un sistema de vacío compuesto por: una bomba de vacío de capacidad mínima de  $2 \frac{m^3}{h}$  de 110 V, un filtro de aire y una electroválvula.
- Control semiautomático que facilite la operación de la máquina y de tiempo de vacío ajustable.

Por medio de pruebas microbiológicas referentes a la inocuidad de los alimentos, determinar la vida útil del producto envasado al vacío.

## 2. ALIMENTOS Y SU CONSERVACIÓN

Los alimentos son sustancias que ingieren los seres vivos para aportar los nutrientes, vitaminas y sales minerales necesarias para la vida. Actualmente la industria alimenticia es una de las más grandes a nivel mundial. En los últimos 40 años el crecimiento en las exportaciones de alimentos ha alcanzado un incremento de un 400%. Crecimiento que ha llevado a la búsqueda e implementación de tratamientos para aumentar el tiempo que tarda un alimento en comenzar a degradarse, perdiendo así sus propiedades nutrimentales “vida útil”.

De acuerdo con ese tiempo de duración, los alimentos se pueden clasificar en alimentos perecederos, semi-perecederos y no perecederos. Siendo los alimentos perecederos los de mayor interés por su gran susceptibilidad a agentes contaminantes externos que deterioren su calidad alimenticia conllevando pérdidas económicas y contratiempos en los procesos de transporte y comercialización.

Los factores contaminantes, que pueden llevar a cualquier alteración de las propiedades del alimento haciéndolo no apto para el consumo humano se pueden clasificar en tres grandes grupos:

- **Contaminantes Físicos:** cualquier alteración generada por objetos o partículas extrañas no propias del alimento, por ejemplo esquirlas de vidrio, partículas metálicas, madera, hilos, insectos, etc.
- **Contaminantes Químicos:** Cualquier sustancia química que altera un producto y que no está aprobada como aditivo, es fuente de contaminación química. Estos contaminantes pueden ser tóxicos o alérgenos, entre otros. Adicionalmente la exposición al oxígeno puede causar el deterioro de

muchos alimentos debido a la oxidación de los lípidos y otros componentes sensibles al este, facilitando el crecimiento de bacterias aeróbicas, mientras que inhibe las bacterias estrictamente anaeróbicas.

- **Contaminantes Biológicos:** Presencia de microorganismos patógenos; este tipo de contaminación es la más usual de todas y puede presentarse en cualquier etapa del consumo del alimento. El crecimiento microbiano depende de muchos factores: la carga microbiana inicial, la concentración de gas, la permeabilidad del empaque y la temperatura.

## 2.1 MÉTODOS DE CONSERVACIÓN Y VIDA ÚTIL DE ALIMENTOS

La calidad higiénica es la condición más importante en la comercialización de alimentos, ya que estos pueden contener o desarrollar microorganismos que pueden afectar la salud de la persona que los consuman. Los microorganismos se pueden encontrar en el medio ambiente y en todos los seres vivos.

Los alimentos se pueden deteriorar por tres grupos de microorganismos: bacterias, levaduras y mohos. El deterioro ocurre de dos formas: en forma saprofita, donde crecen en el alimento y afectan las propiedades organolépticas y al producirse toxinas que afectan la salud de los consumidores<sup>1</sup>.

Adicionalmente al deterioro causado por microorganismos se encuentran otros factores que intervienen en la pérdida de la calidad original y en el deterioro de un alimento como lo son: la exposición a la luz solar (influye en la pérdida de vitaminas y en el enranciamiento de las grasas), el contacto con el oxígeno del aire, la temperatura (puede destruir, inactivar o hacer que se reproduzcan rápidamente los gérmenes), el grado de humedad (favorece o impide el desarrollo

---

<sup>1</sup> Barreiro, José A. Sandoval B, Aleida J. Operaciones de conservación de alimentos por bajas temperaturas. Editorial Equinoccio. Venezuela. 2006. Capítulo 3

bacteriano y el enmohecimiento) y de acidez (permite minimizar la pérdida de ciertas vitaminas).

En la búsqueda de la reducción del efecto de estos factores han aparecido métodos que logran reducir, controlar o modificar los agentes contaminantes en un alimento, logrando aumentar su fecha de caducidad y/o disminuyendo el riesgo de consumo. Según su naturaleza se pueden dividir en métodos físicos y químicos. En los métodos físicos están la deshidratación, irradiación, conservación por calor, por frío y por atmosfera modificada. La escogencia de un tipo de estos dependerá del alimento y de las condiciones de almacenaje y consumo preferentes.

### **2.1.1 Mediante calor**

Los métodos de conservación por calor son la Pasteurización y esterilización. Métodos que utilizan altas temperaturas a diferentes intervalos de tiempo en donde se limpian las superficies del alimento y de las superficies que tienen contacto con los alimentos mediante la inyección de vapor de agua a presión.

### **2.1.2. Mediante frío.**

Al disminuir la temperatura se consiguen también beneficios como la reducción de la tasa de oxidación del alimento. Dependiendo de la temperatura alcanzada se clasifican en: refrigeración (entre 2 y 8°C), congelación (menores a -18°C) y ultra congelación (entre -35 a -150°C).

### **2.1.3 Deshidratación.**

Cualquier método donde se retire parcialmente agua del alimento ya sea en condiciones ambientales naturales o por corrientes de aire.

#### **2.1.4 Irradiación**

Procedimiento mediante el cual se aplican en el alimento radiaciones gamma que lo ionizan. Este método es muy eficaz debido a la prolongación de la vida útil en las mejores condiciones, aunque requiere de un estricto control.

#### **2.1.5 Atmosfera modificada**

Cualquier proceso que altere la atmosfera que rodea a un producto es de atmosfera modificada; el empacado al vacío es el más popular de éstos. Para productos cárnicos se inyecta nitrógeno que sirve para retrasar la oxidación, rancidez e inhibir la proliferación de microorganismos aeróbicos, y el dióxido de carbono que es soluble en agua y lípidos se usa para controlar las bacterias (aerobias y anaerobias), en grupos selectivos.

#### **2.1.6 Métodos químicos**

Los métodos químicos más empleados en la conservación de alimentos incluyen la utilización de aditivos, la salazón, la adición de azúcar, la acidificación y el ahumado. Estos procesos impiden el desarrollo de gérmenes.

### **2.2 ESTIMACIÓN DE VIDA ÚTIL DE UN ALIMENTO**

La vida útil de un alimento representa aquel periodo de tiempo durante el cual un alimento se mantiene apto, bajo condiciones óptimas de almacenamiento y conservación para el consumo, desde el punto de vista sanitario, manteniendo las características sensoriales, nutricionales, microbiológicas y fisicoquímicas por encima de los límites de calidad previamente establecidos como aceptables<sup>2</sup>.

Una parte importante en el manejo de un alimento es la calidad sanitaria<sup>3</sup>. Razón por la cual se deben tener en cuenta diferentes variables en la determinación de la

---

<sup>2</sup> Guillermo Hough, Susana Fiszman. Estimación de la Vida Útil Sensorial de los Alimentos. Programa CYTED. Madrid, España. 2005. Capítulo 1

<sup>3</sup> <http://www.itp.gob.pe/normatividad/demos/doc/Normas%20Nacionales/Resoluciones%20Ministeriales/59.pdf>. Consultado el 20 de septiembre 2013

vida útil de un alimento, variables que van desde el momento en que se eligen las materias primas hasta la distribución y almacenamiento de los mismos<sup>4</sup>, ya que durante el almacenamiento pueden proliferar los microorganismos que disminuyen la vida útil del alimento. Actualmente dentro de la terminología del procesamiento moderno, estos factores son orientados en el concepto de HACCP (*Hazard Analysis Critical Control Point*), que presenta una metodología del control de calidad que apunta a asegurar una "alta calidad". Estos factores son críticos pero su relativa importancia se encuentra en la parte sensorial. Las condiciones organolépticas o sensoriales son también un aspecto importante en la vida útil de los alimentos ya que de ésta depende la aceptación de los mismos por parte del consumidor<sup>4</sup>.

Un estudio de vida útil consiste en realizar una serie de controles preestablecidos en el tiempo, a un lote almacenado bajo condiciones seleccionadas de acuerdo con una frecuencia establecida, hasta alcanzar el deterioro elegido como limitante o hasta alcanzar los límites prefijados por las leyes sanitarias<sup>5</sup>.

La estimación de la vida útil de un producto alimenticio, se realiza normalmente mediante análisis microbiológicos, fisicoquímicos y sensoriales en periodos cortos, ya que las características sensoriales del producto son las variables que determinan la aceptabilidad por parte del consumidor.

### **2.2.1 Pruebas organolépticas**

Durante mucho tiempo se han empleado las llamadas "pruebas organolépticas" para la determinación subjetiva de la calidad de una comida. Si bien se han desarrollado otros métodos más objetivos y por tanto más exactos, no por eso ha decaído el uso de estos "paneles" ya que son imprescindibles para establecer la

---

<sup>4</sup> Labuza, T.P. and Szybist, L.M. 1999a, Current practices and regulations regarding open dating of food products. Working Paper 99-01. Sloan Foundation, The Retail Food Industry Center, Univ. of Minnesota, St. Paul

<sup>5</sup> Guillermo Hough, Susana Fiszman. Estimación de la Vida Útil Sensorial de los Alimentos. Programa CYTED. Madrid, España. 2005.cap1

relación entre las medidas instrumentales y las reacciones humanas. Se usan dos tipos de “pruebas” para personas expertas y para personas inexpertas. En las primeras se pueden detectar cambios muy específicos en la textura, jugosidad, color y sabor por medio de experimentos controlados. Y en las segundas se miden las reacciones del sujeto frente a un producto determinado. Sin embargo, aquellos productos que contengan alcaloides y en especial las bebidas alcohólicas, deben ser probadas por personas expertas<sup>6</sup>.

En las “pruebas organolépticas” se usan distintos métodos para medir la intensidad de parámetros que se valora: color, olor, sabor, textura y apariencia. En unos se emplean escalas numéricas de preferencia, en otros se hacen apreciaciones menos exactas empleando vocablos convencionales<sup>10</sup>.

### **2.2.2 Pruebas fisicoquímicas**

La composición química de la carne de aves influye notablemente en el crecimiento de toda clase de bacterias y muy especialmente, de las productoras de alteración. La carne de aves es una buena fuente de proteínas, vitaminas (Tiamina, Niacina, Riboflavina) y sales minerales, lo que, unido a que posee una actividad de 0.98-0.99 y un pH comprendido entre 6.2-6.4, hace que sea un medio inmejorable para el crecimiento de bacteriano<sup>7</sup>.

El pH muscular del animal recién sacrificado es de aproximadamente 6,8-7,2. Después de la muerte el pH disminuye, debido principalmente a la escisión enzimática continua del glucógeno muscular (proceso regresivo de naturaleza anaerobia, que da lugar a la formación y acumulación de ácido láctico).

---

<sup>6</sup> Dr. Ricardo Granados Jarque. QUÍMICA AVANZADA NUFFIELD, ciencia de alimentos. Edición en español. Editorial Reverté. España. 1984. 37p

<sup>7</sup> José Emilio Pardo González. La Industria Cárnica, sistemas de análisis de riesgo y control. Edición en español. Editorial Universidad de Castilla-La Mancha. España. 1998. 24p



De 3 a 6 horas después de la muerte, el pH desciende alrededor de 6,5 y en el plazo de 12-18 horas alcanza nivel más bajo de 5,4 a 5,8. La velocidad del proceso de acidificación es función de la temperatura: -Las temperaturas bajas lo retrasan y por lo tanto la variación del pH depende de la cantidad de glucógeno muscular en el momento de la muerte.

Terminado el proceso de acidificación, vuelve a elevarse lentamente el pH del musculo debido a los procesos de maduración. En estos procesos también depende de la temperatura: -La maduración tiene lugar a temperaturas de 0 a 2°C en 6-14 días. Cuando el pH alcanza valores de 6,2-6,4 se sospecha de una alteración y cuando a 6,5-6,7 los signos de descomposición son evidentes. Se puede considerar satisfactorio el pH a las 24 horas post mortem, con un valor de 5,4 a 6,0. Valores superiores a la segunda cifra permiten considerar la carne de máxima calidad<sup>8</sup>.

### **2.2.3 Pruebas microbiológicas La carne de pollo es un alimento frecuentemente implicado en brotes y toxi-infecciones alimentarias.**

Realizar una evaluación microbiológica del producto, es de gran importancia ya que puede indicar la calidad, el grado de higiene de los procesos y el mantenimiento o no de la cadena de frio; en este proyecto se hace con el fin de predecir la vida útil del producto.

En Colombia, los requisitos microbiológicos del pollo beneficiado se encuentran estipulados en la Norma Técnica Colombiana NTC 3644-2 (Tabla 1).

---

<sup>8</sup> [http://pruebasfisicoquimicasdelacarne.blogspot.com/2010\\_05\\_01\\_archive.html](http://pruebasfisicoquimicasdelacarne.blogspot.com/2010_05_01_archive.html)

**Tabla 1.** Requisitos microbiológicos del pollo beneficiado

Microorganismos	n	m	M	c
NMP de coliformes fecales/g	5	100	1100	1
Recuento de esporas <i>Clostridium</i> sulfito reductor, UFC/g	5	100	1000	1
Recuento de <i>Staphylococcus aureus</i> coagulasa positiva, UFC/g	5	100	500	1
Detección de <i>Salmonella</i> /25 g	5	0	-	0
Detección de <i>Listeria monocytogenes</i> , /25g*	5	0	-	0

**n:** número de muestras por examinar

**m:** índice máximo permisible para identificar nivel de buena calidad

**M:** índice máximo permisible para identificar nivel aceptable de calidad

**c:** número máximo de muestras permisibles con resultados entre m y M

**Fuente:** Norma Técnica Colombiana NTC 3644-2<sup>9</sup>.

El grupo de microorganismos llamados Coliformes, pertenecen a la familia *Enterobacteriaceae*. Estos microorganismos son de forma bacilar, algunos aeróbicos y otros anaeróbicos facultativos, no forman esporas y fermentan la lactosa con producción de ácido y gas a 35°C en 48 horas. A este grupo pertenecen bacterias del género: *Escherichia*, *Enterobacter*, *Citrobacter*, *Serratia* y *Klebsiella*. Las dos fuentes principales de Coliformes son los desechos humanos, animales y el ambiente<sup>10</sup>.

Los Coliformes fecales fermentan lactosa con producción de ácido y gas en 24 horas a temperaturas entre 44 – 46 °C. Más del 90% de los Coliformes fecales son del genero *Escherichia*, usualmente *Escherichia Coli*<sup>10</sup>.

<sup>9</sup> Norma Técnica Colombiana NTC 3644-2. 3p

<sup>10</sup> TORO SIERRA, Carlos Andrés. Estandarización del proceso de producción del pollo y la carne con verduras usados para los productos de hojaldré que se elaboran y comercializan en la panadería novapan. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero de Alimentos. Corporación universitaria lasallista.2011. 20p

La bacteria *Escherichia Coli* constituye aproximadamente un 10% de los microorganismos intestinales del hombre y de animales de sangre caliente y debido a esto se ha utilizado como indicador microbiológico de contaminación fecal <sup>11</sup>.

Las bacterias "*Salmonella*", son bacilos en forma de bastoncillo, puede causar enfermedades diarreicas en los humanos. Viven en el tracto intestinal de los humanos y otros animales, incluyendo las aves. Esta bacteria es transmitida usualmente a los humanos por medio del consumo de alimentos contaminados con heces de animales. Esta bacteria se reproduce a temperaturas entre los 5 a 47°C con un crecimiento optimo a los 37°C. En los alimentos congelados, el número de Salmonellas viables se reduce lentamente a medida que decrece la temperatura de almacenamiento.<sup>11</sup>

El *Clostridium sulfito reductor*, es un bacilo largo, anaerobio, que forma esporas subterminales. Estas esporas son altamente resistentes pudiendo sobrevivir en alimento incorrectamente procesados. Produce una potente neurotoxina de la que existen siete tipos A, B, C, alfa, D, E, F y G. Es posible dividir a los organismos en cuatro tipos (I a IV) según la toxina que producen y su actividad proteolítica<sup>12</sup>.

*Staphylococcus aureus*, son células esféricas, algunos son propios de la flora microbiana humana y otros son altamente patógenos. Crecen con facilidad sobre casi todos los medios bacteriológicos en condiciones aerobias o anaerobias facultativas. Se desarrollan con mayor rapidez a una temperatura de 37°C sin embargo su pigmento lo hace mucho mejor a temperaturas de 20-25°C.<sup>13</sup>

---

<sup>11</sup> FERNÁNDEZ, María Verónica y MARSÓ, María Agustina. Estudio de la carne de pollo en tres dimensiones: valor nutricional, representación social y formas de preparación. Trabajo de investigación. Carrera de licenciatura en nutrición. Instituto Universitario de Ciencia de la Salud Función H.A Barceló. Diciembre 2003. 27p

<sup>12</sup> Toro Sierra, Carlos Andrés. Estandarizacion del proceso de produccion del pollo y la carne con verduras usados para los productos de hojaldre que se elaboran y comercializan en la panaderia novapan. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero de Alimentos. CORPORACION UNIVERSITARIA LASALLISTA.2011.2p5

<sup>13</sup> Idem.

La carne de mamíferos, de aves y pescado, son un medio apto para su multiplicación, la cual se da rápidamente entre 2 a 4 horas aproximadamente<sup>14</sup>.

*Listeria Monocytogenes*, son microorganismos coco-bacilos, anaerobios facultativos y no esporulados, soportan altas concentraciones de sal y pueden multiplicarse relativamente rápido a temperaturas por debajo de los 0°C. Este microorganismo también sobrevive a la congelación y a la deshidratación. Resiste presiones osmóticas relativamente elevadas<sup>15</sup>.

Es frecuente encontrar estos microorganismos en carnes rojas y pollos crudos, debido a que se derivan de las heces animales y humanas, de aguas residuales, el suelo y en general el ambiente. Para tener un buen control de esta bacteria en los alimentos es necesario conservarlos en refrigeración a temperaturas entre los 0 y 4°C.

### **2.3 CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS CARNICOS CRUDOS: POLLO**

La popularidad y el consumo de la carne de aves ha aumentado globalmente en los últimos años<sup>16</sup>. Este incremento en el consumo puede ser atribuido a las características sensoriales deseables y a las características que los asocian como un producto más “saludable” que las carnes rojas. Como la carne de pollo es un producto altamente perecedero, debido a su composición biológica el alto consumo de carne de aves conlleva una preocupación pertinente a la seguridad del producto, vida útil y calidad.

En la conservación del pollo, el uso de frío junto con el uso de aditivos son los más extendidos. La congelación se considera que es un proceso excelente para

---

<sup>14</sup> FERNÁNDEZ, María Verónica Y MARSÓ, María Agustina. Estudio de la carne de pollo en tres dimensiones: valor nutricional, representación social y formas de preparación. Trabajo de investigación. Carrera de licenciatura en nutrición. Instituto Universitario de Ciencia de la Salud Función H.A Barceló. Diciembre 2003.32p

<sup>15</sup> FERNÁNDEZ, María Verónica Y MARSÓ, María Agustina. Estudio de la carne de pollo en tres dimensiones: valor nutricional, representación social y formas de preparación. Trabajo de investigación. Carrera de licenciatura en nutrición. Instituto Universitario de Ciencia de la Salud Función H.A Barceló. Diciembre 2003.32p

<sup>16</sup> KERRY, J. P. ed. Advances in meat, poultry and seafood packaging. Woodhead Publishing, 2012. 700 p.

preservar la calidad del alimento para una vida útil prolongada sin deterioro de la calidad debido a los microorganismos y algunos procesos bioquímicos, aunque la congelación también es un excelente medio de preservar microorganismos que ya están presentes en el alimento. Además, está bien establecido que la oxidación de lípidos y el deterioro del color se producen durante la congelación y el almacenamiento de productos congelados, por ejemplo, la oxidación rancia en el pescado congelado y carnes y el deterioro del color en carnes crudas congeladas.

La temperatura de almacenamiento de los productos de pollos comerciales deben ser bajo la norma NTC 3644 de: - 2°C a 2°C, para productos refrigerados y de - 18 °C o inferior, para productos congelados, ambas temperaturas tomadas en el interior de la masa muscular.

El empaqueo al vacío en alimentos congelados pretende minimizar los procesos de deterioro incluyendo cambios químicos y microbiológicos, y es ampliamente utilizado en muchos tipos de alimentos, en particular en la comida preparada. Sin embargo, el éxito del envasado al vacío combinado con la tecnología de congelación está influenciado por la naturaleza del alimento, el tipo de empaque, y el proceso de congelación.

El desarrollo del procesamiento de alimentos y la tecnología de preservación son necesidades patentes en este ámbito. Una máquina empacadora al vacío permitirá prolongar la vida de los alimentos, consolidar la imagen corporativa, mediante un empaque más atractivo al consumidor, y de esta forma generar el desarrollo de la microempresa en el sector alimenticio.

#### **2.4 METODOS DE EMPAQUE PARA CONSERVACION DE ALIMENTOS**

Con el advenimiento de la revolución industrial y la aparición de nuevas tecnologías como la refrigeración, fue posible prolongar aún más la vida útil de productos altamente perecederos como lo es la carne cruda de aves. Actualmente la innovación en materiales y procesos de manufactura han permitido la creación de empaques plásticos y bolsas coextruidas con diferentes materiales.

Las funciones del empaque de los alimentos pueden ser divididas en cuatro áreas:

- Contención (ello no implica necesariamente su protección),
- Información (puede incluir información del tipo nutricional, fechas aptas del consumo y cualquiera requerida por la ley),
- Conveniencia (facilidad de su uso y estética),
- Protección (La característica más importante de un empaque; protege al producto de microorganismos, roedores, insectos, polvo, contaminación externa, humedad, luz y oxígeno).

La selección del empaque adecuado depende de muchos factores como por ejemplo: el producto a empacar, el proceso de entrega, el costo del empaque, la protección que brinda, etc. Sin embargo es de recomendación, utilizar materiales para empaques incluidos en las listas autorizadas por la FDA (Food and Drug Administration), pues estas se derivan de estudios que demuestran la inocuidad de los mismos. Además, autorizan su uso para la fabricación de materiales en contacto con alimentos<sup>17</sup>.

El empaque primario más común para la carne de ave es una película o envoltura de polímero.

---

<sup>17</sup> CANTILLO, Juan. FERNÁNDEZ, Carlos Y NÚÑEZ, Margarita. Durabilidad de los alimentos. Métodos de estimación. Instituto de Investigaciones para la Industria Alimenticia. Ciudad de la Habana. 1994

Más recientemente se ha implementado el uso de bandejas de espuma de poliestireno altamente permeable al oxígeno, cubierto con una envoltura plástica a base de polímeros.

#### **2.4.1 El empaque al vacío y en atmósfera protectora**

Ha sido usado durante varias décadas para extender la vida de productos perecederos. El envasado al vacío consiste en la eliminación casi total del aire dentro del envase, sin que sea remplazado por otro gas, la mayor parte del oxígeno alrededor de los alimentos se elimina, y el paquete se sella casi herméticamente. Este sistema previene la re-contaminación de los alimentos y la fuga de componentes de los alimentos, incluyendo las pérdidas por evaporación de sustancias volátiles de sabor y la humedad. Brindando una barrera protectora contra la humedad, la luz y cierto grado de aislamiento térmico.

A pesar de las ventajas que este método de empackado presenta, también presenta desventajas como un cambio de color (pardeamiento) en productos cárnicos que puede producir un cierto rechazo en el consumidor. Otro inconveniente es la acumulación de exudado en el propio envase.

De igual forma y aunque este proceso inhibe el crecimiento de microorganismos aerobios, entre ellos bacterias del deterioro de alimentos, un ambiente que no contiene oxígeno no afecta el crecimiento de microorganismos anaerobios facultativos patógenos como por ejemplo, *Listeria*, *Salmonella*, *Escherichia coli*, *Yersinia*, *Staphylococcus* y bacterias anaerobias Tipo de *Clostridium botulinum E*. que puede crecer a temperaturas de refrigeración (> 3.3 ° C). Finalmente, el pollo empackado al vacío y refrigerado conlleva al crecimiento de bacterias acido-lácticas como es el caso de coliformes resistentes al frío.

Una variación de este método de empackado al vacío es mediante la modificación de la atmosfera que rodea el alimento. Proceso que genera una disminución en

algún grado de las desventajas que conlleva el empaçado al vacío. Este método se conoce como: empaçado en atmosfera modificada.

El empaçado en atmósfera protectora es realizado mediante la alteración del ambiente gaseoso en la vecindad del producto, este ambiente es alterado en dos pasos: primero se extrae el aire y después se inyectan diferentes gases como  $N_2$  o  $CO_2$  en varias concentraciones, con la finalidad de disminuir el metabolismo de bacterias anaerobias.

2.4.1.1 Materiales plásticos de empaque al vacío Existen relativamente pocos materiales diferentes para empaques de alimentos. Sin embargo existen muchas variaciones entre aquellos materiales y combinaciones. Los polímeros termoplásticos constituyen la categoría de polímeros más usados en la creación de empaques en bolsas para alimentos.



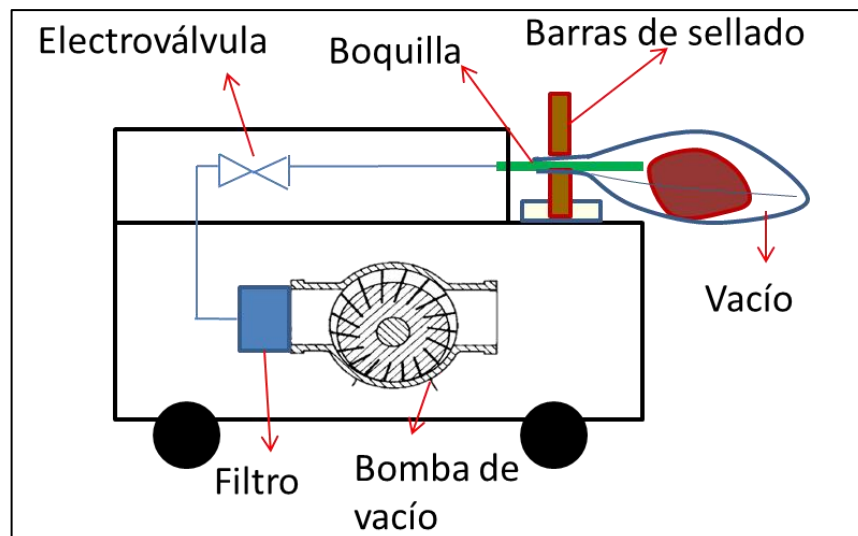
### 3. MAQUINAS EMPACADORAS AL VACÍO

El empacado al vacío es un proceso de envase en bolsa en el que se altera el ambiente que rodea a los alimentos, con lo que se retarda la tasa de degradación biológica y bioquímica significativamente, así como la oxidación y el crecimiento de bacterias aeróbicas. Existen cuatro tipos de máquinas para empacado al vacío: de boquilla, de cámara, de Skin y termoformado.

#### 3.1 MÁQUINA EMPACADORA AL VACÍO TIPO BOQUILLA.

Posee una boquilla conectada directamente a la bomba de vacío. En esta máquina a medida que se va haciendo el vacío se va sellando la bolsa automáticamente, por lo que el grado de vacío obtenido es menor que con cualquier tipo de maquinaria, debido a la deficiente hermeticidad.

**Figura 1.** Empacadora al vacío tipo boquilla



**Fuente:** <http://my.packexpo.com/pei2012nn/Custom/ProductLarge5254.jpg>

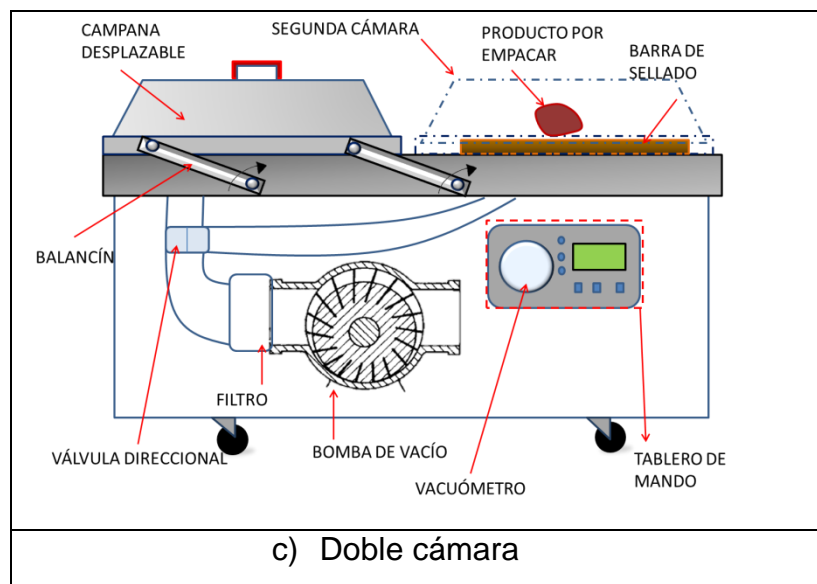
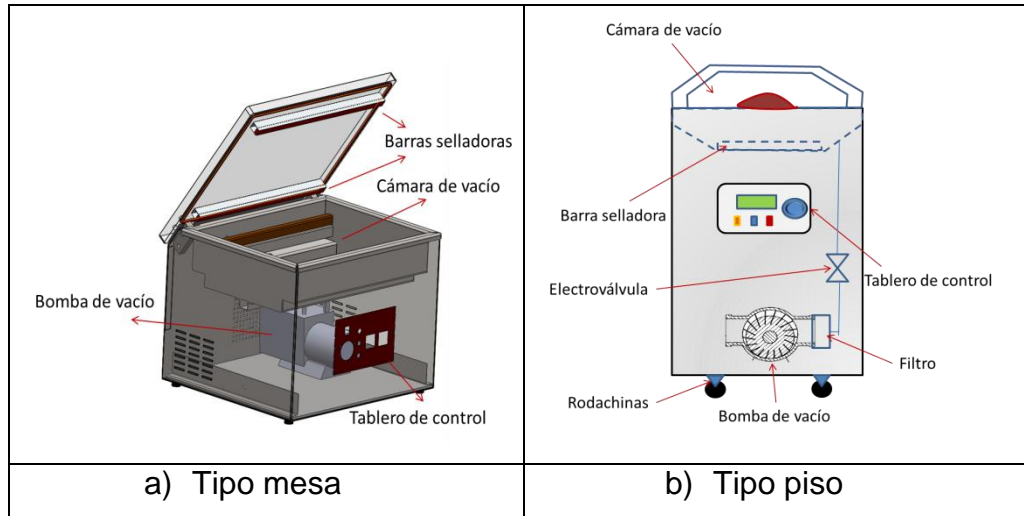
### 3.2 MAQUINA EMPACADORA DE VACÍO TIPO CÁMARA.

En este sistema la bolsa se mantiene en una cámara hermética y se sella también en el interior. Las más recientes empacadoras al vacío están basadas en éste principio, en donde es posible controlar el porcentaje de vacío, el tiempo de sellado, el porcentaje de inyección de gas entre otras variables, dependiendo de la complejidad de la máquina.

Dentro de éste tipo de cámaras se pueden encontrar 3 clasificaciones adicionales según su tamaño y versatilidad como se muestra en la Figura 2: de piso, de mesa y de doble cámara.

- ✓ **Tipo mesa:** Son generalmente las más pequeñas de los 3 tipos, se caracterizan por sus dimensiones reducidas, bajo consumo energético y buena portabilidad. Además existen modelos bastante complejos que permiten funciones adicionales como la inyección de gas, la creación de diferentes programas en memoria, la selección y variación de parámetros como el nivel de vacío, el tiempo de sellado y de enfriamiento.
- ✓ **Tipo piso:** Por su peso y dimensiones no son apropiadas para colocar sobre una mesa por lo que se apoyan en el suelo. Debido a su mayor tamaño permiten el empaque de mayor cantidad de productos en paralelo o de productos de mayor tamaño, permitiendo menores tiempos de trabajo por ciclo.
- ✓ **Doble cámara.** La ventaja de este tipo es que la cámara al vacío no es fija sino que es movable, como ventaja se reduce el tiempo de empaque ya que mientras se realiza el vacío en una parte se puede estar realizando la carga de un nuevo producto. Son más costosas.

**Figura 2.** Tipos de empacadoras al vacío de cámara



c) Doble cámara

**Fuente:** [http://www.torrey.com.mx/latinoamerica/images/p\\_c\\_evd16.png](http://www.torrey.com.mx/latinoamerica/images/p_c_evd16.png),  
[www.intertec.com.co](http://www.intertec.com.co)

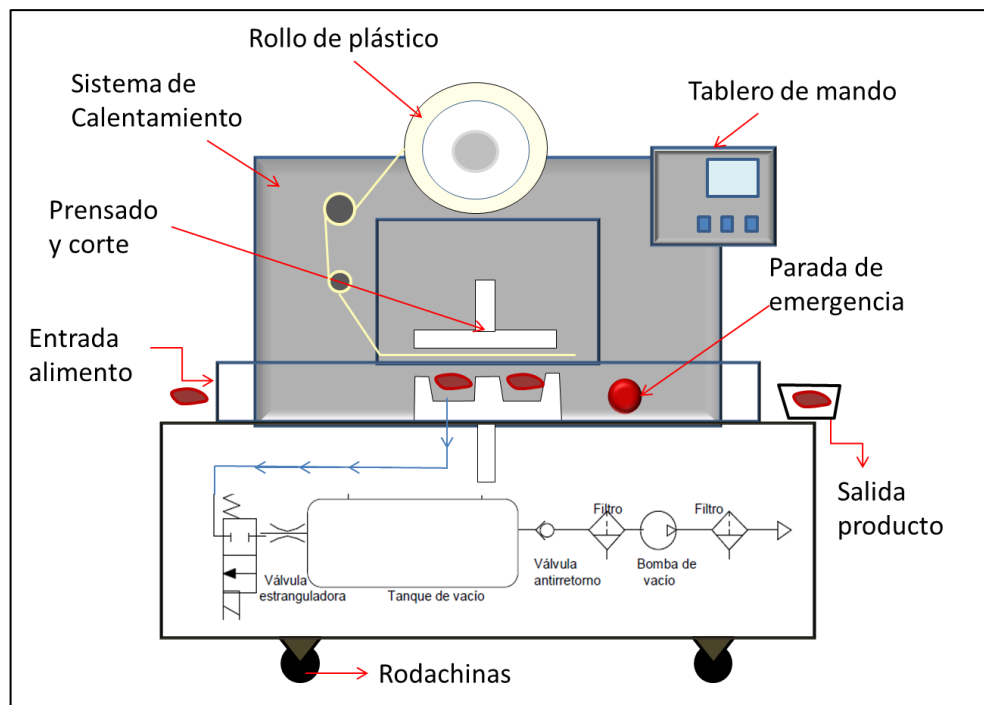
### 3.3 MÁQUINA EMPACADORA AL VACÍO TIPO SKIN.

En ésta máquina, una película plástica calentada y suavizada es aplicada sobre la superficie del pollo que está ubicado en una bandeja, todo esto dentro de una cámara al vacío.

### 3.4 TERMOFORMADORA AL VACÍO.

Se emplea para dar forma a láminas de plástico mediante la aplicación de calor y presión hasta adaptarlas a un molde (Figura 3<sup>18</sup>).

**Figura 3.** Termoformadora al vacío.



**Fuente:** <http://www.mexarcom.com/images/makinas/frimaq3b.jpg>

<sup>18</sup> ESPAÑA JURADO, Jairo Ernesto Y DELGADO SANABRIA, Juan Carlos. Termo formadora al vacío alimentada por rodillo. Diseño y construcción.89p

## **5. SELECCIÓN, DESCRIPCIÓN Y CRITERIOS DE DISEÑO DE LA MÁQUINA**

Para la correcta selección del tipo de máquina a usar, primero se deben conocer los criterios legales para los equipos y utensilios del sector alimenticio, como así lo menciona el Artículo 11 del Decreto 3095 del Ministerio de Protección Social. Luego se debe tener claridad en los parámetros de diseño de la máquina, sin olvidar que el objetivo del proyecto también resalta la economía y accesibilidad en materiales; esto quiere decir, que los materiales utilizados deben ser en su mayoría conseguidos en la región.

### **PARÁMETROS DE DISEÑO**

- ✓ Dimensiones de la maquina: 45 cm de largo, 60 de ancho y 56 de alto
- ✓ Capacidad volumétrica: 45 cm de largo, 60 cm de ancho y 17 cm de alto como se muestra en la Figura 4
- ✓ Doble barra de sellado
- ✓ Un tiempo de aproximadamente 30 seg para alcanzar un vacío del 0.8 bar
- ✓ Vacuómetro de 0 a -1 bar
- ✓ Tiempo de ciclo(vacío, sellado y enfriado) en 1 min
- ✓ Capacidad para el empacar de 6 muslos en un ciclo
- ✓ Conexión a 115 V
- ✓ Indicadores de colores (verde, rojo y azul) para operaciones de vacío, sellado y enfriamiento.
- ✓ Tapa transparente de acrílico
- ✓ Carcasa y bandeja en acero inoxidable

**Figura 4.** Medidas de la gallina para el diseño de la máquina.



**Fuente:** Los autores.

### 5.1 METODOLOGÍA QFD PARA EL DISEÑO DE LA MÁQUINA

En la preselección de la máquina, se plantearon diferentes características las cuales fueron divididas en dos factores: especificaciones y requerimientos:

- Especificaciones de diseño de la maquina (carcasa de acero inoxidable, tapa de acrílico, vacuómetro, ergonomía, dos barras de sellado, etc)
- Requerimientos básicos de manejo y demás (seguridad, durabilidad, eficiencias, economía, versatilidad, estética, etc)

La metodología para la preselección de la máquina, se realizó de acuerdo con la técnica conocida como despliegue de la función calidad (QFD) con el fin de

evaluar de forma sencilla las posibles alternativas en base en la relación de los requerimientos y las especificaciones de diseño nombradas anteriormente.

La técnica de despliegue (QFD) se basa en una matriz donde se organizan tanto los requerimientos que debería cumplir la máquina, con las especificaciones que se presentan en el diseño de la empacadora. Los requerimientos de la compañía son ponderados conjuntamente entre las dos partes, de acuerdo con su nivel de importancia se le da un valor a cada ítem, con el fin, de enmarcar las necesidades más sobresalientes que debe tener el diseño.

La puntuación que se da a ésta relación está evaluada de acuerdo a la técnica ya mencionada (QFD) como se muestra en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Matriz de despliegue de la función de calidad

Especificaciones Requisitos	Carcasa de acero inox		Tapa en acrílico		Vacuometro		Temporizador		Portabilidad		Mantenimiento autonomo		Vida util 8 años		consumo <300 W		Ergonomia		Soporte para bolsa		2 barras de sellado		sellado movil		
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
Seguridad	2	3	6	1	2	1	2	1	2	1	2	3	6	0	0	1	2	1	2	1	2	3	6	0	0
Eficiente	10	3	30	0	0	9	90	9	90	0	0	0	0	0	0	9	90	0	0	1	10	3	30	1	10
Economica	9	9	81	3	27	1	9	3	27	3	27	9	81	9	81	9	81	0	0	0	0	3	27	0	0
Durabilidad	5	9	45	3	15	1	5	1	5	1	5	3	15	9	45	1	5	0	0	0	0	3	15	3	15
Mantenibilidad	8	3	24	3	24	9	72	0	0	1	8	9	72	3	24	0	0	1	8	1	8	9	72	3	24
Automática	8	0	0	0	0	1	8	9	72	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	8	0	0
Practicidad	8	0	0	1	8	1	8	9	72	1	8	9	72	0	0	0	0	9	72	3	24	9	72	9	72
Versatilidad	2	1	2	3	6	0	0	0	0	3	6	3	6	0	0	0	0	0	0	0	0	3	6	3	6
Movilidad	4	1	4	0	0	0	0	0	0	9	36	0	0	0	0	0	0	3	12	1	4	0	0	0	0
Estética	4	3	12	9	36	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	36	3	12	0	0	0	0
<b>Total</b>		<b>204</b>		<b>118</b>		<b>198</b>		<b>268</b>		<b>92</b>		<b>252</b>		<b>150</b>		<b>178</b>		<b>130</b>		<b>60</b>		<b>236</b>		<b>127</b>	

**Fuente:** Los autores.

(9)Alta relación, 
  (3) Buena relación, 
  (1) Baja relación, 
  (0)Ninguna relación

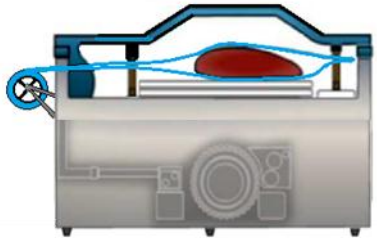
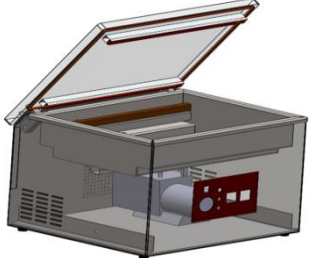
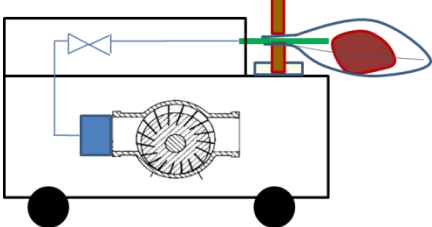
Estos puntajes multiplicados por la ponderación dada a cada ítem, muestra un nivel de importancia, que al ser sumado por columnas, resulta en una calificación total de cada opción de los diseñadores. De lo cual se puede sacar como características deseables los ítems resaltados en rojo dentro de la matriz.



## 5.2 SELECCIÓN DE LA MÁQUINA

De la matriz de despliegue de la función de calidad se preseleccionaron 3 alternativas (Tabla 3), que cumplen tanto los requerimientos como las especificaciones del diseño deseables tales como: carcasa de acero inoxidable, sistema de doble barra selladora, un temporizador de vacío y un vacuómetro como indicador del vacío.

**Tabla 3.** Alternativas preseleccionadas

	<p><b>Alternativa Número uno</b> Esta alternativa presenta un rollo de bolsa para empaque continuo que permitirá un uso más racional de la misma, como principal desventaja está que se necesita de algún tipo de mecanismo para cortar la bolsa o de no ser así un operario tendrá que hacerlo, lo que conlleva a un mayor costo tanto en la construcción como en la manipulación.</p>
	<p><b>Alternativa Número dos</b> Esta opción presenta un diseño más sencillo caracterizado por tener un par de barras selladoras, como inconveniente existe la posibilidad que no se use todo el espacio de la cámara, lo que genera ineficiencias en el proceso.</p>
	<p><b>Alternativa Número tres</b> Esta opción presenta un concepto totalmente diferente ya que el vacío se hace únicamente en la bolsa y no en una cámara, lo que mejora el tiempo significativamente. Su principal inconveniente es que el proceso de sellado se realiza simultáneamente con el de vacío lo que supone grandes dificultades en el diseño, construcción y control por lo que se hace más costosa.</p>

**Fuente:** Los autores.

A partir de las alternativas mostradas en la Tabla 3, se evaluó teniendo en cuenta criterios como: economía, facilidad de construcción, mantenimiento, barras de sellado y eficiencia. Estas alternativas se calificaron de 1 a 5, como se muestra en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Evaluación de las alternativas

Criterios de Evaluación	Alternativas		
	1	2	3
Económico	3	4.2	2
Facilidad de Construcción	2.5	4	2.2
Mantenimiento	3	3.5	2.8
Barras de sellado	5	4	5
Eficiencia	4	4	5
<b>Promedio</b>	<b>3.5</b>	<b>3.94</b>	<b>3.4</b>

Donde el criterio de evaluación son: 5: Excelente, 1: Malo

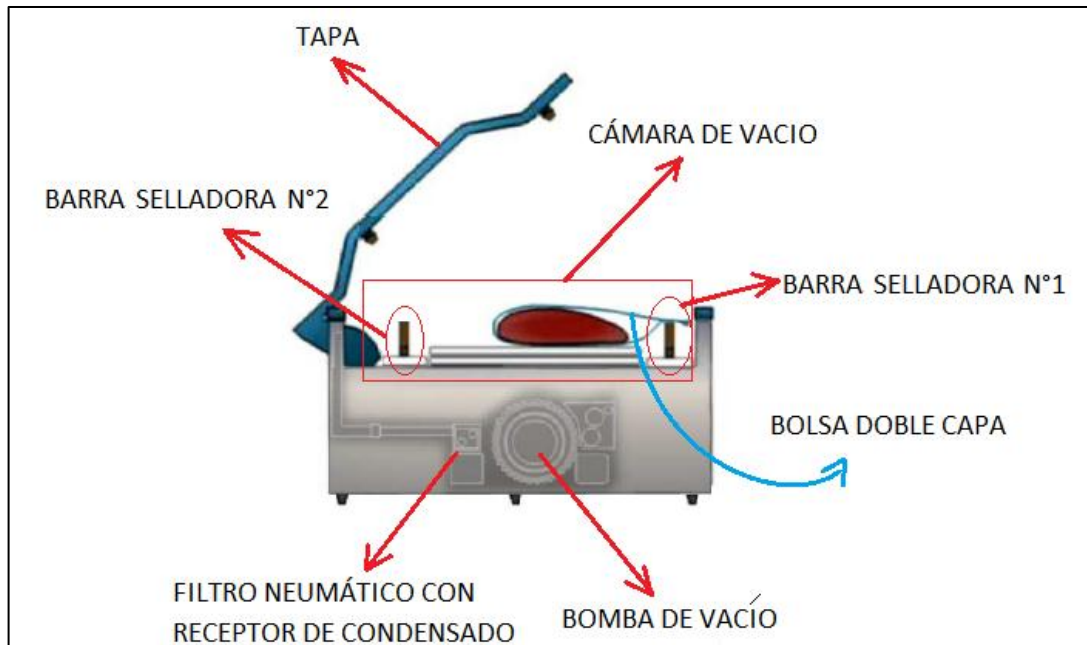
**Fuente:** Los autores.

De acuerdo con la evaluación de las alternativas se seleccionó para el diseño y construcción de la maquina aquella que presento el mayor puntaje (Alternativa 2), con algunas modificaciones.

### **5.3 DESCRIPCIÓN DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA**

La alternativa elegida (número 2) no cumple a cabalidad con los requerimientos y las especificaciones de diseño evaluadas, por eso se decidió incorporar dos pares de barras de sellado para dar mayor versatilidad como lo muestra la Figura 5.

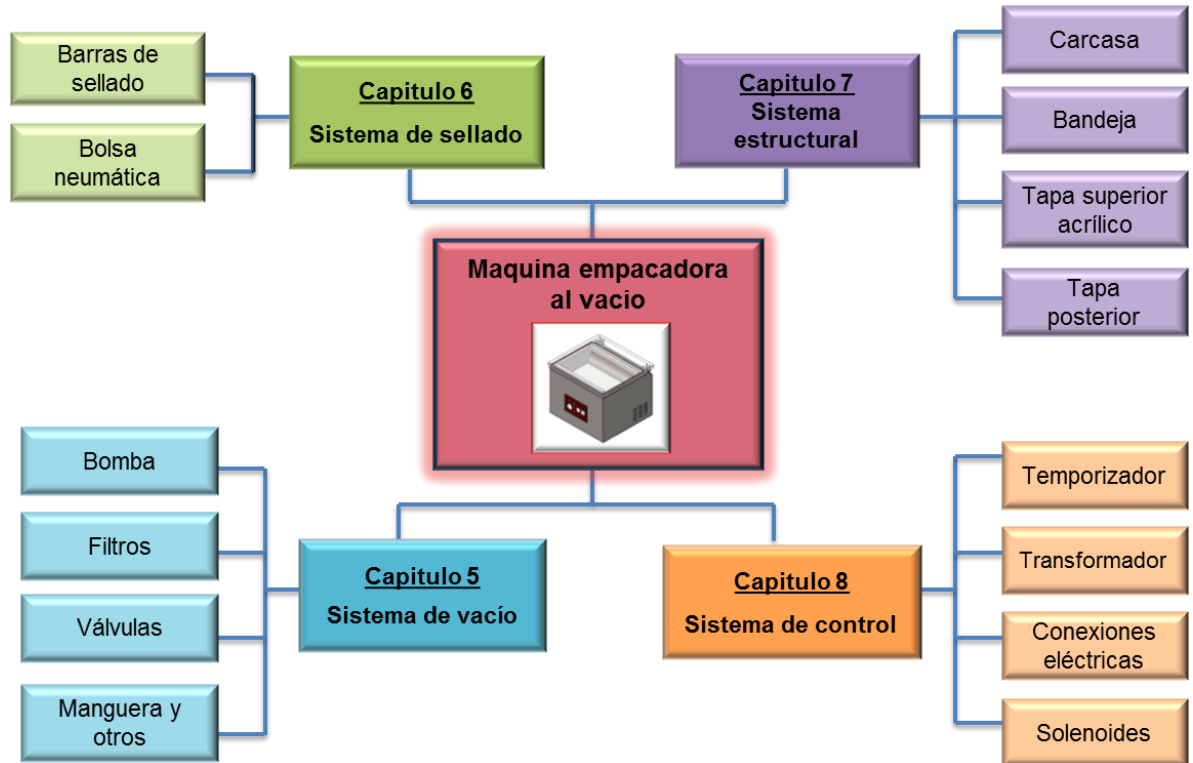
**Figura 5.** Descripción alternativa seleccionada.



**Fuente:** Los autores.

Con la finalidad de tener una mejor idea del proceso realizado y de llevar una metodología adecuada de diseño, se dividió la máquina en diferentes sistemas según lo muestra la Figura 6:

**Figura 6.** Subsistemas de la maquina empacadora al vacío



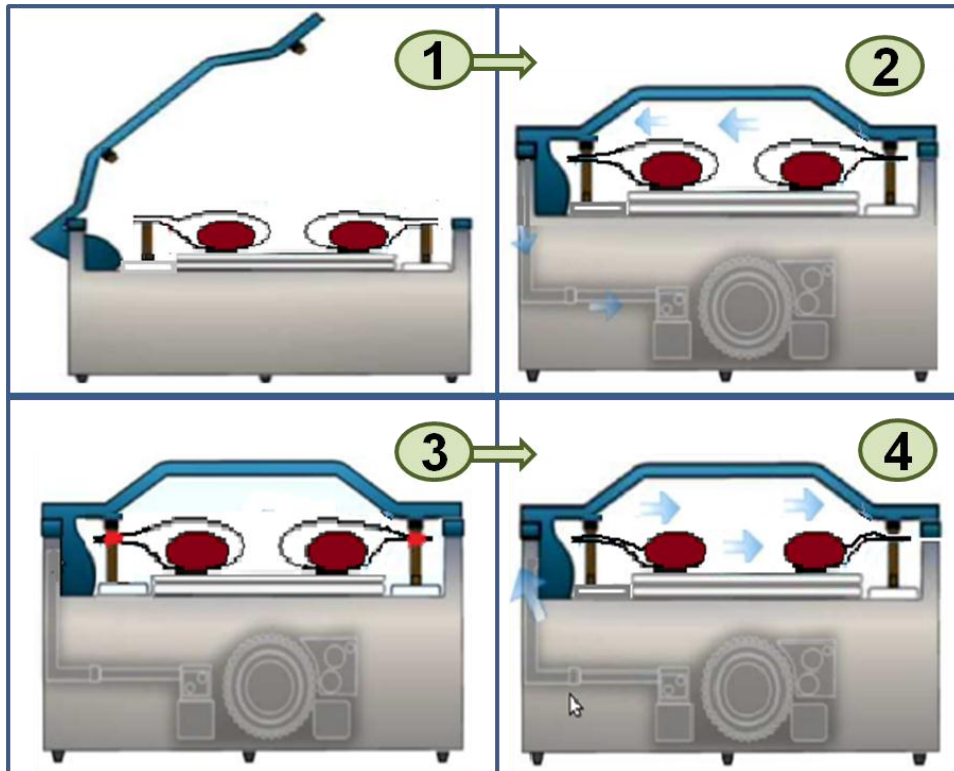
**Fuente:** Los autores.

### **Funcionamiento de la maquina empacadora seleccionada**

Los pasos para empacar al vacío un alimento en una maquina empacadora de cámara cerrada tipo piso como la que se seleccionó, consta de (Figura 7):

1. Colocar adecuadamente y de forma manual, el alimento con su empaque en la máquina.
2. Cerrar la tapa para que se encienda la bomba de vacío y esperar aproximadamente 1 min.
3. Calentar y Sellar la bolsa con una resistencia y un medio neumático
4. El proceso termina al permitir la entrada de aire a presión atmosférica para romper el vacío y abrir la tapa.

**Figura 7.** Pasos de funcionamiento de la maquina seleccionada



**Fuente:** LLORÉ MORENO, Edison Paul Y TELLO FLORES, William Paúl. Diseño y construcción de una empaquetadora y selladora al vacío para humitas.

## 6. SISTEMA DE VACÍO

El sistema de vacío en una maquina empacadora, es el encargado de extraer el aire, generando el vacío requerido en el interior de la cámara, así también su medición y manejo adecuado para cumplir con el ciclo de operación de la máquina.

El sistema estructural debe asegurar total hermeticidad para que el aire exterior no entre y asegurar el nivel de vacío deseado, con la inocuidad de los productos empacados al vacío.

Este sistema, se encuentra integrado por:

- Bomba de vacío que expulsa el aire fuera de la cámara
- Válvulas solenoides que regulan el paso del flujo de aire, desde y hacia la cámara y a las bolsas neumáticas.
- Bolsas neumáticas.
- Filtros que reciben las partículas de polvo, suciedad y además condensan la humedad que puede llegar a la bomba.
- Vacuómetro que permite medir el vacío
- Mangueras, Tés, Codos y demás elementos que conectan los componentes anteriormente mencionados

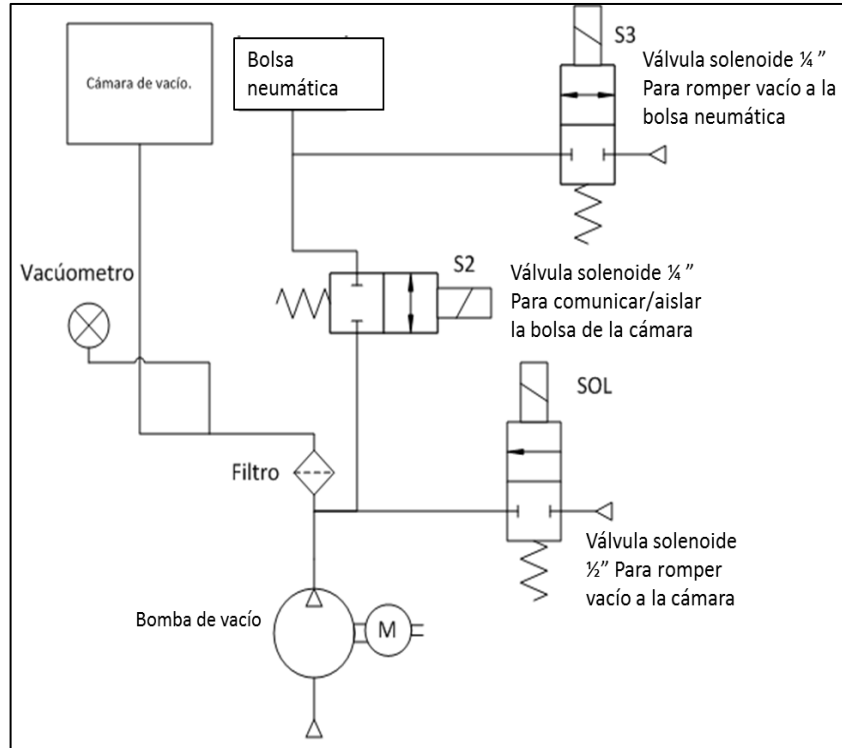
El sistema de vacío deberá además adaptarse a las necesidades del proceso que son:

- ✓ Capacidad de vacío (alrededor del 90 % de vacío o 10 kPa de presión absoluta).
- ✓ Un sistema para que después de realizarse el sellado del empaque permita la entrada de aire a la cámara para su fácil apertura.
- ✓ Una bolsa neumática conectada a una válvula solenoide que permite la entrada de aire atmosférico una vez terminada la extracción de aire de la

cámara, esto genera que la misma se infle de aire a presión atmosférica y cierren las mordazas.

El esquema del sistema de vacío diseñado se muestra en la Figura 8.

**Figura 8.** Partes sistema de vacío

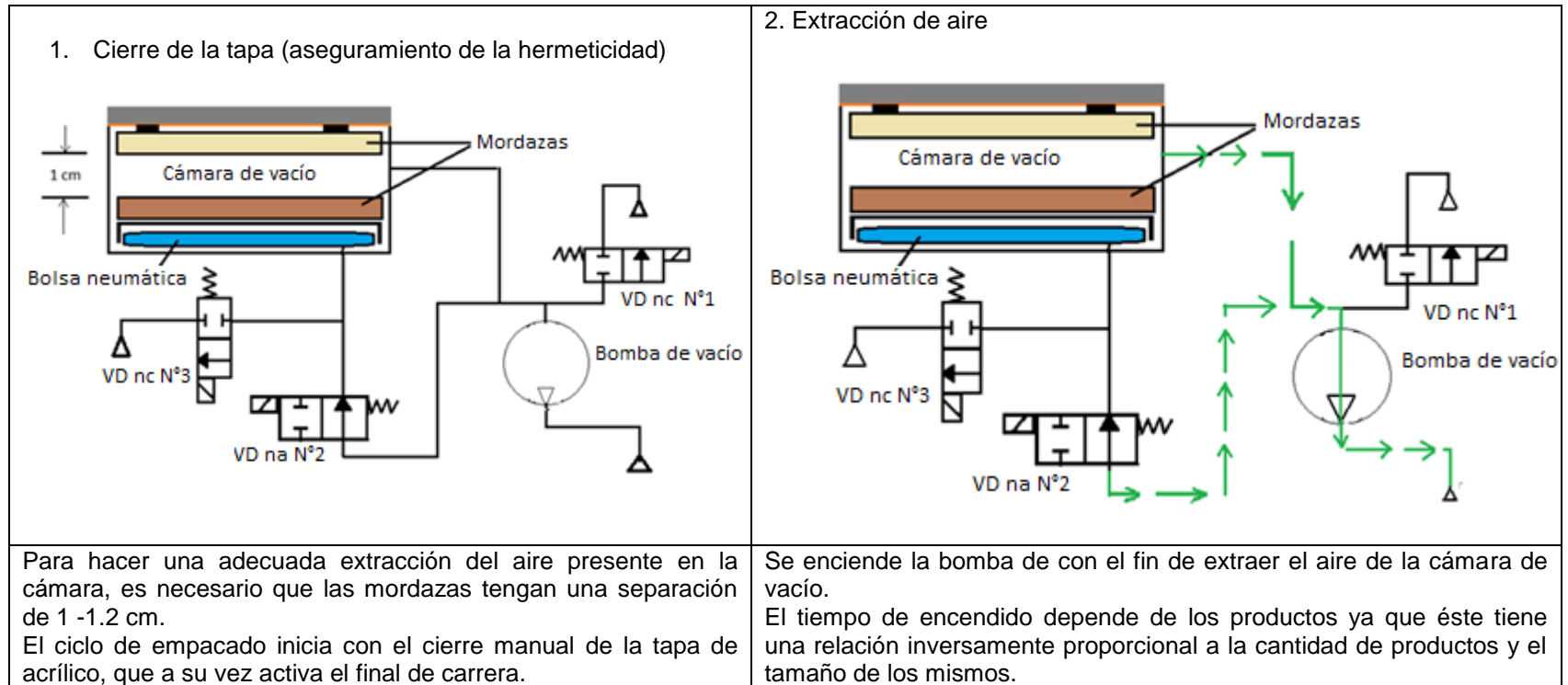


**Fuente:** Los autores

## 6.1 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE VACÍO

El sistema de vacío tiene varias etapas en el siguiente orden: Cierre de la tapa y aseguramiento de la hermeticidad, extracción del aire, sellado de la bolsa y rompimiento del vacío, que se explican en la Figura 9

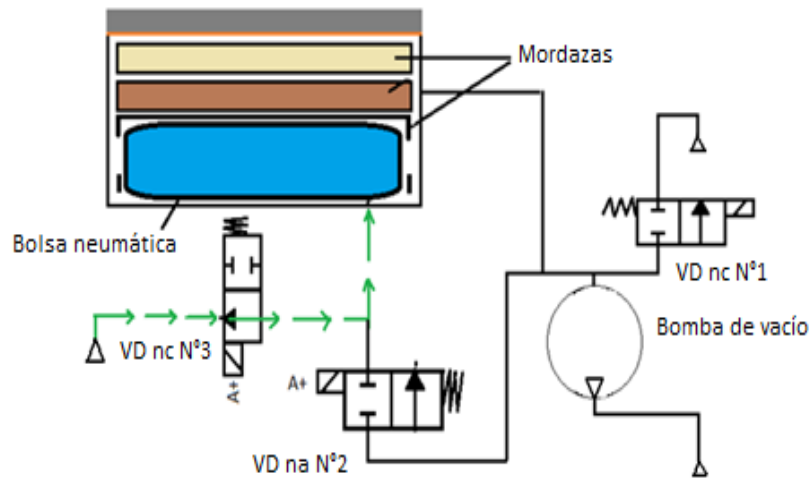
**Figura 9.** Esquema general del funcionamiento del sistema de vacío paso a paso



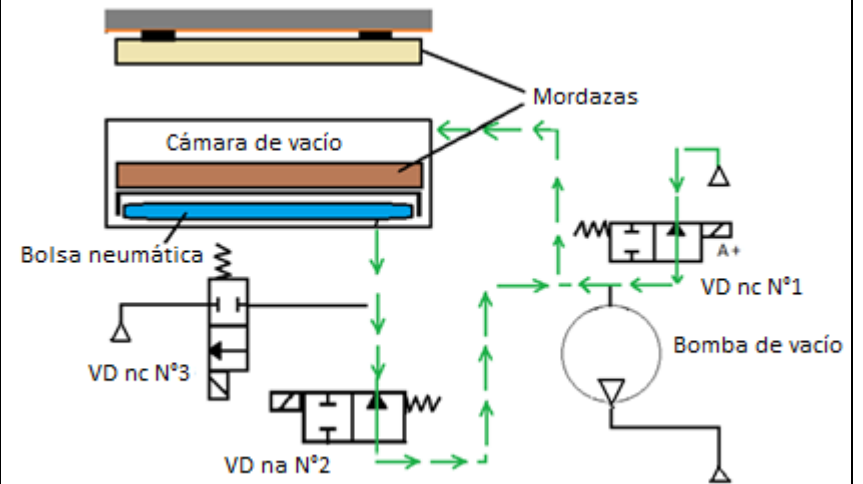
\* El sistema de vacío consta de 3 válvulas solenoides, 1 bomba de vacío, 2 mordazas, 2 bolsas neumáticas y la cámara de vacío. Las convenciones del mismo son: VD nc = válvula direccional normalmente cerrada, VD na = válvula direccional normalmente abierta, y las flechas verde indicando el flujo de aire en el sistema.



### 3. Sellado de la bolsa



### 4. Rompimiento del vacío en cámara



Una vez extraído el aire de la cámara de vacío se activan las válvulas solenoides 2 y 3, lo cual permite que la bolsa neumática se inflen con aire a presión atmosférica y se eleve la mordaza inferior generando de esta forma la presión necesaria para el sistema de sellado. Una vez que las mordazas hacen presión a la bolsa neumática, una resistencia se calienta para hacer el proceso de termosoldadura. Éste proceso es realizado mientras se mantiene el vacío en la cámara.

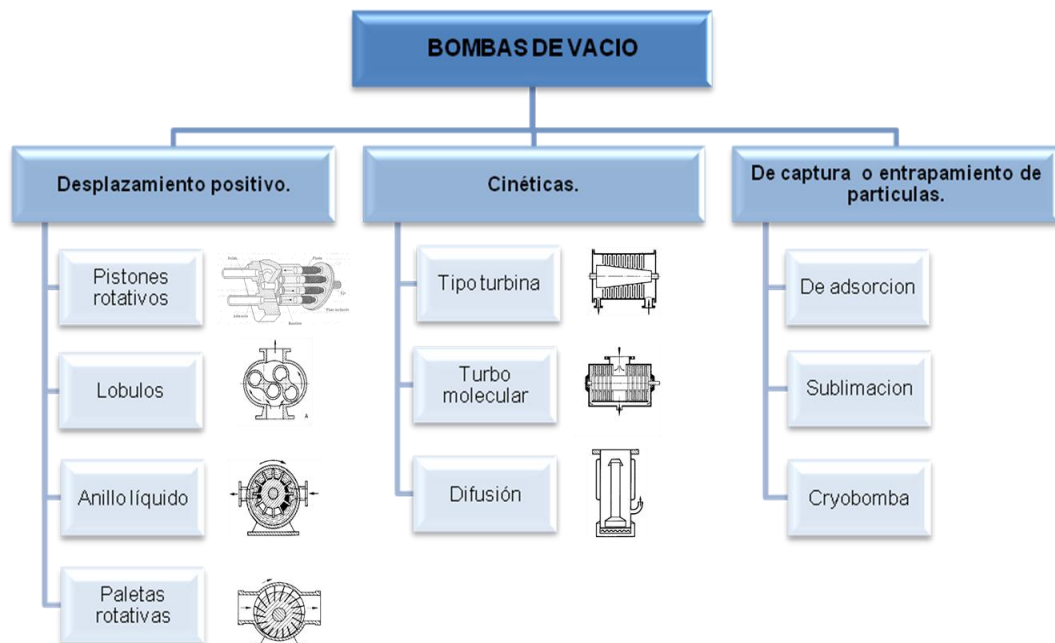
Una vez finalizado el proceso de termosoldado (2-3 s) se activa la válvula solenoide N°1 permitiendo la entrada de aire atmosférico a la cámara haciendo que la bolsa neumática se desinfla (por el peso de la mordaza inferior) y la tapa de acrílico se abra. Al abrirse la tapa se desactiva un final de carrera que corta el flujo eléctrico del sistema, retornando al estado inicial de marcha (válvulas solenoides desenergizadas y bomba apagada).

**Fuente:** Los autores

## 6.2 BOMBAS DE VACÍO

La parte principal del sistema de vacío es la bomba de vacío, la cual es simplemente un compresor que opera con una presión de entrada menor a la presión atmosférica, en donde sus puertos de entrada y salida están revertidos de forma que la entrada está conectada al sistema de vacío y la salida está abierta a la atmósfera<sup>19</sup>. Estas pueden clasificarse según sus componentes, diseño y función en las categorías mostradas en la Figura 10 y sus rangos de operación se describen en la Tabla 5:

**Figura 10.** Mapa conceptual bombas de vacío.



**Fuente:** modificado por los autores de: BANNWARTH, Helmut. Liquid Ring Vacuum Pumps. Alemania. WILEY-VCH 2005.

<sup>19</sup> KAZAMA, T. y TOTTEN, G. E. Compressors and vacuum pumps. En: Handbook of lubrication and tribology. CRC Press, 2006. 61 p

**Tabla 5.** Rangos de operación de las bombas de vacío.

Medida de vacío	Ultra alto vacío <10 <sup>-5</sup> Pa <10 <sup>-7</sup> mbar	Alto vacío 10 <sup>-5</sup> a 10 <sup>-1</sup> Pa 10 <sup>-7</sup> a 10 <sup>-3</sup> mbar	Vacío fino 10 <sup>-1</sup> a 10 <sup>2</sup> Pa 10 <sup>-3</sup> a 1 mbar	Vacío Burdo 10 <sup>2</sup> a 10 <sup>5</sup> Pa 1 a 10 <sup>3</sup> mbar
Tipo de bomba				
Pistones				■
Diafragma				■
Anillo líquido				■
Paletas rotativas		■	■	■
Pistones rotativos		■	■	■
Lóbulos		■	■	■
Tipo turbina				■
Turbo molecular	■	■		
Difusión	■	■		
Adsorción		■	■	■
Sublimación	■	■	■	
Criogénica	■	■		

**Fuente:** BANNWARTH, Helmut. Liquid Ring Vacuum Pumps, Compressors and Systems: conventional and hermetical design. Weinheim, Alemania. WILEY-VCH, 2005. 504 p.

La empacadora propuesta alcanza un rango de vacío fino, por lo que se seleccionó una bomba de vacío de paletas rotativas, por ser más económica que las otras alternativas que alcanzan éste rango.

### 6.3 MÉTODOS DE MEDICIÓN DE VACÍO

Una amplia variedad de vacuómetros son usados en las aplicaciones de vacío. La selección adecuada del vacuómetro depende del rango de operación, la presencia de gases corrosivos, los requerimientos de procesamiento y el costo.

Por lo anterior y basados en los datos de operación que se muestran en la Tabla 6, permitió la selección de un vacuómetro mecánico tipo “Tubo Bourdón”.

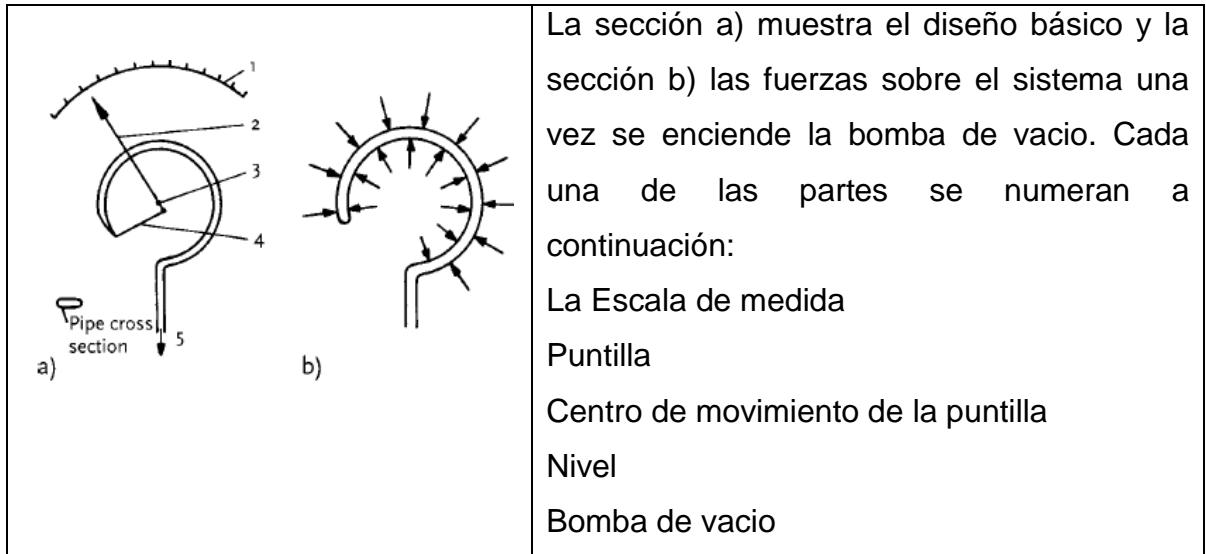
**Tabla 6.** Tipos de vacuómetros y rangos de operación

Tipo de Vacuómetro	Principio de operación	Rango [torr]
<b>Tubo en U</b>	Desplazamiento de una superficie de un líquido	1 -760
<b>Tubo Bourdón</b>	Desplazamiento de una superficie sólida	1-760
<b>McLeod</b>	Desplazamiento de una superficie de un líquido	$10^{-4}$ - $10^{-1}$
<b>Diafragma</b>	Desplazamiento de una superficie sólida	$10^{-1}$ -760
<b>Piraini</b>	Conductividad térmica del gas	$10^{-3}$ – 1
<b>Rotor giratorio</b>	Viscosidad del gas	$10^{-7}$ – $10^{-2}$
<b>Cátodo caliente</b>	Ionización del gas	$10^{-2}$ – $10^{-4}$

**Fuente:** KAZAMA, T. y TOTTEN, G. E. Compressors and vacuum pumps. En: Handbook of lubrication and tribology. CRC Press, 2006. 61 p.

El vacuómetro mecánico tipo “Tubo Bourdón” (Figura 11), fue seleccionado principalmente por su rango, adaptabilidad y costo. Este utiliza las fuerzas generadas de la presión para obtener una medida de ésta y consta de un tubo doblado de un material elástico, con sección transversal ovalada. Un extremo del tubo está cerrado y está conectado a una aguja indicadora de los cambios de presión, mientras que el otro extremo está conectado al recipiente al vacío

**Figura 11.** Vacuómetro de tubo de Bourdón



**Fuente:** BANNWARTH, Helmut. Liquid Ring Vacuum Pumps. Alemania. WILEY-VCH 2005.

#### 6.4 SELECCIÓN DE LA BOMBA DE VACÍO

En la selección de la bomba de vacío, se tuvieron en cuenta las variables que se numeran a continuación:

1. La compresibilidad del aire (o su capacidad para expandirse y llenar totalmente la cámara de vacío) debido a que el flujo de masa no es constante, contrario al flujo volumétrico.

Para ello, se hizo uso de un modelo matemático mediante la ecuación diferencial que describe la cantidad de masa de aire en la cámara, la cual permitió determinar el tiempo de extracción necesario para alcanzar la presión o nivel de vacío requeridos en el proceso.

$m$  = Masa de aire en la cámara

$Q$  = Caudal de la bomba de vacío

$\rho = \text{Densidad del aire}$

$V = \text{Volumen de la cámara}$

$t = \text{Tiempo de extracción del aire}$

$$\frac{dm}{dt} = -Q * \rho = -Q * \frac{m}{V}$$

Esta es una ecuación diferencial de variables separables cuya solución es:

$$\int_{m_1}^{m_2} \frac{dm}{m} = \int_{t=0}^{t=t} -\frac{Q}{V} * dt$$

$$\ln(m_2) - \ln(m_1) = -\frac{Q * t}{V} \rightarrow t = \frac{V}{Q} * \ln\left(\frac{m_1}{m_2}\right)$$

Suponiendo que el gas cumple con la ley de los gases ideales se tiene que:

$$m = \frac{P * V}{R * T} \rightarrow \frac{m_1}{m_2} = \frac{P_1 * V}{R * T_1} * \frac{R * T_2}{P_2 * V} = \frac{P_1 * T_2}{P_2 * T_1}$$

Si se aproxima este proceso como un proceso isotérmico, se tiene que

$$t = \frac{V}{Q} * \ln\left(\frac{P_1}{P_2}\right)$$

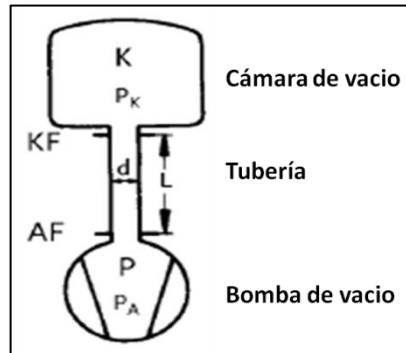
De donde

$$Q > 7.62 \frac{m^3}{h} (4.5 \text{ cfm})$$

Ecuación para la cual el valor de presión 2 (P2) se tomó como 10 KPa (3 in Hg) y el volumen de control se tomó como el volumen de la cámara de vacío el cual se determinó como 0.046 m<sup>3</sup>. Encontrándose, que el tiempo necesario para realizar un vacío de 90% es de menor a 50 segundos

2. El efecto del incremento de la presión aguas arriba de la bomba, debido al flujo que sólo ocurre en la dirección de la caída de la presión.

**Figura 12.** Esquema simplificado instalación de vacío



**Fuente:** BANNWARTH, Helmut. Liquid Ring Vacuum Pumps. Alemania. WILEY-VCH 2005.

$$\Delta p = p_k - p_A > 0$$

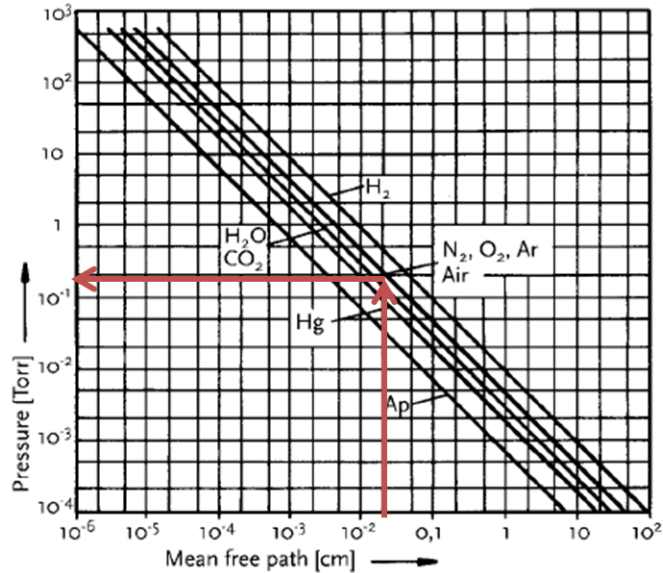
La resistividad de la tubería es la razón  $\frac{\Delta p}{q}$ . En la tecnología del vacío se pueden tener diferentes cantidades dependiendo del flujo aplicado en la ecuación. Si el producto  $p\dot{V}$  es usado como el flujo, entonces la resistividad tiene unidades de  $m^3/s$ . El recíproco de la resistividad es llamado conductividad.

En el rango laminar de gases la conductividad se comporta como sus viscosidades. En el rango molecular, la conductividad depende sólo de la temperatura y la masa molecular.

La conductividad de la tubería depende del régimen en que se encuentre el fluido. Se evalúa entonces el régimen en que se encuentra. Suponiendo un diámetro en la entrada de 1pulg y evaluando la condición límite entre el flujo viscoso y el flujo de transición:

$$K = \frac{l}{2.54} = 0.01 \rightarrow l = 2.54 \times 10^{-2} \text{ cm}$$

**Figura 13.** Presión contra trayectoria media libre de las moléculas



**Fuente:** BANNWARTH, Helmut. Liquid Ring Vacuum Pumps. Alemania. WILEY-VCH 2005

Esta longitud de la trayectoria de las moléculas se alcanza cuando la presión es de 0.05 torr (1.5 in Hg) es inferior a la presión mínima del sistema por lo que éste se encuentra únicamente en el rango de flujo viscoso.

Para este caso se determina el valor de la resistividad con la siguiente expresión, que es usada para aire a 20°C en tuberías redondas<sup>20</sup>. Dónde:

$$a: \text{Longitud de la tubería (cm)} = 100 ;$$

$$d = \text{diametro interior (cm)} = 2.54 \text{ cm} ;$$

$$\bar{p} = \text{Presion media entre la camara y la bomba (Torr)} = 200$$

$$\bar{p} = \text{Presion media de todo el ciclo}$$

$$W = \frac{a}{182 * d^4 * \bar{p}} \rightarrow \frac{100}{182 * 2.54^4 * (200)} = 6.6 \times 10^{-5} \frac{s}{l}$$

<sup>20</sup> Fuente: BANNWARTH, Helmut. Liquid Ring Vacuum Pumps. Alemania. WILEY-VCH 2005. 52 p



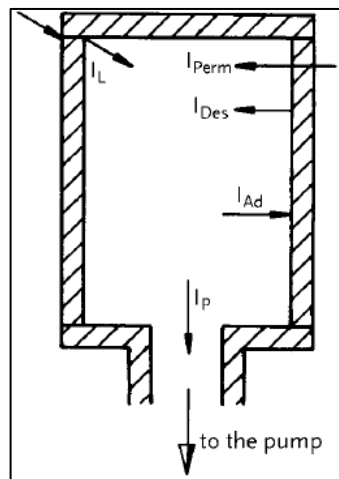
Entonces la conductividad es:  $L = \frac{1}{W} = 15150.82 \frac{l}{s}$

3. La capacidad de succión efectiva a la salida de una bomba de vacío de  $10 \text{ m}^3/\text{h}$  está dada por:

$$S_{eff} = \frac{Q}{1 + \frac{Q}{L}} = \frac{2762}{1 + \frac{2762}{15150.82}} = 2336 \frac{l}{s} \left( 8.4 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} ; 4.94 \text{ cfm} \right)$$

Este valor es un aproximado de la succión efectiva de la bomba en la cámara, sin embargo existen otros factores que pueden afectar la descarga de aire y se describen en la Figura14:

**Figura 14.** Flujos de aire en la cámara de vacío



**Fuente:** BANNWARTH, Helmut. Liquid Ring Vacuum Pumps. Alemania. WILEY-VCH 2005

Dónde:

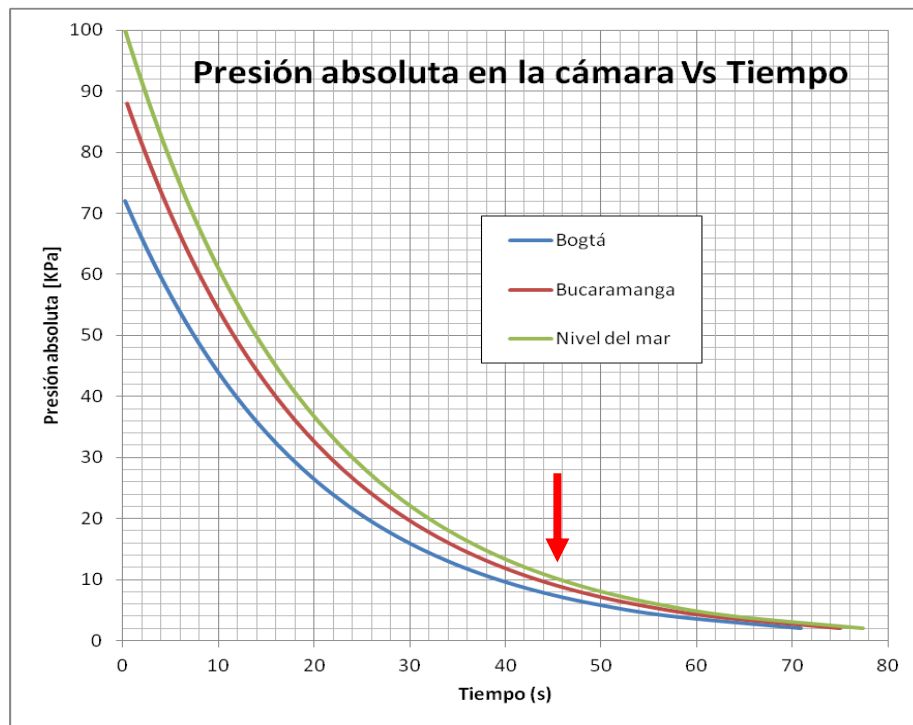
- $I_{perm}$  es la flujo de entrada por permeabilidad (capacidad que tiene un material de permitirle a un flujo que lo atravesase sin alterar su estructura interna) de la cámara.
- $I_L$  es el flujo de entrada por fugas,  $I_{Des}$  es el flujo de aire por desorción, que es cuando la superficie libera aire que se encuentra atrapada en esta, lo contrario.

- $I_{ad}$  es el flujo por adsorción que es cuando las moléculas se fijan sobre la superficie.

Con los valores calculados de  $Seff$ , el Volumen de la cámara de vacío ( $0,046 \text{ m}^3$ ) y la presión atmosférica, se realizó un gráfico en Excel, en el cual para diferentes valores de presión atmosférica se observa que el 90% de vacío se logra cerca de los 46 segundos para un lugar ubicado al nivel del mar.

Una vez determinados los valores numéricos de las variables compresibilidad e incremento de la presión el cual se calculó como conductividad y la capacidad de succión efectiva, fue seleccionada para el sistema, una bomba de paletas rotativas de 6 cfm ( $10.2 \text{ m}^3/\text{h}$ ) marca CPS 6S (Figura 16) que cumple con los requisitos (tiempo, nivel de vacío y succión).

**Figura 15.** Grafica de presión de la cámara contra tiempo de succión



**Fuente:** Los autores

**Figura 16.** Bomba de vacío de paletas CPS 6S



**Fuente:** <http://www.cpsproducts.com/product/vacuum-pumps-vp6d/>

## 7. SISTEMA DE SELLADO

Asegurar la hermeticidad del producto durante su comercialización es el objetivo más importante en un sistema de sellado; para lograrlo, se usa un proceso conocido como “Termosoldadura” el cual consiste en fundir dos materiales plásticos por medio de calor y presión entre ambas superficie<sup>21</sup>. Este método es ampliamente utilizado en el envasado de alimentos debido a su versatilidad, como por ejemplo:

- La posibilidad de envasar con sistema multicapa (efecto barrera)
- El uso de una gran variedad de empaques de materiales poliméricos, ya sean rígidos o flexibles.
- El uso en sistema de envasado al vacío con o sin atmósfera modificada.

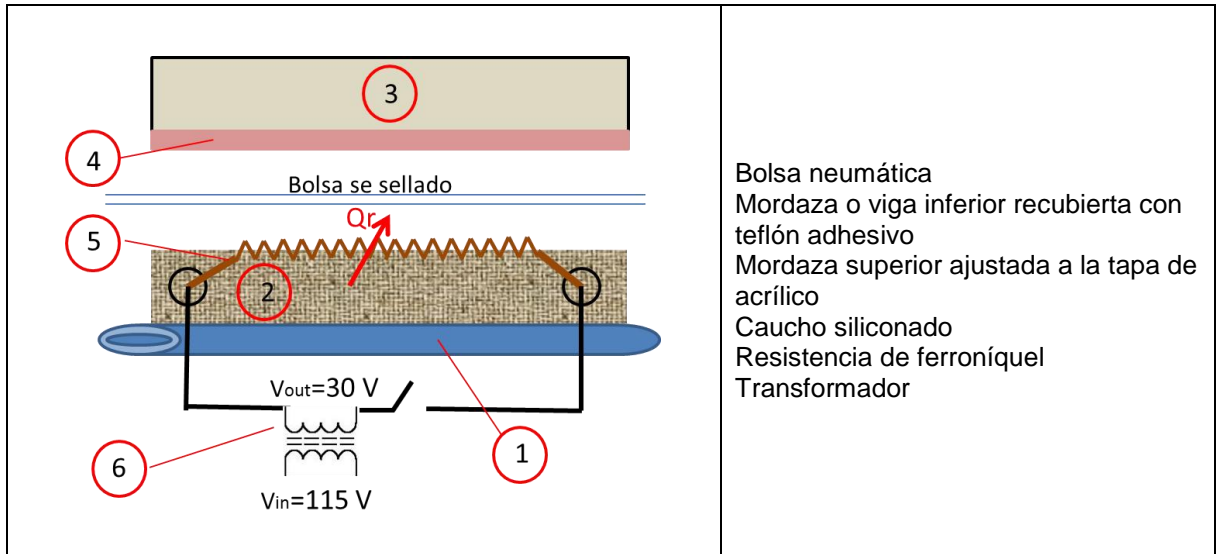
### 7.1 DISEÑO DEL SISTEMA DE SELLADO

La máquina empacadora al vacío seleccionada (tipo cámara cerrada), utiliza un sistema de termosellado por impulso de calor, el cual hace un sello efectivo gracias a la corriente eléctrica que pasa a través de un filamento de ferroníquel y la presión entre las mordazas (cubiertas generalmente de una superficie “resiliente” como un caucho siliconado, teflón o plásticos como la baquelita) que se aplica también durante el ciclo de enfriamiento, como se muestra en la Figura 17.

---

<sup>21</sup> H.APPLD,K.Feiler, A. REINHARD, P.Schmidt. Tecnología de los materiales para profesionales técnicos-mecánicos. Edición en español. Editorial Reverté.Barcelona-España.1985

**Figura 17.** Sistema de sellado por impulso y sus partes



- Bolsa neumática
- Mordaza o viga inferior recubierta con teflón adhesivo
- Mordaza superior ajustada a la tapa de acrílico
- Caucho siliconado
- Resistencia de ferróniquel
- Transformador

**Fuente:** Los autores

El sistema de sellado por impulso de calor está conformado por dos mordazas: la superior que está sujeta a la tapa de acrílico y la inferior, que descansa sobre la superficie de la bandeja y solo actúa en el momento del sellado para dar presión entre las superficies de la bolsa neumática. La mordaza superior debe tener un caucho siliconado resistente a altas temperaturas que alivie el golpe y proporcione consistencia al sellado. La viga inferior debe ser de un material aislante ya que contiene la resistencia de ferróniquel de 2-5 mm de ancho por 1-1.15 mm de espesor por la que pasa una corriente de entre 20-50 A en un tiempo de 0.2 a 3 segundos y luego por 7 segundos se deja enfriar a presión constante. La viga inferior está cubierta por una cinta de teflón que actúa como aislante, con el fin de no quemar la bolsa plástica de empaque. La bolsa neumática se infla para elevar la mordaza inferior hasta la superior y generar la presión de sellado.

Se han realizado muchas pruebas experimentalmente con máquinas semiautomáticas, donde controlan el calor suministrado, la presión ejercida y el

tiempo de calentamiento; con ellas han encontrado que las condiciones necesarias<sup>22,23</sup> para un buen sellado:

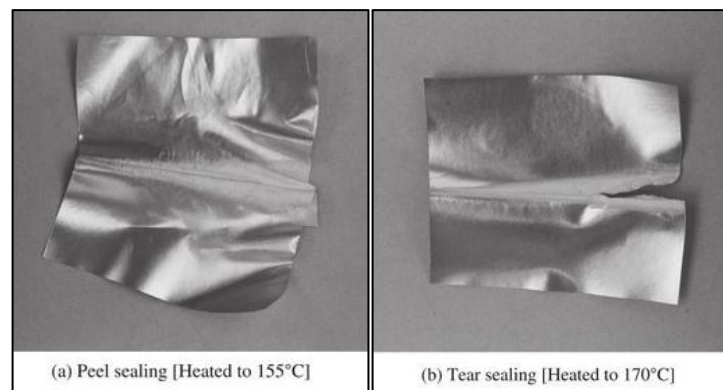
Presión 80-200 kPa

Temperatura función 100-140°C

Tiempo de sellado 0.2-3 s

Las condiciones presión, temperatura y tiempo de sellado, anteriormente mencionadas, deben cumplirse para evitar defectos en el sello, como pueden ser rasgaduras, zonas no selladas, quemadura del sello, etc. Un ejemplo de ello se ve en la Figura 18.

**Figura 18.** Defectos en el sellado



**Fuente:** HISHINUMA, Kazuo. Heat sealing technology and engineering for packaging. DEStech publications, 2009. Pag 267

<sup>22</sup> H.APPLD, K.Feiler, A. REINHARD, P.Schmidt. Tecnología de los materiales para profesionales técnicos-mecánicos. Edición en español. Editorial Reverté. Barcelona-España. 1985

<sup>23</sup> HISHINUMA, Kazuo. Heat sealing technology and engineering for packaging. DEStech publications, 2009. 267 p

## 7.2 DISEÑO DE LAS PARTES EN EL SISTEMA DE SELLADO

**7.2.1. Bolsa neumática:** La bolsa neumática se infla para elevar la mordaza inferior hasta la superior y generar la presión de sellado

**Figura 19.** Manguera neumática de PVC



**Fuente:**<http://www.pure-process.com/PDF/RO/LAYFLAT%20DISCHARGE%20HOSES/NUFLO.pdf>

Se utilizó una manguera flexible de PVC para descarga de agua de 1 pulg de diámetro, con una resistencia a la presión de 482,63 KPa<sup>24</sup>, la cual supera la presión atmosférica máxima de Bogotá que es 75,3 KPa<sup>25</sup> en un factor de 7.

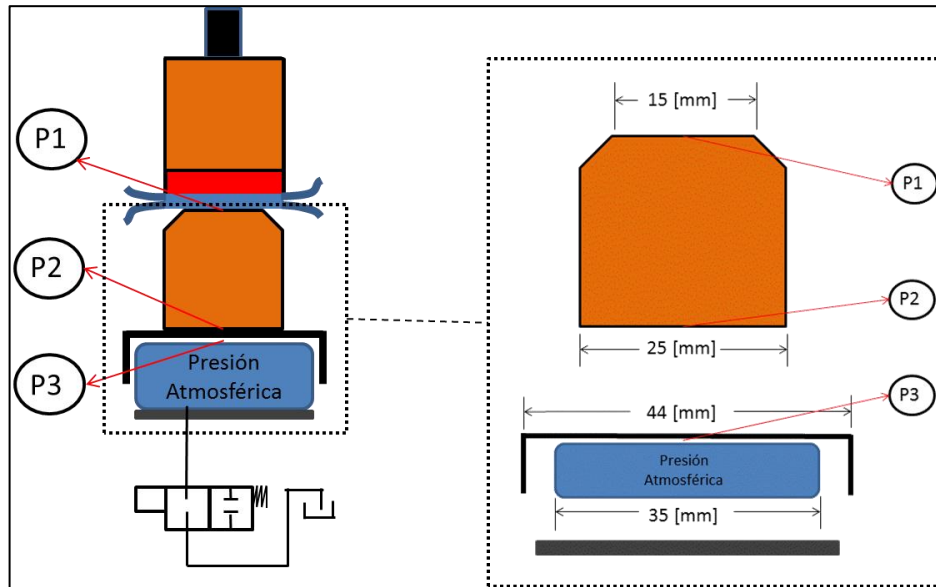
### 7.2.2 Mordaza o viga inferior

Debido a que la presión necesaria para un buen sellado se encuentra en el rango de 80-200 kPa y la presión máxima de Bogotá (sitio de ubicación de la máquina) es de 75,3 KPa, se hace necesario un amplificador de presión en la mordaza que para el caso particular consistió en la reducción del área en la parte superior de ésta. (Figura 20).

<sup>24</sup> Manual de uso consultado en línea el 20 de junio del 2013 en: <http://www.pureprocess.com/PDF/RO/LAYFLAT%20DISCHARGE%20HOSES/NUFLO.pdf>

<sup>25</sup> Eslava, J.A.: Variación temporal de la Presión Atmosférica en Bogotá. Rev. Acad. Colombia. Cienc. 18(69):175-181, 1991. ISSN 0370-3908

**Figura 20.** Amplificador de presión



P1=presión de sellado, P2=presión de la base de la mordaza inferior con el perfil de acero que la sostiene, P3=presión de contacto entre la manguera de PVC y el perfil de acero

**Fuente:** Los autores

Cuando la manguera de PVC (que le da movilidad a la mordaza inferior y se ubica bajo la misma) se infla, genera una presión (P3) sobre el perfil de acero de 44 mm, sin embargo su contacto es de tan solo 35 mm como lo muestra la Figura 20.

Para comprobar si las dimensiones de la mordaza inferior proporcionan las condiciones necesarias para llegar al rango de presión (80-200 kPa), fue necesario el cálculo de la presión de contacto (P1).

$$F_3 = P_3 * A_3 = F_2 = P_2 * A_2 = F_1 = P_1 * A_1$$

$$F_3 = \text{Fuerza en el punto 3 [N]}$$

$$F_2 = \text{Fuerza en el punto 2 [N]}$$



$F_1 = \text{Fuerza en el punto 1 [N]}$

$A_3 = \text{Area en el punto 3 [m}^2\text{]}$

$A_2 = \text{Area en el punto 2 [m}^2\text{]}$

$A_1 = \text{Area en el punto 2 [m}^2\text{]}$

$P_3 = \text{Presión en el punto 3 [Kpa]}$

$P_2 = \text{Presión en el punto 2 [Kpa]}$

$P_1 = \text{Presión en el punto 1 [Kpa]}$

De esta manera

$$P_3 * A_3 = P_1 * A_1$$

$$P_1 = \frac{P_3 * A_3}{A_1}$$

$$P_3 = P_{atm}$$

$$P_1 = \frac{P_{atm} * A_3}{A_1}$$

$$A_3 = 35[mm] * 590[mm]$$

$$A_3 = 20650[mm]^2 = 0.02065[m]^2$$

$$A_1 = 15[mm] * 590[mm]$$

$$A_1 = 8850[mm]^2 = 0.00885[m]^2$$

$$P_1 = \frac{75.3[Kpa] * 0.02065[m]^2}{0.00885[m]^2}$$

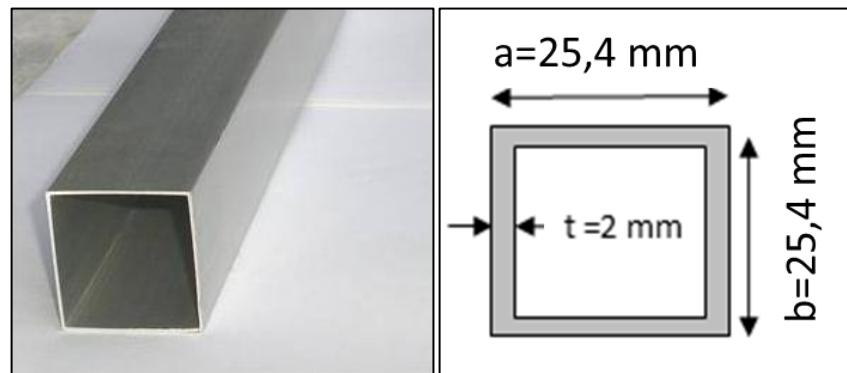
$$P_1 = 175.7 [Kpa] = 0.1757 \left[ \frac{kN}{mm^2} \right]$$

El valor calculado para P1 está entre el rango recomendado para hacer un buen sellado.

### 7.2.3 Mordazas o viga superior

La mordaza superior debe soportar la fuerza del impacto de cierre, a su vez debe ser liviana y de un material resistente, por lo cual se decidió utilizar un perfil de aluminio cuadrado de 1 pulgada (Figura 21) que es económico y cubre las necesidades antes mencionadas.

**Figura 21.** Perfil de aluminio cuadrado de 1 pulg y su sección transversal



**Fuente:** Los autores

7.2.3.1 Cálculo de resistencia de la viga superior Con el fin de comprobar si la selección de la viga superior es adecuada para el trabajo de la máquina, se realizaron los cálculos necesarios (fuerzas, cortantes y momentos) para determinar si el factor de seguridad está en el rango adecuado.

#### 1. Cálculo de la fuerza distribuida

$$F_{dist} = P_1 * a$$

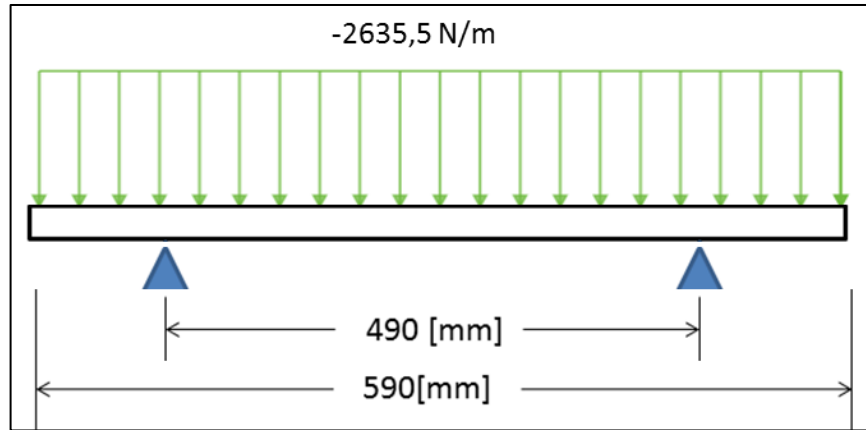
$$F_{dist} = \text{Fuerza distribuida}$$

$$P_1 = \text{Presión en el punto 1} \left[ \frac{KN}{mm^2} \right] = 0.1757 \left[ \frac{KN}{mm^2} \right]$$

$$a = \text{ancho del sellado} [mm] = 15 \text{ mm}$$

$$F_{dist} = 0.1757 \left[ \frac{KN}{mm^2} \right] * 15 \text{ mm} = 2.6355 \left[ \frac{N}{mm} \right] = 2635.5 \left[ \frac{N}{m} \right]$$

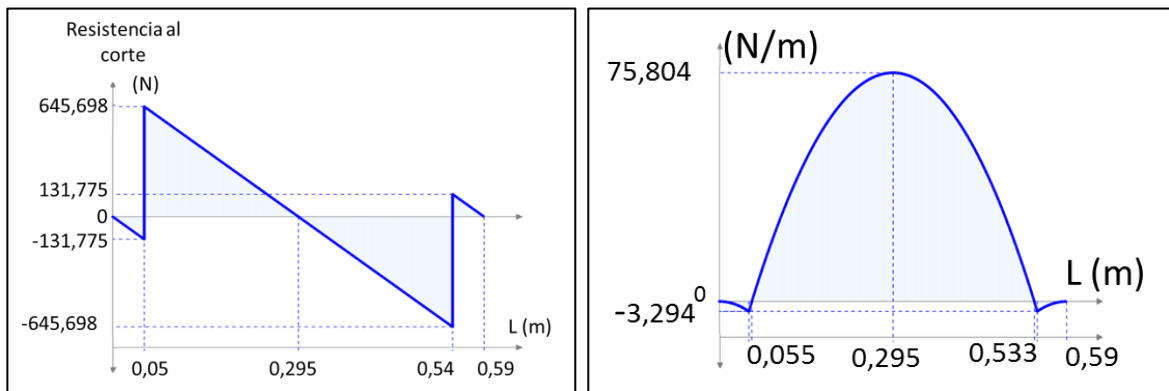
**Figura 22.** Estado de carga de la viga superior con apoyos



**Fuente:** <http://bendingmomentdiagram.com>

2. Diagramas de cortante y momento flector: se calcularon con el software libre The Beking Moment Diagram como se muestran a en la Figura 23

**Figura 23.** Diagramas de cortante y momento flector



a) Diagrama de cortante

b) Diagrama de momentos

momentos

**Fuente:** <http://bendingmomentdiagram.com>

Con los valores obtenidos de la Figura 23 se determinó el máximo cortante como: 645.698 N y el mínimo -645.698 N, el máximo momento flector 75.804 Nm, (ocurre en el centro) y el mínimo -3.294 Nm a 5 y 54 cm respectivamente.

### 3. Cálculo del esfuerzo normal y del factor de seguridad

El esfuerzo normal de un punto en la mitad de la viga y en la sección inferior de ésta es el mayor esfuerzo de tensión en todo el elemento, y está dado por:

Donde  $b_1$  y  $b_2$  se muestran en la Figura 21 correspondiente a la sección transversal de la viga

$$\sigma = \frac{M * C}{I} \quad \text{Donde } I = \frac{1}{12} b_1 h_1^3 - \frac{1}{12} b_2 h_2^3$$

$$I = \frac{1}{12} 0.0254^4 - \frac{1}{12} 0.0214^4 = 1.72086 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$\sigma = \frac{M * C}{I} = \frac{75.804 * \left(\frac{0.0254}{2}\right)}{1.72086 \times 10^{-8}} = 55.94 \text{ MPa}$$

Comparando el esfuerzo normal en ese punto central con el esfuerzo de cedencia 95 MPa<sup>26</sup>, se tiene que el factor de seguridad es:

$$N = \frac{S_y}{\sigma} = \frac{95}{55.94} = 1.7$$

Este valor de seguridad indica que la selección del perfil de aluminio de 1 pulg es el requerido para el trabajo de la máquina.

#### 7.2.4 Selección del caucho siliconado

Este caucho debe tener la capacidad de resistir una temperatura de 130 °C, debe ser aislante de la corriente eléctrica y nulo a la absorción de humedad, además debe resistir los choques de las barra de sellado. Por esta razón se seleccionó un caucho siliconado de 60 shores de dureza (Figura 24), el cual además de ser económico es ampliamente usado en selladoras de uso industrial.

<sup>26</sup> NORTON, ROBERT L. Diseño de máquinas. Prentice Hall, México, 1999. 1080 p

**Figura 24.** Caucho siliconado de uso industrial



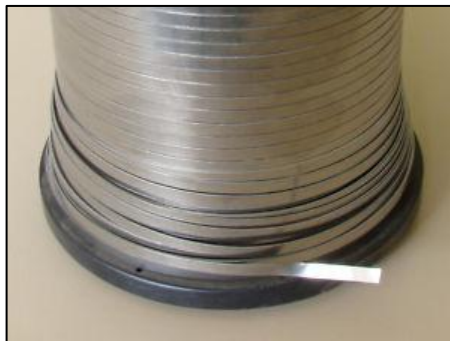
**Fuente:** [http://www.mikai.com.mx/otros\\_productos.htm](http://www.mikai.com.mx/otros_productos.htm)

### **7.2.5 Selección de la resistencia de ferroníquel.**

La máquina tiene la capacidad de hacer un doble sellado, para ello se utilizó una cinta Nicrom que actúa como resistencia eléctrica y se calienta por la corriente de 20-50 A en un tiempo de 2-3 s.

La cinta Nicrom, es económica y se usa en la construcción de máquinas para sellado al vacío. Sin embargo, el uso las deteriora y deben cambiarse una vez la máquina no haga un buen sellado. En el diseño de la máquina, se seleccionó una cinta de 3 mm de ancho por 1mm de grosor de 2 [ $\Omega$ /m] (Figura 25).

**Figura 25.** Cinta Nicrom

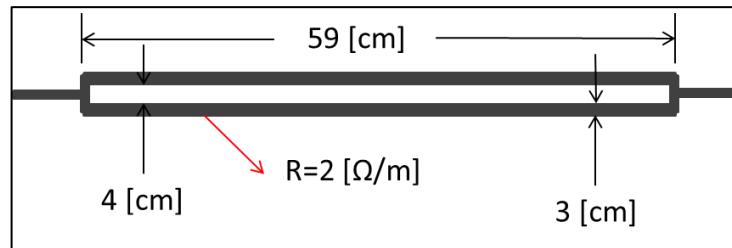


**Fuente:**

[http://i.ebayimg.com/00/\\$\(KGrHqQOKiIE30FkQUdKBO!Ku\(YeZ!~~\\_35.JPG](http://i.ebayimg.com/00/$(KGrHqQOKiIE30FkQUdKBO!Ku(YeZ!~~_35.JPG)

La Figura 26 muestra el esquema de la resistencia de ferroníquel para el doble sellado. Esta resistencia consta de dos cintas de 3 mm de ancho por 59 cm de largo, las cuales están separadas una distancia de 4 mm y su valor de resistencia total es la suma de las resistencias en paralelo tal como se muestra a continuación.

**Figura 26.** Esquema de la resistencia de ferroníquel para el doble sellado



**Fuente:** Los autores

$$\frac{1}{R_{Frrn}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R}$$

$$R_{Frrn} = R_{ferroníquel}$$

$$R = \text{Resistencia de la cinta nicrom} = 2[\Omega/m]$$

$$R = 2 \left[ \frac{\Omega}{m} \right] * 0.59[m] = 1.18[\Omega]$$

$$\frac{1}{R_{Frrn}} = \frac{1}{1.18[\Omega]} + \frac{1}{1.18[\Omega]}$$

$$R_{Frrn} = 0.59[\Omega]$$

La resistencia total, es la suma de la  $R_{Frrn}$  más la resistencia del cable que llega al transformador, este valor fue medido dando como resultado 1.1 [Ω]

### 7.2.6 Selección del transformador

Para la selección del transformador se utilizó el criterio de corriente para un buen sellado. Estos valores van de 20-50 A aplicado en un tiempo de 0.2 a 3 segundos. Para realizar una adecuada selección se calculó la potencia del transformador como se muestra a continuación

$$V_{out-T} = I * R_{Total}$$

$V_{out-T}$  = Voltaje del salida del transformador

$I$  = corriente que pasa por la resistencia

$R_{Total}$  = Resistencia total

$$V_{out-T} = 20[A] * 1.1[\Omega]$$

$$V_{out-T} = 22[V]$$

El valor de  $V_{out-T}$  se aproximó a 30 V, ya que en el comercio de transformadores este valor de salida es común.

$$P_T = V_{out-T} * I$$

$P_T$  = Potencia del transformador

$V_{out-T}$  = Voltaje del salida del transformador

$I$  = Corriente que pasa por la resistencia

$$P_T = 30 [V] * 20[A] = 600 \text{ wats}$$

El valor de potencia, indica que el transformador debe tener 600 wats o más para poder trabajar sin problemas. Sin embargo, este dato resulta útil si el sistema trabaja continuamente y como las barras de sellado solo trabajan por un tiempo de 3 seg por cada ciclo, se decidió seleccionar uno de 150 wats “por barra de sellado” el cual a pesar de tener un 75 % menos de potencia, es económico, comercialmente accesible y posee la capacidad suficiente para trabajar en este lapso de tiempo sin ningún problema.

**Figura 27.** Transformador de 150 W de 115 V a 30 V



**Fuente:** Los autores

### 7.3 CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE SELLADO

La construcción del sistema de sellado se explica paso a paso en la Figura 28.

**Figura 28.** Barras de sellado inferior



**Fuente:** Los autores

La barra de sellado inferior de la izquierda, está sin recubrimiento de teflón adhesivo (necesario para que no se queme la bolsa para empacar), contrario a la barra de la derecha que si está recubierta.



**Figura 29.** Descripción paso a paso de la construcción del sistema de sellado

**a)** Vulcanizado de manguera de PVC



**c)** Acople rápido de la bolsa neumática



**b)** Agujero para acople rápido



**Fuente:** Los autores

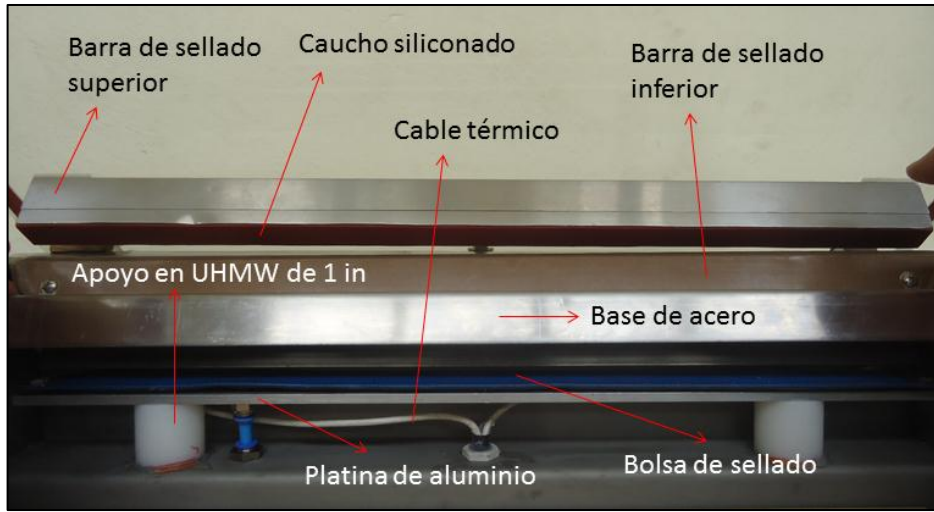
**d)** Bolsa neumática



La bolsa neumática fue vulcanizada en sus extremos y luego sellada con una platina con pernos para evitar que se despegara al inflarse

El sistema de sellado con sus partes se muestra en la Figura 30

**Figura 30.** Sistema de sellado



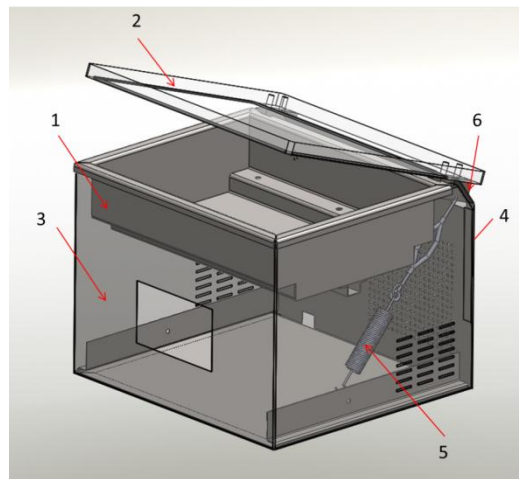
**Fuente:** Los autores

## 8. SISTEMA ESTRUCTURAL

El sistema estructural está conformado por la bandeja, la tapa superior de acrílico, la carcasa, y la tapa posterior, las cuales son piezas que soportan y encierran al producto, según lo muestra la Figura 31. Además para facilitar la apertura de la tapa y el retiro del producto empacado se diseñó un sistema de apertura basado en resortes de extensión.

**Figura 31.** Descripción del sistema estructuras

- Bandeja
- Tapa de acrílico
- Carcasa
- Tapa posterior
- Resorte de extensión para apertura
- Bisagra



**Fuente:** los autores

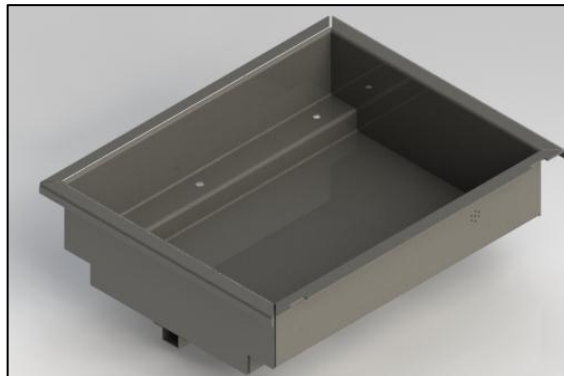
A continuación, se describe cada una de las partes estructurales y su diseño, basados en los parámetros y requerimientos para la máquina empacadora al vacío.

## 9. DISEÑO DE LA BANDEJA

Una vez calculadas las dimensiones útiles necesarias para la cámara de vacío, se diseñó la bandeja. La función de la bandeja es la de alojar el producto a empacar, adicionalmente, ésta soporta el sistema de sellado y la abertura de succión de la bomba.

De acuerdo con las especificaciones de los elementos requeridos para la construcción de máquina, la construcción de esta pieza es en lámina de acero inoxidable calibre 1/8" (3.175 mm). La bandeja, consta originalmente de una sección central y dos partes laterales soldadas que la "cierran" como se puede ver en la Figura 32. Las dimensiones de la misma son: 60 x 45 x 17 cm (L,A,H), de las cuales el espacio útil es de: 60 x 38 x 16 cm. Con el fin de aumentar la rigidez al conjunto que conforma la bandeja se soldó una viga en forma de omega.

**Figura 32.** Estructura de la bandeja de la cámara de vacío



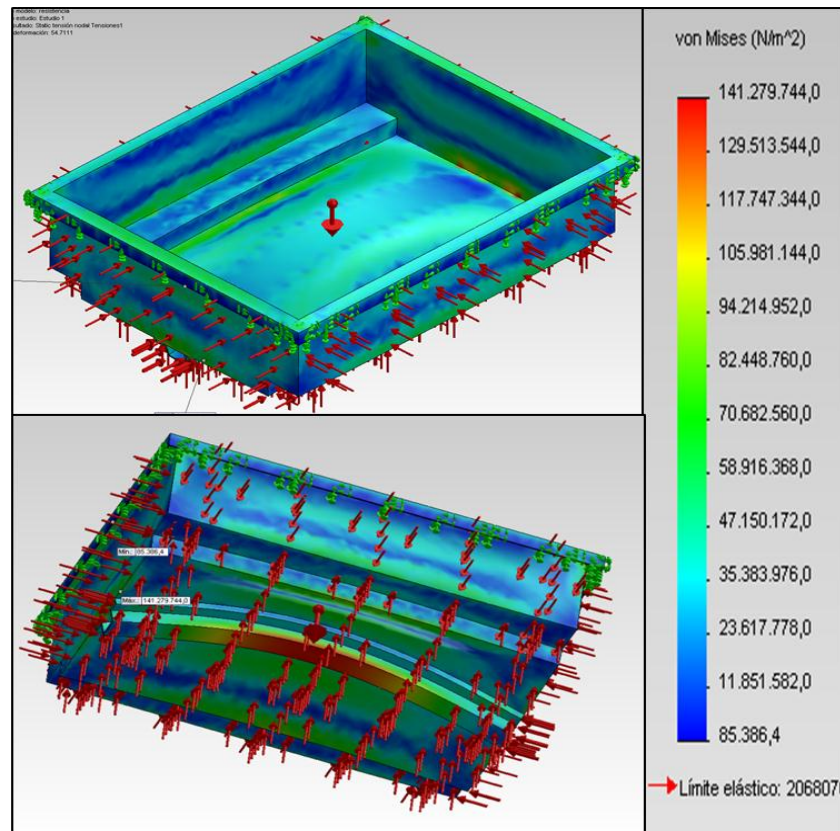
**Fuente:** Los autores

En el diseño de la bandeja, el parámetro determinante es el calibre de la lámina o su espesor, por lo que se hizo necesario conocer si el material seleccionado resiste los esfuerzos a los que está expuesta esta pieza. Como el análisis de resistencia de la bandeja es complejo para ser calculado de forma analítica, se

utilizó el software de diseño y simulación SOLIDWORKS versión 2011 para simular el comportamiento de la misma mediante elementos finitos. Para este análisis se tomaron como parámetros los laterales de la bandeja como superficies fijas (flechas verdes de la Figura 33), ya que estos van sujetos con pernos a la carcasa de la máquina, la carga (flechas rojas) con un valor de  $100 \text{ KN/m}^2$  y la gravedad.

Las propiedades del material de las piezas que se usaron en la simulación están indicadas en la tabla 7 y los resultados se muestran en la Figura 33.

**Figura 33.** Solución CAE para el campo de tensiones de la bandeja



**Fuente:** los autores

**Tabla 7.** Propiedades del acero inoxidable

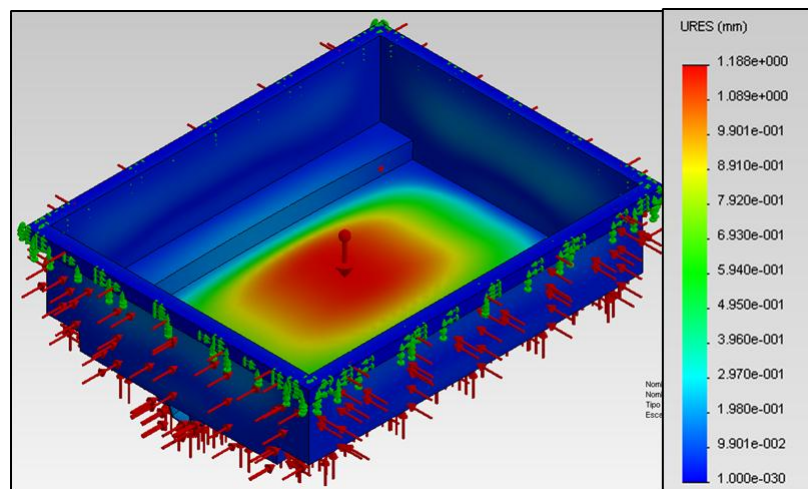
Material	Módulo de Young E [Gpa]	Coefficiente de Poisson v	Esfuerzo a la fluencia Sy [Mpa]	Esfuerzo último de tensión Sut [Mpa]
Acero inoxidable 304	207	0.29	206	517

**Fuente:** Matweb

El estudio de simulación del campo de tensiones (Figura 33) muestra que la bandeja en general resiste bien la carga, dado que el coeficiente de seguridad mínimo en la bandeja es de  $N=2.4$  y en la viga de  $N= 1.4$ ; Además, los puntos con mayor valor de esfuerzos se localizan en las esquinas de la bandeja y en el centro de la viga.

Adicionalmente, de la simulación del campo de desplazamientos mostrado en la Figura 34 se concluye que la deformación en los laterales de la bandeja es poco significativa, en comparación con la deflexión que presenta la parte inferior, Ya que tiene una mayor área. El valor de deflexión máxima se encuentra en el centro y es de 1.2 mm.

**Figura 34.** Campo de desplazamientos



**Fuente:** Los autores

## 9.1 DISEÑO DE LA TAPA DE ACRÍLICO

La tapa crea junto con la bandeja, el espacio hermético o cámara de vacío. Con el fin de hacer seguimiento al proceso de empaclado se buscó un material que fuese transparente, resistente a la corrosión y con buena resistencia mecánica. Se escogió el acrílico con las características que se muestran en la Tabla 8.

**Tabla 8.** Propiedades del acrílico.

Material	E [Gpa]	$\nu$	Sy [Mpa]	Sut [Mpa]	Se [Mpa]
Acrílico	3	0.35	45	75	38

**Fuente:** Matweb

La parte inferior de la tapa (Figura 35), van aseguradas las mordazas superiores de las barras de sellado, adicionalmente posee un maquinado que sirve como guía para colocar el empaque siliconado que permitirá un buen cierre, y en la parte posterior dos agujeros a cada lado para unirse a las bisagras que la soportarán a la carcasa de la maquina empacadora.

**Figura 35.** Tapa de acrílico



**Fuente:** Los autores

Para el cálculo del espesor de la tapa de acrílico, la misma puede trabajarse como una placa delgada sometida a una carga distribuida, por lo que se hace necesario conocer el modelo que describe los esfuerzos en ella; Cálculo que se realizó mediante la teoría de placas la cual se describe en el Anexo G.

### 9.1.1 Cálculo del espesor de la tapa de acrílico

Haciendo uso de la teoría de placas (Anexo G), se calcula el espesor adecuado de la tapa de acrílico, utilizando las siguientes condiciones:

- Las medidas de la lámina son: 64 cm x 68 cm, sin embargo, la fuerza de vacío se aplica a un área de 65.5 x 53 cm.
- La tapa de acrílico está sometida a dos esfuerzos: máximo y mínimo por cada ciclo, por lo tanto se debe analizar bajo el criterio de falla por fatiga.
- Las condiciones de borde se aproximan como simplemente apoyadas, ya que la tapa se encuentra sobre un empaque que no permite su desplazamiento, pero sí una rotación del plano medio.

La solución de la ecuación diferencial de la placa junto con las condiciones de borde mediante el método de Navier es<sup>27</sup>:

$$w = \frac{16q_0}{\pi^6 D} \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b}}{mn * \left( \frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2} \right)^2}$$

Donde m= 1,3,5..... y n= 1,3,5....., y D es la rigidez de la placa.

Para el punto de deflexión máxima, es decir el centro de la placa, donde x = a/2 y y=b/2 se tiene que:

$$w_{max} = \frac{16q_0}{\pi^6 D} \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{\frac{m+n}{2}-1}}{mn * \left( \frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2} \right)^2}$$

<sup>27</sup> Para conocer el procedimiento de solución referirse a TIMOSHENKO, P. Stephen y WOINOWSKY-KRIEGER, S. Theory of plates and shells. 2 ed. McGraw – Hill, 1959. 580 p.



Esta es una serie que converge rápidamente, de forma que con solo el primer término el error es del 2.5%. Tomando los primeros 3 términos de las series y reemplazando por los valores se tiene que:

$$a = 0.53 \text{ m}, \quad b = 0.65 \text{ m}, \quad q_0 = 96000 \text{ N/m}^2, \quad E = 3 \cdot 10^9 \text{ Pa}, \quad \nu = 0.35$$

$$W_{max} = \frac{16q_0}{\pi^6 D} * 0.0277 = \frac{1.553E - 7}{t^3} \text{ [m]}$$

Una vez hallada la deflexión máxima, se procede a hallar los esfuerzos en función del espesor, tomando únicamente el primer término de la serie y realizando los reemplazos necesarios. Se tiene que los esfuerzos evaluados en  $z = h/2$  están dados por:

$$\sigma_x = \frac{96q_0}{\pi^4 h^2} * \frac{\sin \frac{\pi x}{a} \sin \frac{\pi y}{b}}{\left(\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2}\right)^2} * \left(\frac{1}{a^2} + \frac{\nu}{b^2}\right)$$

$$\sigma_y = \frac{96q_0}{\pi^4 h^2} * \frac{\sin \frac{\pi x}{a} \sin \frac{\pi y}{b}}{\left(\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2}\right)^2} * \left(\frac{\nu}{a^2} + \frac{1}{b^2}\right)$$

$$\tau_{xy} = \frac{96q_0(1 + \nu)}{ab\pi^4 h^2} * \frac{\cos \frac{\pi x}{a} \cos \frac{\pi y}{b}}{\left(\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2}\right)^2}$$

Para el punto más crítico que es el centro de la placa, se tiene que:

$$\sigma_x = \frac{96q_0}{\pi^4 h^2} \frac{\left(\frac{1}{a^2} + \frac{\nu}{b^2}\right)}{\left(\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2}\right)^2} = \frac{12138.27}{t^2} \text{ [N/m}^2\text{]}$$

$$\sigma_y = \frac{96q_0 \left( \frac{\nu}{a^2} + \frac{1}{b^2} \right)}{\pi^4 h^2 \left( \frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} \right)^2} = \frac{10210.17}{t^2} \left[ \frac{N}{m^2} \right]$$

$$\tau_{xy} = 0$$

Debido a que el cálculo de la cortante es de cero, se asume que es un plano principal con los esfuerzos máximo y mínimo dados.

Si se iguala el valor del esfuerzo máximo al esfuerzo de fluencia y se aplica un factor de seguridad de  $N=3.5$ , se tiene que:

$$\sigma_x = \frac{12138.27}{t^2} = \frac{60 * 10^6}{3.5} \rightarrow t = 26.61 \text{ mm}$$

Para el cálculo de los esfuerzos de fatiga, se tienen en consideración el esfuerzo mínimo y máximo. El valor del esfuerzo mínimo es cero, ya que es en la condición donde no existe vacío, de esta forma:

$$\sigma_{min} = 0 ; \sigma_{max} = \frac{12138.27}{t^2}$$

$$\sigma_{alt} = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} ; \sigma_{medio} = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} \rightarrow \sigma_a = \sigma_m = \frac{6070}{t^2}$$

Utilizando el criterio de Soderberg con un coeficiente de seguridad de  $N=3.5$

$$\sigma_a = \frac{S_e}{N} \left( 1 - \frac{\sigma_m}{S_{ut}} \right)$$

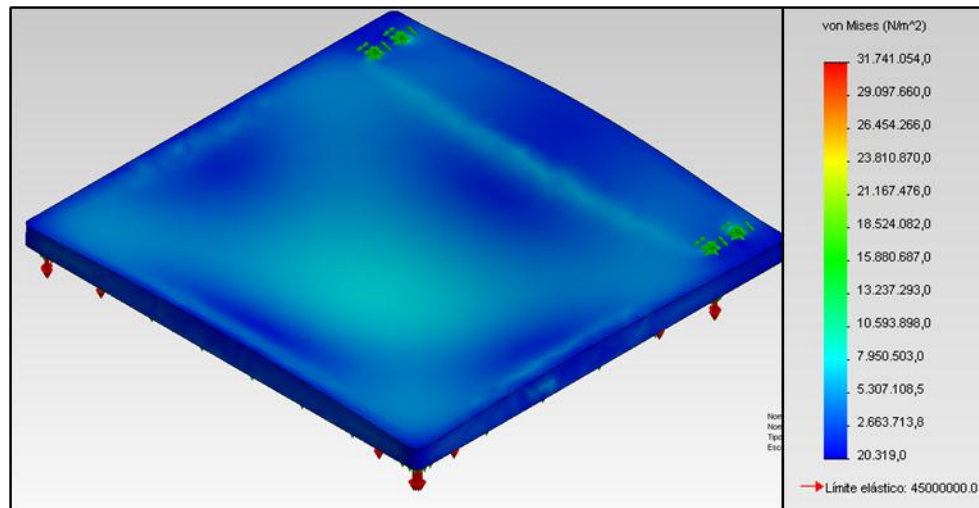
$$t = 29.02 \text{ mm}$$

Lo cual permitió seleccionar una lámina de acrílico con un espesor de 30 mm, obteniendo un factor de seguridad de  $N=3,74$  y una deflexión máxima de 5,7 mm.

Para tener en cuenta los efectos de la geometría como agujeros y el mecanizado en el campo de tensiones, se realizó una simulación de cargas en el programa SOLIDWORKS. Simulación a partir de la cual se obtuvieron las tensiones de von

mises en la placa como se observa en la Figura 36. El valor máximo de la simulación se encuentra en el centro de la placa como se esperaba, con un valor de 9 MPa.

**Figura 36.** Solución CAE tensiones de von Mises

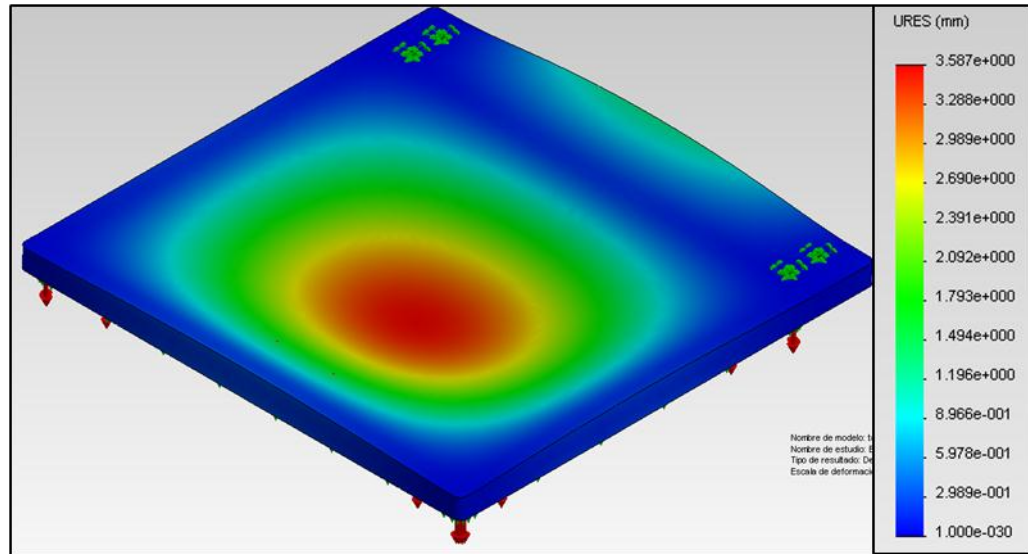


**Fuente:** Los autores

La simulación, permitió comprobar que la placa resiste muy bien la carga aplicada, ya que el valor del esfuerzo se encuentra cerca del 20% del valor del esfuerzo de fluencia del material.

Los resultados muestran también el campo de deformaciones (Figura 37), en donde la deflexión máxima es de 3.6 mm, la cual es menor a la encontrada en el análisis anterior. Finalmente, se observa el efecto de pandeo que tiene sobre la parte posterior de la placa, deformándola cerca de 1.5 mm.

**Figura 37.** Campo de deformaciones



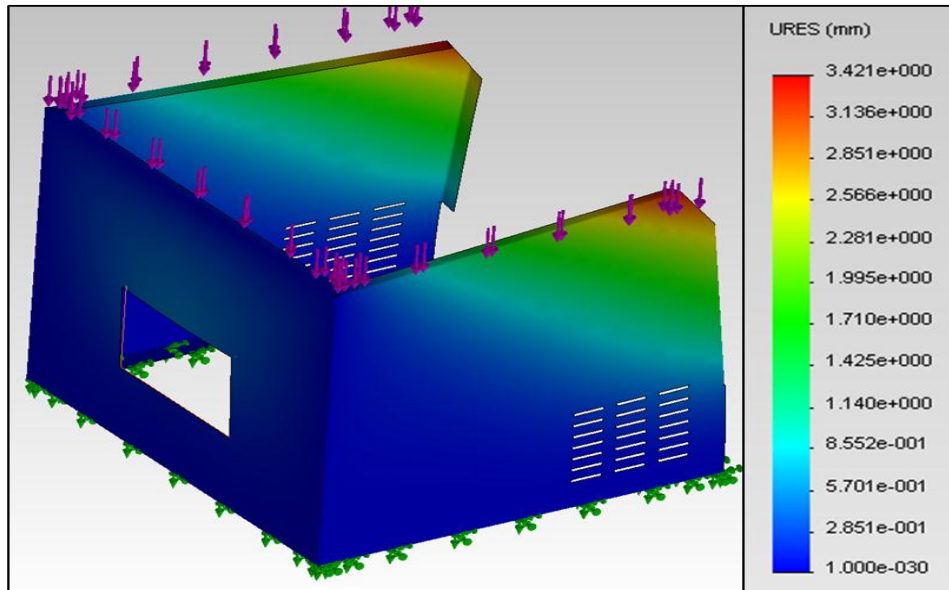
**Fuente:** Los autores

## 9.2 DISEÑO DE LA CARCASA

La carcasa, es la pieza que envuelve a la bandeja, al sistema de control, a la bomba de vacío y demás componentes. Esta pieza tiene soldada a la parte inferior vigas en V que agregan soporte al conjunto.

Adicionalmente, debe permitir fácil acceso al aire atmosférico a las bolsas neumáticas en el momento en que termine el ciclo de vacío. Para ello se diseñaron unas ventilas a los costados de la carcasa.

**Figura 38.** Deformaciones de la carcasa



**Fuente:** Los autores

En la Figura 38 se muestra la deformación de la carcasa, causada por el peso de la bandeja, del producto, de la tapa y de una presión externa de 25 kg. Se observó que la máxima deflexión ocurrió en la parte posterior y es cercana a los 3.5 mm, lo que no afecta significativamente el desempeño de la máquina. Sin embargo, el modelo simulado no tiene en cuenta la tapa posterior, por lo que una vez armada la maquina ésta deflexión debe ser menor 3.5 mm, dado que la tapa agrega rigidez al conjunto.

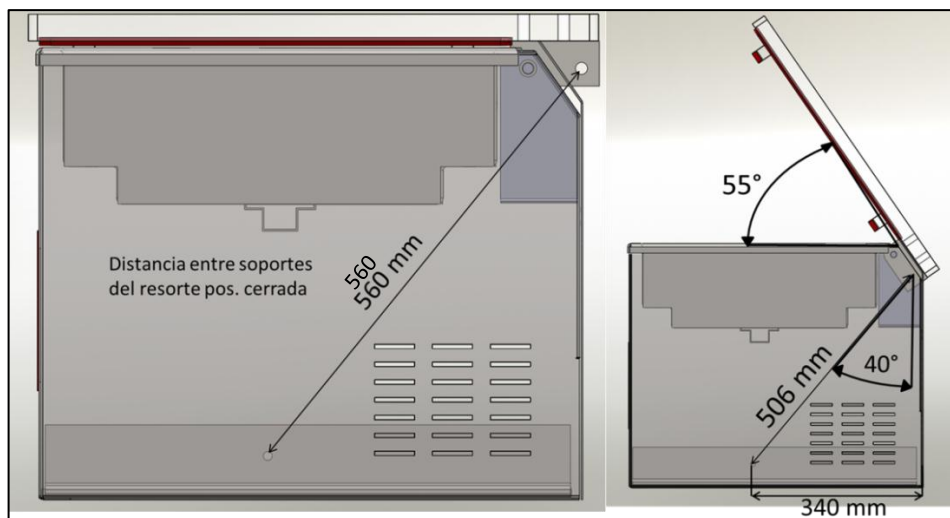
La tapa posterior además de dar rigidez a la máquina, es de fácil remoción, para facilitar el mantenimiento de la máquina. Esta tapa lleva perforaciones que también permiten la ventilación y el control del nivel de aceite de la bomba de vacío.

### 9.3 DISEÑO DEL RESORTE:

Para facilitar el proceso y con el fin de hacer la operación de empacado más ergonómica se creó un sistema de apertura automática de la tapa de acrílico. Para lo cual, se optó por un par de resortes ubicados junto a las bisagras de forma que creara un momento opuesto al peso de la lámina (cerca de 15 Kg).

En la Figura 39 se observa la ubicación del resorte y tensor en la posición cerrada y abierta respectivamente, en la cual el tensor tiene una longitud mínima de 18 cm y máxima de 28 cm, Adicionalmente, en el diagrama de cuerpo libre

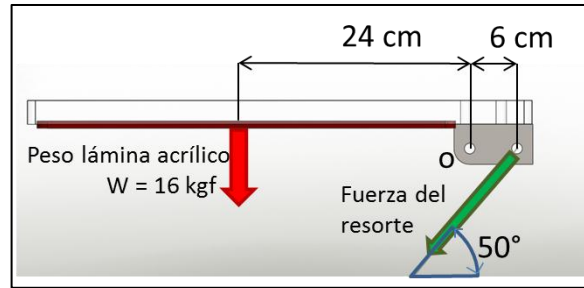
**Figura 39.** Vista lateral maquina a) cerrada b) máxima apertura



**Fuente:** los autores

El diagrama de cuerpo libre para la tapa de acrílico y las bisagras en condición cerrada se muestra a continuación en la Figura 40, junto con el cálculo de las fuerzas sobre los resortes.

**Figura 40.** DCL tapa de acrílico, condición cerrada



**Fuente:** Los autores

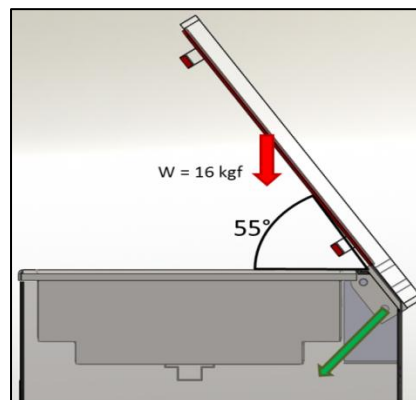
Realizando la sumatoria de Momentos alrededor del pasador en O, se encontró que la fuerza total sobre los resortes es:

$$\sum M_o = 0$$

$$24 * 16 - 6 * Fk * \sin(50) = 0 \rightarrow Fk_{max} = 83.54 \text{ kgf}$$

Puesto que en ambos lados tiene un resorte, la fuerza de cada uno es la mitad (41.77 kgf). De forma similar, se realizaron los cálculos de las fuerzas sobre los resortes para esta condición de máxima apertura:

**Figura 41.** D.C.L. Tapa de acrílico y bisagras, condición máxima apertura



**Fuente:** Los autores

$$\sum M_o = 0 \rightarrow 24 * \cos(55) * 16 - 6 * Fk * (\cos(55) \sin(50) + \sin 55 \cos 50) = 0$$

$$220.25 - 5.7955Fk = 0 \rightarrow Fk = 38 \text{ Kgf}$$

Puesto que en ambos lados de la maquina hay un resorte se encontró que la fuerza de cada uno de estos es la mitad (19 kgf). Como forma de compensar las fricciones y para tener un margen de seguridad, asegurando que la tapa no caiga de su posición máxima, y basados en los cálculos anteriores, se decidió utilizar una fuerza mínima de 24 kgf para el diseño del resorte y bisagras con un tope de caucho para limitar el máximo ángulo de apertura.

Teniendo los dos valores de fuerza y el cambio en la longitud se halló la constante elástica del resorte:

$$\Delta F = k\Delta x \rightarrow k = \frac{41.77 - 24 \text{ kgf}}{60 - 50.6 \text{ cm}} = 1,88 \frac{\text{kg}}{\text{cm}} \quad (1842 \text{ N/m})$$

Para el diseño del resorte, se escogió como material ASTM A230 (SAE 1070) galvanizado. Este es un alambre revenido en aceite, adecuado para carga a la fatiga con una rigidez  $G=11.5E6$  psi.

Con el fin de determinar el cálculo del resorte se siguen los siguientes pasos:

Se supuso un diámetro de alambre d y un índice adecuado C. Se halló el diámetro mayor	Valores $d=0.165$ in y $C=8.6$ $C = \frac{D}{d}$ $D=1.42$ in
Con el valor supuesto de C se determinó el valor adecuado de esfuerzo inicial en la espira	$\tau_{i,1} = -4.231 \cdot C^3 + 181.5 \cdot C^2 - 3387 \cdot C + 28640$ $\tau_{i,2} = -2.987 \cdot C^3 + 139.7 \cdot C^2 - 3427 \cdot C + 38404$ $\tau_i = \frac{\tau_{i,1} + \tau_{i,2}}{2}$ $\tau_{i,1} = 13804$
Se obtuvo el factor por cortante directo	$K_s = 1 + \frac{0.5}{C}$ $K_s = 1.058$
Se obtiene el valor de la fuerza inicial esta debe ser menor a la Pmin	$P_i = \frac{d^3 \pi \tau_i}{8 K_s D} \quad P_i = 16.22 \text{ lb}$

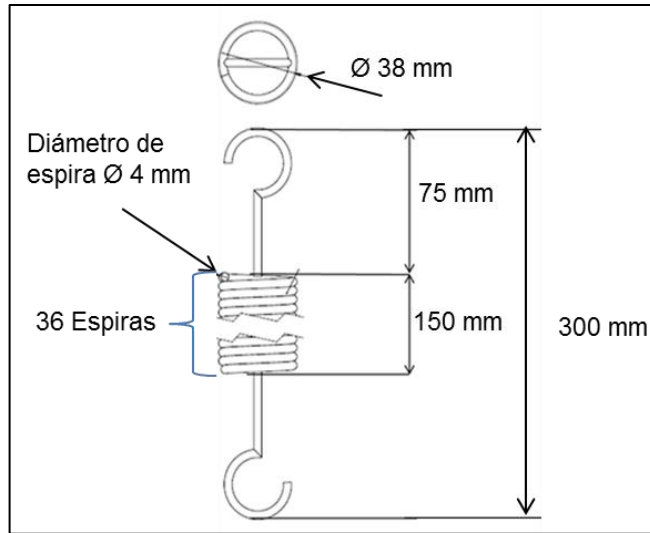


<p>Se analiza por fatiga, para ello se hallan las fuerzas medias y alternantes</p>	$P_{alt} = \frac{P_{max} - P_{min}}{2}$ $P_{med} = \frac{P_{max} + P_{min}}{2}$ <p>Palt= 19.6 lb      Pmed= 72.4 lb</p>
<p>Se hallan los factores de Wahl y con el factor de cortante directo se pueden obtener expresiones para los esfuerzos</p>	$K_w = \frac{4 \cdot C - 1}{4 \cdot C - 4} + \frac{0.615}{C}$ $\tau_{med} = \frac{8 \cdot D_{may} \cdot K_w \cdot P_{med}}{\pi \cdot d^3}$ $\tau_{alt} = \frac{8 \cdot D_{may} \cdot K_w \cdot P_{alt}}{\pi \cdot d^3}$ <p>K_w=1.17, tau_med=68150, tau_alt=18450</p>
<p>Se determina la resistencia última a la tensión del material y la resistencia a la fatiga</p>	<p>Sut= 14040/(D<sup>0.1</sup>) para 0.236&lt;D&lt;0.635</p> $S_{us} = 0.67 \cdot S_{ut}$ $S_{ys} = 0.6 \cdot S_{ut}$ $S_{ew} = \frac{56352}{D_{may}^{0.15}}$ $S_{es} = \frac{0.707 \cdot S_{ew} \cdot S_{us}}{S_{us} - 0.707 \cdot S_{ew}}$ <p>S_e=84720, S_es=48883, S_ew=52870 S_us=158823, S_ut=237050</p>
<p>Se calcula el factor de seguridad contra la fatiga para las espiras en torsión</p>	$N_{dina} = \frac{S_{es} \cdot (S_{us} - \tau)}{S_{es} \cdot (\tau_{med} - \tau) + S_{us} \cdot \tau_{alt}}$ <p>Ndina=1.283</p>
<p>Se calculan los esfuerzos de flexión en los ganchos de los extremos suponiendo los radios de dobléz</p>	<p>R_1=1      R_2=1</p> $C_1 = \frac{2 \cdot R_1}{d}$ $K_b = \frac{4 \cdot C_1^2 - C_1 - 1}{4 \cdot C_1 \cdot (C_1 - 1)}$ $\sigma_{alt} = K_b \cdot \frac{16 \cdot D_{may} \cdot P_{alt}}{\pi \cdot d^3} + \frac{4 \cdot P_{alt}}{\pi \cdot d^3}$ $\sigma_{med} = K_b \cdot \frac{16 \cdot D_{may} \cdot P_{med}}{\pi \cdot d^3} + \frac{4 \cdot P_{med}}{\pi \cdot d^3}$ $\sigma_{min} = K_b \cdot \frac{16 \cdot D_{may} \cdot P_{min}}{\pi \cdot d^3} + \frac{4 \cdot P_{min}}{\pi \cdot d^3}$

	$K_b=1.066$ $\sigma_{alt}=39156$ , $\sigma_{med}=144637$ $\sigma_{min}=105481$
Se calculan los esfuerzos de torsión en los ganchos de los extremos	$C_2 = \frac{2 \cdot R_2}{d}$ $K_{w2} = \frac{4 \cdot C_2 - 1}{4 \cdot C_2 - 4}$ $\tau_{B,alt} = K_{w2} \cdot \frac{8 \cdot D_{may} \cdot P_{alt}}{\pi \cdot d^3}$ $\tau_{B,med} = K_{w2} \cdot \frac{8 \cdot D_{may} \cdot P_{med}}{\pi \cdot d^3}$ $\tau_{B,min} = K_{w2} \cdot \frac{8 \cdot D_{may} \cdot P_{min}}{\pi \cdot d^3}$ $K_{w2}=1.074, \tau_{B,alt}=18012$ $\tau_{B,med}=48008, \tau_{B,min}=29996$
Se hallan los factores de seguridad en los ganchos	$N_{FleGan} = \frac{S_e \cdot (S_{ut} - \sigma_{min})}{S_e \cdot (\sigma_{med} - \sigma_{min}) + S_{ut} \cdot \sigma_{alt}}$ $N_{torGan} = \frac{S_{es} \cdot (S_{us} - \tau_{B,min})}{S_{es} \cdot (\tau_{B,med} - \tau_{B,min}) + S_{us} \cdot \tau_{B,alt}}$ $N_{FleGan}=1.1, N_{torGan}=1.683$
Se obtiene los valores de la longitud, número de espiras y deformación de trabajo.	$k = \frac{P_{max} - P_{min}}{Y_{trabajo}}$ $k = \frac{d^4 \cdot G}{8 \cdot N_a \cdot D_{may}^3}$ $N_t = N_a + 1$ $L_b = N_t \cdot d$ $L_b=6.025, N_a=35.51, N_t=36.51, Y_{trabajo}=3.733$

Las dimensiones principales se muestran en la Figura 42:

**Figura 42.** Especificaciones del resorte seleccionado

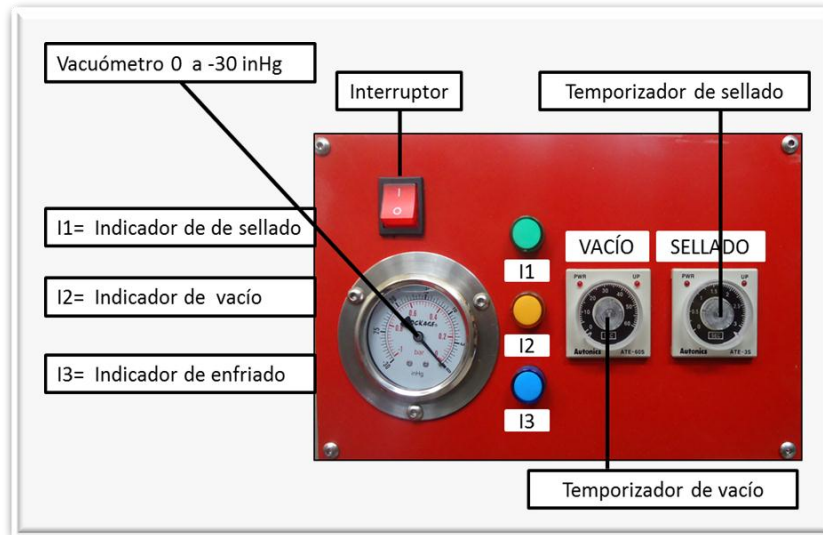


**Fuente:** Los autores

## 10. SISTEMA DE CONTROL

El sistema de control en las maquinas empacadoras de vacío tipo mesa es controlado a través de un tablero de mando (Figura 43) el cual cuenta con un interruptor de encendido y apagado, dos temporizadores análogos: uno de vacío el cual está encargado de limitar el tiempo de vacío de la bomba y otro de sellado encargado del calentamiento de la resistencia de ferróníquel y unos indicadores de colores (verde, rojo y azul) a través de los cuales se observa la puesta en marcha de las operaciones de vacío, sellado y enfriamiento.

**Figura 43.** Tablero de mando



**Fuente:** Los autores

## 11. DISEÑO Y DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

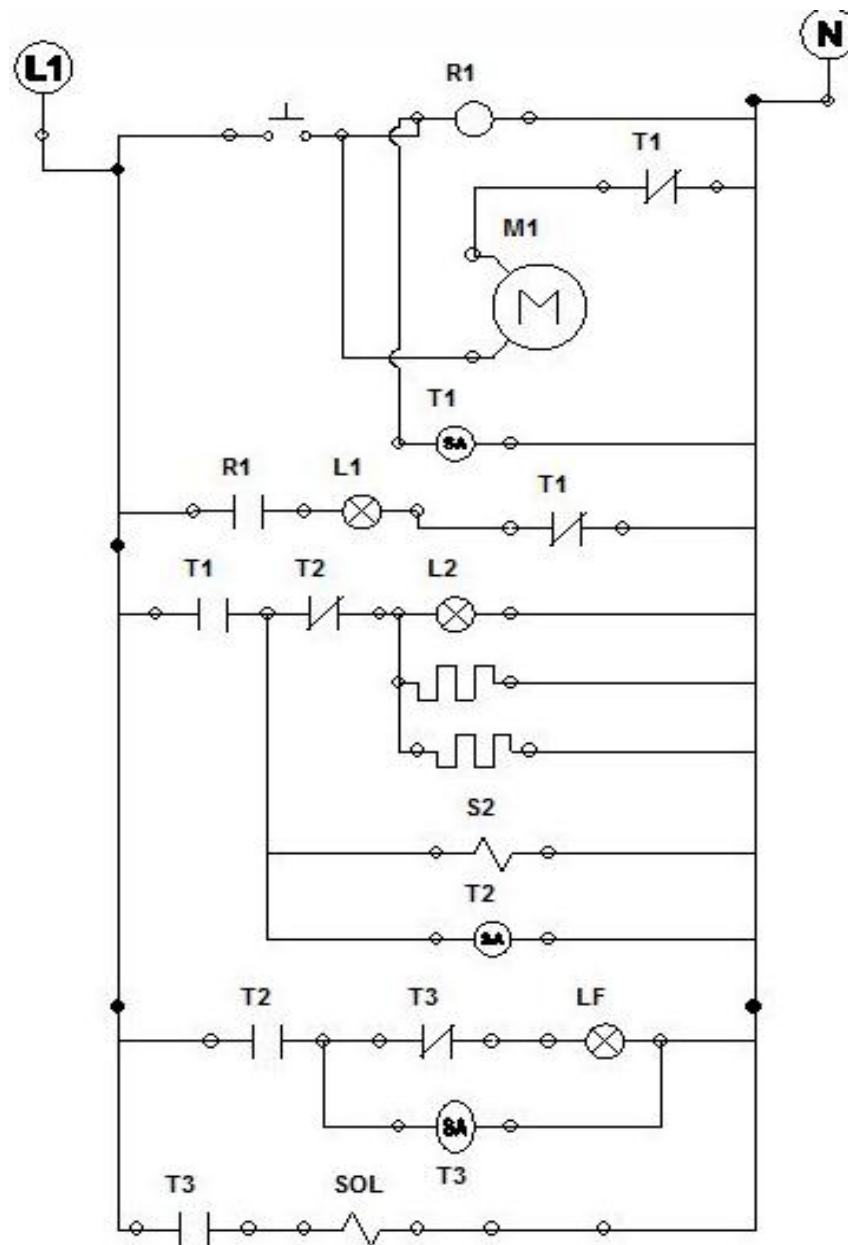
Este sistema debe ser económico, ergonómico, de fácil operación y automático. Adicionalmente, este sistema debe contar con un sistema de seguridad de apagado rápido en caso de anomalías en la maquina o cuando el operario lo estime conveniente.

El funcionamiento y la secuencia de trabajo que debe llevar el sistema de control, se describe a continuación:

1. Al bajar la tapa se debe accionar un final de carrera que enciende el temporizador # 1 (temporizador de vacío) y la bomba de vacío, el temporizador tiene una duración de aproximadamente 60 segundos.
2. Luego que el tiempo de vacío termina (después de los 60 segundos), se debe activar el temporizador de sellado. Mediante el encendido de la válvula solenoide # 2 (el cual permite la entrada de aire atmosférico a la bolsa neumática de PVC para generar la presión de sellado) y el transformador que calienta la resistencia de ferroníquel se hace el termosellado de la bolsa para empacado. Éste proceso tendrá una duración de alrededor de 5 segundos.
3. Cuando el tiempo de sellado termine (5 segundos después), se activará el temporizador # 3 (temporizador de enfriamiento), el cual tiene como función mantener la presión de sellado de 3 a 10 segundos mientras la bolsa para empacado se enfría
4. Por último la válvula solenoide # 1 (válvula solenoide de ½ pulg), se activa para permitir el paso de aire atmosférico a la cámara, rompiendo la condición de encendido al final de carrera.

De acuerdo con las condiciones especificadas anteriormente, se decidió diseñar un sistema de control con lógica cableada (Figura 44) que permita controlar el sistema de vacío, el sistema de sellado y el paso de aire a la cámara.






**Figura 44.** Circuito de control







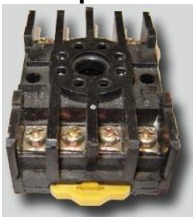


Sistema de control para la maquina empacadora tipo mesa seleccionada. Donde T1, T2 y T3 son temporizadores de vacio, sellado y enfriado respectivamente; L1, L2 y L3 son indicadores de operación; R1 relé #1, S1, S2 son las valvulas solenoides; M1 corresponde a la bomba.

**Fuente:** Los autores

Las características de cada uno de los elementos que componen el sistema de control diseñado, se mencionan a continuación:

Elemento	Especificación	Descripción
<p><b>Temporizador</b></p> 	<p>Tres temporizadores de 3, 7 y 60 seg con retardo al encendido de 10A a 110V</p>	<p>Un temporizador es un aparato electrónico que regula la conexión o desconexión de un circuito eléctrico pasado un tiempo desde que se le da la orden Los temporizadores pueden trabajar a la conexión (no delay o retardo al encendido) o a la desconexión (contactos off delay o retardo al apagado)</p>
<p><b>Interruptor</b></p> 	<p>10 A</p>	<p>Permite el paso de la corriente eléctrica. Este interruptor tiene indicador led de encendido</p>
<p><b>Fusible</b></p> 	<p>15 A</p>	<p>Es un elemento de protección contra picos altos de corriente. Permite el paso de la corriente, mientras no se supere su valor establecido de lo contrario se quema y debe cambiarse</p>
<p><b>Final de carrera</b></p> 	<p>De puntilla</p>	<p>Es conocido como interruptor límite y se sitúa al final del recorrido de un elemento móvil. En la máquina se encuentra en la parte trasera y es activado por la apertura o cierre de la tapa de acrílico</p>
<p><b>Indicadores de colores</b></p> 	<p>Tres</p>	<p>Es un dispositivo que utiliza para tener un control visual de un proceso En la maquina empacadora se utilizaron 3: Indicador verde(proceso de vacío) Indicador rojo(proceso de termosellado) Indicador rojo(tiempo de enfriado)</p>

<p style="text-align: center;"><b>Relé</b></p> 	<p style="text-align: center;">Relevo de 110 V de 10 A</p>	<p>El relé o relevador , es un dispositivo que funciona como un interruptor por un circuito eléctrico en el que, por medio de una bona y un electroimán, se acciona un juego de uno o varios contacto que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes<sup>28</sup> Se considera amplificador de salida ya que es capaz de controlar un circuito de salida mayor</p>
<p style="text-align: center;"><b>Trasformador</b></p> 	<p style="text-align: center;">Dos trasformadores de 110 V ac a 30 V ac de 150 wats</p>	<p>Permite aumentar o disminuir la tensión en un circuito eléctrico de corriente alterna, manteniendo la frecuencia. En la maquina empacadora al vacío se utilizaron dos transformadores de 115-30 V de 150 W por su accesibilidad y economía<sup>26</sup></p>
<p style="text-align: center;"><b>Electroválvula</b></p> 	<p style="text-align: center;">Tres electroválvulas: 2 de 1/4 de pulg rosca NPT y una de 1/2 pulg rosca NPT</p>	<p>Tiene la función de controlar el flujo de un fluido a través de un conducto En la maquina empacadora al vacío se utilizaron: 2 de 1/4 de pulg rosca NPT y una de 1/2 pulg rosca NPT. Normalmente Cerradas</p>
<b>ACCESORIOS</b>		
<p style="text-align: center;"><b>Conector múltiple</b></p> 	<p style="text-align: center;"><b>Terminales</b></p> 	<p style="text-align: center;"><b>Alambre</b></p> 
<p style="text-align: center;"><b>Prensacable</b></p> 	<p style="text-align: center;"><b>Porta fusibles</b></p> 	<p style="text-align: center;"><b>Base para relé</b></p> 

<sup>28</sup> Edinson Paú Lloré Moreno, William Paúl Tello Flores. DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA EMPACADORA Y SELLADORA AL VACIO PARA HUMITAS, CON CAPACIDAD DE 15 HUMITAS POR MINUTO. Tesis de grado ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL. 113 p



## 12. CONSTRUCCIÓN, ENSAMBLE Y PUESTA EN MARCHA

Los materiales utilizados tanto en la industria alimenticia como en sus equipos, deben cumplir con ciertos requerimientos básicos, uno de esos requerimientos es el uso de elementos inertes a su uso (que no se oxide, desgaste o libere componentes al medio) por lo que comúnmente se usan aceros inoxidables.

Estos aceros inoxidables, poseen una alta capacidad de endurecimiento por deformación, alta resistencia a la corrosión y mayor ductilidad en comparación con los aceros ferríticos y martensíticos.

### 12.1 CARCASA DE LA MAQUINA

La mayoría de las piezas (la carcasa, el tablero de mando, los soportes para las barras de sellado la tapa inferiores y posterior) fueron construidas a partir una lámina de acero inoxidable de 4 por 8 pies calibre 14. La distribución para el corte de estas piezas se muestra en la Figura 45

**Figura 45** Distribución para el corte de piezas en lámina de 8 x 4 pies



**Fuente:** Los autores

La bandeja por su parte se construyó en una lámina de acero inoxidable de mayor calibre (1/8 pulgadas), debido a que será sometida a esfuerzos mucho más altos que el resto de la máquina de empacado.

Los procesos de manufactura empleados en la fabricación los materiales metálicos, fueron los propios del trabajado metálico de láminas. Estos procesos fueron corte, doblado y perforado, los cuales se realizaron en la empresa Corpliegues, de la ciudad de Bucaramanga, especialistas en este tipo de procesos.

A continuación se describen cada uno de los procesos realizados en las láminas de acero para la construcción de la maquina: Cizallado, doblado y perforado (Figura 46):

**12.1.1 Cizallado** El primer paso en la fabricación fue el corte o cizallado en la forma específica para cada parte, por medio de cizallas o guillotinas<sup>29</sup>.

**12.1.2 Perforado** El perforado es una operación de corte de chapas o láminas, generalmente en frío, mediante un dispositivo mecánico formado por dos herramientas: el punzón y la matriz. Mediante este proceso se hicieron las ventilas a los costados de la carcasa, el agujero del panel de tareas, los orificios en la tapa posterior y además los agujeros por donde se insertarían los pernos<sup>27</sup>

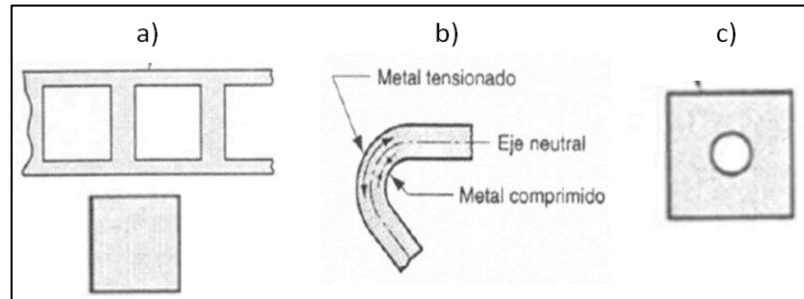
**12.1.3 Doblado** Para un espesor de lámina determinado, existe un radio límite de dobles, a partir del cual, se hace difícil crear un doblado más pequeño ya que con la disminución del radio se incrementan los esfuerzos. Para que la piza retenga su

---

<sup>29</sup> GROOVER, Mikell P. Fundamentos De Manufactura Moderna: Materiales Procesos Y Sistemas. México, DF: Prentice Hall Hispanoamericana, 1997. 1062p

forma la razón  $R/h$  debe ser lo suficientemente pequeña para lograr la plastificación de gran parte de la sección transversal<sup>30</sup>.

**Figura 46.** Cizallado, Perforado y Doblado de láminas metálicas



Esquema del a) cizallado o cortado, b) perforado o punzonado y c) doblado de las partes estructurales y metálicas de la maquina empacadora

**Fuente:** GROOVER, Mikell P. Fundamentos De Manufactura Moderna: Materiales Procesos Y Sistemas. México, DF: Prentice Hall Hispanoamericana, 1997. 1062p.

## 12.2 PROCESO DE UNIÓN DE LAS PARTES DE LA MAQUINA.

Una vez listas cada una de las partes metálicas que forman parte de la estructura de la maquina empacadora al vacío, se realizaron las soldaduras requeridas mediante el proceso de soldeo TIG que utiliza como gas protector el argón.

Este proceso de soldadura, se realizó en un taller especializado ubicado en el centro de Bucaramanga. La soldadura en particular era uno de los factores críticos, especialmente en la bandeja, ya que la pieza requería una buena planicidad y buen sellado para evitar puntos de fuga.

<sup>30</sup> GROOVER, Mikell P. Fundamentos De Manufactura Moderna: Materiales Procesos Y Sistemas. México, DF: Prentice Hall Hispanoamericana, 1997. 1062 p

En la carcasa se soldaron las tuercas a los agujeros roscados, se unió con la tapa inferior y se soldaron los tornillos para los soportes de caucho que van sobre el suelo. Adicionalmente para dar mayor rigidez a la maquina se soldaron dos travesaños de sección en forma de V en la parte inferior.

### **12.3 TRATAMIENTO DE SUPERFICIES.**

Finalmente, se llevaron a cabo las tareas de mejoramiento del aspecto superficial, realizando sandblasting para la bandeja, pintura electrostática para el panel de control y un satinado a toda la carcasa y la tapa posterior.

### **12.4 PROCESO DE ENSAMBLE**

Terminado el proceso de corte, unión y mejoramiento superficial, se procedió al ensamble de la estructura y al acople con el sistema electro neumático como sigue:

- ✓ El primer paso fue el montaje de la bandeja que se apoya sobre la pestaña superior de la carcasa y sobresale a ésta. Esta unión se realizó mediante tornillos M4 Button rosca fina que brindan la fuerza de apriete necesaria.
- ✓ El segundo fue el montaje de la parte electroneumática, este se realizó sobre una lámina de acrílico con el propósito de facilitar el mantenimiento o reparación de alguno de sus componentes.
- ✓ Seguido, se comprobó el buen funcionamiento de las válvulas, temporizadores, relés, transformadores e indicadores luminosos además de la adecuada secuencia.
- ✓ A continuación se llevó a cabo la instalación del sistema electro neumático con la parte estructural. Finalmente se instaló la tapa de la máquina, la cual se adquirió en la ciudad de Bogotá a una empresa donde trabajan el acrílico.

- ✓ Finalmente, se realizaron pruebas de vacío en la que se pudo descubrir una pequeña fuga debida a un poro en la soldadura. Este inconveniente se solucionó utilizando resina epóxica. Una vez arreglado el poro, se comprobó nuevamente el funcionamiento de la empacadora haciendo una prueba de vacío a 25 in de vacío (alrededor de 96 %) y se determinó que el nivel de fugas era mínimo o nulo.

### **13. DETERMINACIÓN DE LA VIDA ÚTIL DEL POLLO EMPACADO AL VACÍO**

Los estudios para la determinación del tiempo de vida útil de pollo empacado al vacío con la maquina empacadora construida, se realizaron mediante análisis, organoléptico, fisicoquímico y microbiológico, como lo menciona la Norma Técnica Colombiana NTC 3644-2 para la industria de pollo beneficiado. Estos análisis se realizaron bajo la supervisión de profesionales capacitados en Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) y en alimentos. Adicionalmente, el marinado de las muestras se realizó cumpliendo la resolución número 402 del 2002 del Ministerio de Salud (MINSALUD) para marinado de aves en canal enteras, despresadas o deshuesadas, mediante el procedimiento que se describe en el Anexo D.

Las muestras para el desarrollo de los análisis, fueron obtenidas de la empresa Mac Pollo quienes tienen certificación por el INVIMA para la venta y distribución de pollo. Ellos son responsables de mantener las condiciones de inocuidad, higiene y conservación hasta el momento de entrega al consumidor como lo menciona el parágrafo 1 del Artículo 34 del decreto 3075/97.

#### **13.1 DESARROLLO DE LAS PRUEBAS ORGANOLÉPTICAS FISICOQUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICO**

Para garantizar la confiabilidad de los resultados, las pruebas organolépticas y fisicoquímicas se realizaron en el Centro de Investigación en Ciencia y Tecnología de Alimentos (CICTA) de la Universidad Industrial de Santander y las pruebas microbiológicas en el laboratorio LABALIME, ubicado en la ciudad de Bucaramanga. Los reportes generados por LABLIME se encuentran en el Anexo H

##### **13.1.1 Pruebas organolépticas**

Para evaluar el efecto sobre las propiedades sensoriales que tiene el empacado del pollo mediante el mecanismo presentado en este proyecto y a su vez

determinar la aceptabilidad del consumidor, fue necesario realizar un análisis organoléptico, en donde se evaluaron las siguientes características: Olor, textura, color y apariencia.

Las pruebas organolépticas de productos alimenticios, en este caso del pollo, abarcan los sentidos del gusto, olfato, vista y tacto. Estas pruebas generalmente se pueden dividir en: pruebas de diferencia o discriminación, pruebas de ordenación, pruebas de categorías, pruebas de escalas y pruebas de perfiles<sup>31</sup>.

En este proyecto se realizaron pruebas de escalas, la metodología consiste en asignar números para cuantificar varios estímulos sensoriales, como olor, color, apariencia y textura. Los números pueden ser asignados en diferentes maneras: por categorización, por rangos o de forma que reflejen la intensidad del atributo sensorial<sup>33</sup>

Para el desarrollo de las pruebas organolépticas se tuvo el criterio de calidad de la Tabla 9 con calificación de 1: Excelente, 2: Bueno, 3: Regular, 4: Malo.

La persona encargada del criterio de excelencia del producto en cuanto olor, textura, color y apariencia, fue un experto en el benéfico y comercialización de pollo

---

<sup>31</sup> DR. GRANADOS JARQUE, Ricardo. Química avanzada nuffield, ciencia de alimentos. Edición en español. Editorial Reverté. España. 1984. pag 37

**Tabla 9.** Clasificación de calidad

	<b>Excelente</b>	<b>Bueno</b>	<b>Regular</b>	<b>Malo</b>
<b>Olor</b>	Fresco, sensación agradable	Fresco	Empieza la descomposición	Fuerte y desagradable, parecido a la levadura, amoníaco, huevos podridos
<b>Textura</b>	Lisa, hidratada,	Lisa	Muestra pequeñas arrugas, pegajoso al tacto,	Deshidratado, viscosa
<b>Color</b>	Amarillo fuerte	Amarillo, uniforme	Amarillo suave, con manchas rojas grandes	Amarillo pálido Pardeamiento, reflejos violetas o verdosos
<b>Apariencia</b>	Agradable, piel templada, grueso y redondeado	Aceptable	Empieza la descomposición	Cuero arrugado, color pálido,

1: Excelente, 2: Bueno, 3: Regular, 4: Malo

**Fuente:** Los autores

### Resultados de las pruebas organolépticas

**Tabla 10.** Características organolépticas

<b>Fecha</b>	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>	<b>P5</b>	<b>P6</b>	<b>P7</b>
<b>Olor</b>	1	2	3	4	4	4	4
<b>Textura</b>	1	2	2	3	3	3	3
<b>Color</b>	1	1	1	2	2	2	2
<b>Apariencia</b>	1	1	2	2	2	2	2

**Fuente** Los autores

#### 13.1.2 Pruebas fisicoquímicas

Para garantizar la seguridad del pollo como alimento a lo largo de su vida útil, se debe cumplir con los requisitos de calidad establecidos por la Norma Técnica Colombiana NTC 3644-2 (Tabla 11).



**Tabla 11.** Requisitos fisicoquímicos del pollo beneficiado.

Requisito	Límite
Nitrógeno volátil total, mg/100 g muestra máx*	30
Formol*	Negativo
pH a 20 °C	5,4 - 6,1

**Fuente:** Norma Técnica Colombiana NTC 3644-2.

El nitrógeno Volátil total, es un indicativo del grado de frescura del pollo. Este concepto incluye la determinación de compuestos nitrogenados de carácter volátil que se librea como consecuencia del proceso de degradación por bacterias post-mortem.

El formol es un aditivo utilizado como conservante, sin embargo no se encuentra en el reglamento técnico de listas positivas de aditivos permitido en la industria de alimentos controlada por el INVIMA, por lo tanto el uso de esta sustancia en la conservación de productos cárnicos es ilegal.

El pH se relaciona con el cambio de la cantidad de microorganismos productores de la fermentación, esto quiere decir que si el pH del pollo aumenta saliendo de su rango legal, posiblemente empiece su descomposición.

En este proyecto se realizaron pruebas fisicoquímicas al producto. Se descartó la medición de nitrógeno Volátil total ya que con las pruebas organolépticas se puede conocer la frescura del alimento. También la medición de Formol, ya que el producto fue comprado en la empresa MACK POLLO certificado por el INVIMA para el beneficio y venta de aves de corral. La medición de pH fue uno de los parámetros junto con el porcentaje de humedad para evaluar la vida útil del pollo empacado por ser indicativos seguros y de fácil evaluación. El procedimiento de medición se muestra del ANEXO E y ANEXO F respectivamente.

## Resultados medición de PH.

**Tabla 12.** Resultados del PH del pollo

Fecha	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
PH	6.62	6.55	6.48	6.48	6.63	6.69	6.66

**Fuente:** Los autores

## Cálculo de porcentaje de humedad del pollo.

El porcentaje de humedad se analizó para comprobar la hermeticidad del empaçado, esta medida se hizo basada en la cantidad de humedad inicial del producto el cual fue utilizado como patrón para comparar cada una de las pruebas realizadas durante el estudio

**Tabla 13.** Datos para el cálculo del porcentaje de humedad del pollo

Prueba		Peso de la caja en g	Peso de la caja más muestra en g	Peso de la caja más muestra seca en g
P1	C1	48.2466	50.3716	48.7977
	C2	48.0984	50.2450	48.6542
P2	C1	45.0881	47.0680	45.5557
	C2	42.6389	44.8050	43.1534
P3	C1	43.3931	45.4380	43.9013
	C2	44.0911	46.2120	44.5955
P4	C1	44.1945	46.4180	44.7091
	C2	50.4063	52.4830	50.8865
P5	C1	43.3928	45.4412	43.8804
	C2	44.0907	46.1656	44.5871
P6	C1	43.0178	45.2123	43.5302
	C2	43.3643	45.4160	43.8439
P7	C1	43.3920	45.4941	43.8915
	C2	44.0897	46.1451	44.5792

**Fuente:** Los atores

El cálculo del porcentaje de humedad se explica a continuación

$$\% \text{ Humedad} = \frac{(PC + PM) - (PC + PMS)}{(PC + PM) - (PC)}$$

$PC = \text{Peso de la caja}$

$PM = \text{peso de la muestra}$

$PMS = \text{peso de la muestra seca}$

Cálculo del porcentaje de humedad para la primera muestra

Peso de la caja= 48.2466 g

Peso de la caja más la muestra =50.3716 g

Peso de la caja más muestra seca =48.2466 g

$$\% \text{ Humedad} = \frac{(50.3716 \text{ g}) - (48.7977 \text{ g})}{(50.3716 \text{ g}) - (48.2466 \text{ g})} * 100$$

$\% \text{ Humedad del pollo en la primer prueba} = 74\%$

### Resultados de la medición del porcentaje humedad del pollo

**Tabla 14.** Resultados porcentaje de humedad

Prueba	% Humedad del pollo		Promedio % humedad muestra
P1	C1	74.0659	74.0869
	C2	74.1079	
P2	C1	76.3826	76.3151
	C2	76.2476	
P3	C1	75.1480	75.6798
	C2	76.2117	
P4	C1	44.1945	76.8665
	C2	50.4063	
P5	C1	76.8563	76.1360
	C2	76.8767	
P6	C1	76.6507	76.6375
	C2	76.6243	
P7	C1	76.2380	76.2113
	C2	76.1846	

**Fuente:** Los autores

### 13.1.3 Pruebas microbiológicas.

La metodología seguida para el análisis microbiológico del producto, se hizo con base en un diseño experimental básico, el cual consiste en almacenar un lote de siete muestras en las condiciones establecidas por la Norma Técnica Colombiana NTC 3644-2, e ir haciendo un muestreo en los tiempos prefijados (Figura 47). En cada muestreo se realizan todos los análisis microbiológicos de acuerdo a la Tabla 1.

**Figura47.** Cronograma para realizar pruebas microbiológicas.

Septiembre 2013							Octubre 2013						
Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
1	2	3	4	5	6	7			P2	2	3	P3	5
8	9	10	11	12	13	14	6	P4	8	9	P5	11	12
15	16	17	18	19	20	21	13	P6	15	16	P7	18	19
22	23	24	25	26	P1	28	20	21	22	23	24	25	26
29	30						27	28	29	30	31		

**Fuente:** Los Autores.

Los resultados de las pruebas microbiológicas se muestran en la Tabla 15

**Tabla 15.** Resultados de las pruebas microbiológicas

Microorganismo	Resultado esperado	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Mesófilos	<10-sin limite	120	150	1230	10000	4000	4500	4900
Coliformes totales	<3- sin limite	23	43	75	460	1100	460	240
Coliformes Fecales	<3-1100	<3	<3	<3	<3	23	9	<3

Mesofilos: recuento de microorganismos. Si su contenido inicial es alto, indica que el producto se dañará rápidamente

Coliformes Totales: suma de coliformes fecales y no fecales

Coliformes Fecales: microorganismo responsable de la fermentación ácido láctica.

Es el mejor indicativo de calidad para evaluar las BPM (buenas prácticas de manufactura) del producto

**Fuente:** Los autores

## 13.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS VIDA ÚTIL DEL PRODUCTO

De acuerdo a los análisis realizados al producto para determinar su vida útil es importante aclarar que con el mecanismo de empaçado al vacío se logró el objetivo de aumentar el tiempo de durabilidad del pollo.

De las pruebas organolépticas se pudo observar que el pollo conservo un textura aceptable hasta P4 (diez días después de empaçado), sin embargo su color y apariencia se mantuvieron en buen estado desde P1 hasta P7. El producto empezó a expedir un mal olor no acepado para su comercialización desde de P3.

El mal olor detectado en el pollo es usual en productos cárnicos empaçados al vacío, debido al crecimiento de microorganismos anaerobios como El *Clostridium sulfito reductor* el cual es altamente resistente y crece en medios facultativos como este. Una forma de inhibir el mal olor del producto empaçado al vacío, es añadiendo aditivos que desaceleran el crecimiento de El *Clostridium sulfito reductor*.

Las pruebas fisicoquímicas realizadas al producto, no muestran una tendencia a la degradación, esto se debe muy probablemente a que corresponden a muestras diferentes, independientes e individuales. Los resultados de la medición de pH y porcentaje de humedad son un buen indicativo de la calidad no solo del producto, sino del proceso, ya que el comportamiento y sus valores están dentro de estándares aceptables para la comercialización y consumo del mismo.

Como aspecto positivo se observa que el pollo no pierde humedad debido a la hermeticidad del empaque, con lo cual no se generan pérdidas económicas durante la venta por peso.

En las pruebas microbiológicas los resultados obtenidos muestran tendencia al alza en el recuento total de bacterias (mesófilas) y coliformes totales hasta la P4. Siendo este un comportamiento normal para productos cárnicos crudos.

En la prueba P5 se detectó presencia de coliformes fecales (*E coli*); esto se debe muy probablemente a la individualidad e independencia de los empaques, de igual manera a la manipulación.

En los análisis realizados a las siete pruebas se buscó la presencia de otras bacterias indicadoras de degradación como *Pseudomonas aeruginosa* y no se observaron.

Aunque los valores obtenidos de coliformes fecales se encuentran dentro de normas en todas las pruebas (hasta 1100 mic/g), se observa deterioro organoléptico (olor y aspecto) desde la prueba P3, es decir, ocho días después de empacadas las muestras y ser refrigeradas de 4 -10 °C.

Según el reporte por el laboratorio LABALIME, el recuento de microorganismos mesófilos desde el principio dio bajo, lo que por experiencia dice que es un buen indicativo de la durabilidad del producto.

## 14. ANÁLISIS DE COSTOS

El costo del proyecto está dividido en:

- Costos directos:
- Costos indirectos

### 14.1 COSTOS DIRECTOS

Por costo director suele entenderse el costo de materias primas más el costo de mano de obra directa<sup>32</sup>:

En la Tabla 16 se muestra los costos de la materia prima y los materiales utilizados

**Tabla 16.** Costos de materia prima

Material	Dimensiones	costo (pesos)
Lámina de acero inoxidable AISI 304 calibre 14	4 ft x 8 ft	300.000
Bandeja acero inoxidable AISI 304 calibre 12	Con sandblasting y trabajo de soldadura incluido	500.000
Tapa de acrílico más maquinado	Espesor 30 mm	950.000
Resortes	2 UND	45.000
Perfil de aluminio cuadrado 1in	1.20 m	3.000
Platina de baquelita de 20mm * 4mm	120 cm	40.000
Platina de UHMW 2.5cm x 1 cm	8 cm	4.000
Manguera de PVC de 1in	120 cm	6.000
Teflón adhesivo	120 cm	8.000
Lamina de acrílico 0.3 cm de grosor	80 cm x 78 cm	4.000
Caucho siliconado 25.4 cm x 10 cm	1.2 m	68.000
Caucho siliconado de 6 mm *9 mm	2.4 m	80.000
Lona carine blanca	0.25 m	2.000
Varilla de acero inox Ø 14 mm	10 cm	3.000
UHMW blanco barra 1x1/2 pulg	15 cm	5.000
	<b>Sub total</b>	<b>2.018.000</b>

**Fuente:** Los autores

<sup>32</sup> Jorge Olavarrieta de la Torre. Conceptos generales de productividad, sistemas, normalización y competitividad para la pequeña y mediana empresa. Edición en español. Universidad Iberoamericana. México. 1999

En la Tabla 17 se muestran los elementos adquiridos en el mercado local

**Tabla 17.** Costos de elementos adquiridos

<b>Elemento</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>costo (pesos)</b>
Tornillo de acero inox 304 8x 5/8	10 UND	860
Tornillo milimétrico 4-0.7	16 UND	800
Tornillo inox 304 10x3/8	1 UND	1.300
Tornillo inox 304 18.8 hex MM 12x40	2 UND	3.100
Tuerca hexagonal inox 304 x18.8 mm M12	2 UND	2.000
Tuerca hexagonal inox 304 -18.8 mm M4	20 UND	800
Tuerca inox 304 -18.8 mm hex MM12x 60	4 UND	8.400
Arandela plana inox 304 x1/2 pulg	4 UND	1.000
Arandela plana inox 304 1/8 pulg	16 UND	800
Abrazaderas mediana de acero inox	4 UND	14.000
Arandela de acero inoxidable 304 de1/8	10 UND	860
Manguera N°8 de alta presión azul	2 m	8.000
T de acero inox 304 de ½ pulg	1 UND	4.500
T de bronce rosca interna de 1/4 pulg	1 UND	5.000
Codo Acero inox de 1/2 [in]	1 UND	3.600
Terminales acero inox de 1/2 [in] de 3 cm roscada por los dos lados	1 UND	7.500
Racor doble rosca 3/8 X 3/8	2 UND	24.000
Acoples rápido neumático 5/16[in]	7 UND	14.000
Reductor de bronce 5/8"- ¼"	1 UND	2.000
Conexión lenteja de ¼ in	1 UND	3.000
Bomba de vacío CPS 6S	110 v 6 cfm	464.000
Filtros neumáticos con receptor de condensado rosca 3/8 ordinaria	2 UND	84.000
Flanche de acero inox 2 ½ pulg para tablero	1 UND	25.000
Platina de aluminio 2 x1 pulg	20 cm	25.000
Bujes de bronce 4400	4 UND	8.000
Electro valvula 1/4 [in] NC AC Directa	2 UND	44.000
Electro valvula 1/2 [in] NPT 110 VA	1 UND	72.000
Tubo transparente de 9mm	1.5 [m]	5.000
Prensa estopa M16x1.5	2 UND	2.000



Terminales eléctricas de 1/4	4 UND	4.000
Temporizador análogo 0-60 s base de 8 pines	1 UND	40.000
Temporizador análogo 0-3s base de 8 pin	1 UND	45.000
Temporizador análogo 0-10 s base de 8 pin	1 UND	35.000
Base relevo de 8 pin	4 UND	8.000
Swiche DGE con neon 110V	1 UND	2.300
Relevo 120 AV 8pin 10 [A]	1 UND	14.000
Swiche con palanca media y rodillo	1 UND	12.500
Extensión con polo a tierra	1 UND	4.000
Regleta 12 tornillos 15 AMP	3 UND	7.500
Indicador azul plástico 16 mm 110 VAC	1 UND	3.500
Indicador amarillo plástico 16 mm 110 VAC	1 UND	3.500
Indicador verde plástico 16 mm 110 VAC	1 UND	3.500
Transformador 30-0-30 5[A] 150 W input 110V	2 UND	95.000
Cable calibre 14 rojo y negro	11 m	5.800
Cable térmico calibre N° 14	1 m	18.000
Toma 3 polos chasis	1 UND	700
Cinta de teflón	1 UND	1.000
	<b>Sub total</b>	<b>1.012.320</b>

**Fuente:** Los autores

En la Tabla 18 se muestran los costos de maquinado incluidos los costos de mano de obra para la ejecución del proyecto.

**Tabla 18.** Costos de maquinado

Operación	Tiempo	costo (pesos)
Corte de aluminio con plasma	10 min	8.000
Soldadura	3 h	150.000
Taladrado	2h	10.000
Corte y doblado	3 h	80.000
Mediciones	1 h	15.000
Pulido	3 h	50.000
Roscado	2 h	30.000
Maquinado de bisagras	3 h	40.000
	<b>Sub total</b>	<b>383.000</b>

**Fuente:** Los autores

## 14.2 COSTOS INDIRECTOS

El costo indirecto comprende todos aquellos costos que no tienen una relación directa con el producto<sup>33</sup>: costos de diseño e ingeniería, transporte y mano de obra indirecta. Se muestra en la Tabla 19

**Tabla 19.** Costos indirectos

componente	Dimensión	costo (pesos)
Lija N°250	4 pliegos	4.000
Electrodo para acero inox 304 L00332 west arco	4 UND	10.000
Silicona para vidrios	1 tubo	6.500
Diseño e ingeniería	30 días	3.500.000
Técnico para el montaje	2 días	150.000
Transporte y otros		100.000
	<b>Sub total</b>	<b>3.770.500</b>

**Fuente:** los autores

## 14.3 COSTO TOTAL DE LA MÁQUINA

En la Tabla 20 se muestran los costos totales de la máquina.

**Tabla 20.** Costos totales

Componente	costo (pesos)
Costos de materia prima	2.018.000
Costos de elementos adquiridos	1.012.320
Costos de maquinado	383.000
Costos indirectos	3.770.500
<b>Total costo del proyecto</b>	<b>7.183.820</b>

**Fuente:** Los autores

<sup>33</sup> Jorge Olavarrieta de la Torre. Conceptos generales de productividad, sistemas, normalización y competitividad para la pequeña y mediana empresa. Edición en español. Universidad Iberoamericana. México. 1999

#### 14.4 COSTOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA VIDA ÚTIL DEL POLLO

**Tabla 21.** Costos para la determinación de la vida útil del pollo empacado al vacío

Producto	Unidades	costo (peso)
Muslos de Pollo	28 UND	5.000
Agua purificada	12 litros	5.000
NaCl (Sal de concina)	1 kg	1.000
Colorante	14 paquetes	500
Pruebas microbiológicas 60000 C/U	7 pruebas	420.000
Transporte		20.000
<b>Total costo del estudio</b>		<b>451.500</b>

Fuente: Los autores

## CONCLUSIONES

Se diseñó y construyó una máquina empacadora al vacío, con las siguientes características:

Sistema de vacío capaz de alcanzar una presión absoluta de 10 kPa en 50 segundos.

Ciclo de un minuto, en donde la capacidad de empacado es de un pollo o de seis presas en bolsas individuales.

Construcción con elementos y materiales conseguidos principalmente en la región, lo que facilita la adquisición de repuestos y el fácil mantenimiento autónomo.

Se encontró que el tiempo óptimo de calentamiento de la resistencia para el sellado de una bolsa multicapa estándar es de tres segundos, permitiendo un sellado fuerte, efectivo y uniforme.

Para el diseño de la tapa de acrílico se usó un enfoque teórico como aproximación inicial y luego se planteó un modelo CAE, logrando comprobar la exactitud de los modelos teóricos en comparación al análisis por elementos finitos y luego en la máquina construida.

Los productos empacados con sistema de bandeja y polímero tienen un tiempo de vida útil de 5 días a temperatura de entre 4 a 10°C. En el caso de pollo empacado con el sistema al vacío propuesto en este proyecto, y en las mismas condiciones de conservación se estimó un tiempo de vida útil de 8 días, en los

cuales las características organolépticas, fisicoquímicas y microbiológicas, se mantienen aceptables para su comercialización

El máximo nivel de vacío alcanzado fue de 96% (Presión absoluto de 4 KPa) en un tiempo de vacío de 1.2 min, existiendo desviaciones con respecto al modelo teórico planteado, en parte por la dificultad de cuantificar las fugas y demás flujos que intervienen en el proceso de extracción de aire.

El análisis de costos muestra que la máquina, aun siendo de producción única, es una alternativa competitiva en comparación a máquinas empacadoras al vacío más pequeñas importadas y con un precio 2.5 veces superior a la nuestra como SAMMIC (empresa española)

El proyecto contribuyó a nuestro desarrollo profesional en el campo de la ingeniería mecánica, además fue una oportunidad de extendernos, trabajando con profesionales de otros sectores, realizando un trabajo multidisciplinar.

Además con el estudio de la vida útil del pollo empacado al vacío, se conoció sobre la normatividad actual que maneja la industria alimenticia especialmente la avícola como el decreto 3075/75 y 2270 del Ministerio de Protección Social, la resolución 402(Comercialización de aves beneficiadas con técnicas de marinado) y 2606(reglamento técnico que deben cumplir los aditivos alimenticios), NTC 3644-2 (industrias alimentarias .pollo beneficiado) y (BPM) buenas practica de manufactura. Este conocimiento será la base para la creación de una empresa comercializadora de pollo en Bogotá, que cumpla con los requerimientos legales y brinde a los clientes un producto innovador.

## RECOMENDACIONES

Con respecto a la bomba seleccionada, pese a que funciona bien, desprende mucho aceite, por lo que su mantenimiento se hace costoso, una selección de una bomba con sistema de recirculación de aceite sería más adecuada para el propósito.

Relacionado a la tapa de acrílico que permite ver el proceso de empaçado, podría diseñarse una nueva utilizando acrílico de menor calibre reforzado con vigas en acero, ya que su elevado costo no justifica el funcionamiento de la maquina empaçadora al vacío.

Tener en cuenta el calibre de la bolsa para empaçado de pollo, ya que un mayor calibre, mejora la hermeticidad del producto y con ello, su conservación.

Se recomienda para un próximo estudio realizar pruebas de vida útil con temperaturas de congelación, ya que por experiencia de expertos en conservación de alimentos a esas temperaturas se inactivan el crecimiento microbológico en productos cárnicos crudos.

Agregar aditivos para retardar la aparición del mal olor del producto

## BIBLIOGRAFÍA

ADARME RODRIGUEZ, Omar Armando. Máquina empacadora de productos al vacío. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. 2002. 87 p.

APPLD H, Feiler K., REINHARD A., SCHMIDT P. Tecnología de los materiales para profesionales técnicos-mecánicos. Reverté Barcelona, España.1985.

BANNWARTH, Helmut. Liquid Ring Vacuum Pumps, Compressors and Systems: conventional and hermetical design. Weinheim, Alemania. WILEY-VCH, 2005. 504

BARREIRO, José A, SANDOVAL B Y ALEIDA J. Operaciones de conservación de alimentos por bajas temperaturas. Venezuela, Equinoccio. 2006.

CANTILLO Juan, FERNÁNDEZ Carlos Y NÚÑEZ Margarita. Durabilidad de los alimentos. Métodos de estimación. Instituto de Investigaciones para la Industria Alimenticia. Ciudad de la Habana. 1994

DAWSON, Paul L. Packaging. En: Poultry meat processing.\_CRC Press, 2000P.24

DE LA TORRE OLAVARRIETA, Jorge. Conceptos generales de productividad, sistemas, normalización y competitividad para la pequeña y mediana empresa. Univesidad Iberoamericana. Mexico.1999

ESLAVA, J.A. Variación temporal de la Presión Atmosférica en Bogotá. Rev.Acad.Colomb.Cienc.18(69):175-181,1991.ISSN 0370-3908

FAIRES, V. M. Diseño de elementos de máquinas. 4 Ed. Mantaner y Simon S.A, Barcelona. 802 p.

FERNÁNDEZ, María Verónica Y MARSÓ, María Agustina. Estudio de la carne de pollo en tres dimensiones: valor nutricional, representación social y formas de preparación. Trabajo de investigación. Carrera de licenciatura en nutrición. Instituto Universitario de Ciencia de la Salud Función H.A Barceló. Diciembre 2003. p 32.

GRANADOS JARQUE, Ricardo. Química avanzada nuffield, ciencia de alimentos. Editorial Reverté.España.1984.p 37.

GROOVER, Mikell P. Fundamentos De Manufactura Moderna: Materiales Procesos Y Sistemas. México, DF: Prentice Hall Hispanoamericana, 1997. 1062p.

GUILLERMO HOUGH, Susana Fizman. Estimación de la Vida Útil Sensorial de los Alimentos. Programa CYTED. Madrid, España. 2005.

HISHINUMA, Kazuo. Heat sealing technology and engineering for packaging. DEStech publications, 2009. 267 p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN NTC-3644, Industrial alimentarias.

KAZAMA, T. y TOTTEN, G. E. Compressors and vacuum pumps. En: Handbook of lubrication and tribology. CRC Press, 2006. 61 p.

KERRY, J. P. ed. Advances in meat, poultry and seafood packaging. Woodhead Publishing, 2012. 700 p.

KROCHTA, Jhon M. Food Packaging. En: HELDMAN, Dennis y LUND, Daryl. Handbook of food engineering. 2 ed. CRC Press ,2006. 81 p.



LABUZA, T.P. AND SZYBIST, L.M. 1999a, Current practices and regulations regarding open dating of food products. Working Paper 99-01. Sloan Foundation, The Retail Food Industry Center, Univ. of Minnesota, St. Paul

LLORE MORENO, Edison paul y TELLO FLORES, William Paul. Diseño y construcción de una empacadora y selladora al vacío para humitas. Proyecto Ingeniero mecánico. Quito, Escuela politécnica Nacional, 2010. 158 p.

MATCHEAND, Rajeshwar. Packaging machinery. En: Handbook of frozen food processing and packaging. 2 ed. CRC Press, 2011. 33 p.

MCCAULEY, CHRIS ed .Machinery's Handbook. 26 Ed. Industrial Press, New York p. 1298-1385.

NORTON, ROBERT L. Diseño de máquinas. Prentice Hall, Mexico, 1999. 1080 p.

PARDO GONZALÉZ, José Emilio. La Industria Cárnica, sistemas de análisis de riesgo y control. Edición en español. Editorial Universidad de Castilla-La Mancha. España. 1998. 24 p

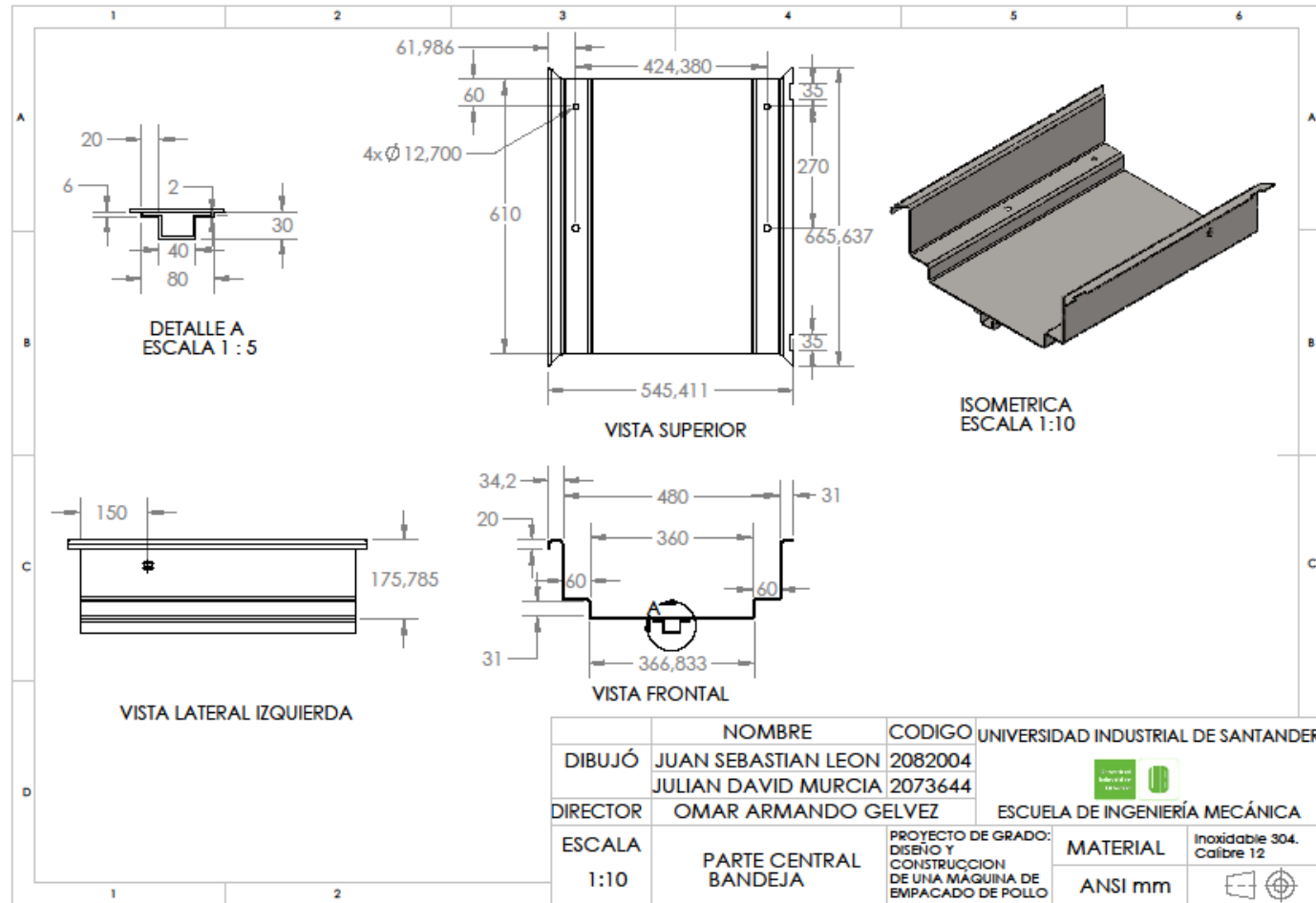
TIMOSHENKO, P. Stephen y WOINOWSKY-KRIEGER, S. Theory of plates and shells. 2 ed. McGraw – Hill, 1959. 580 p.

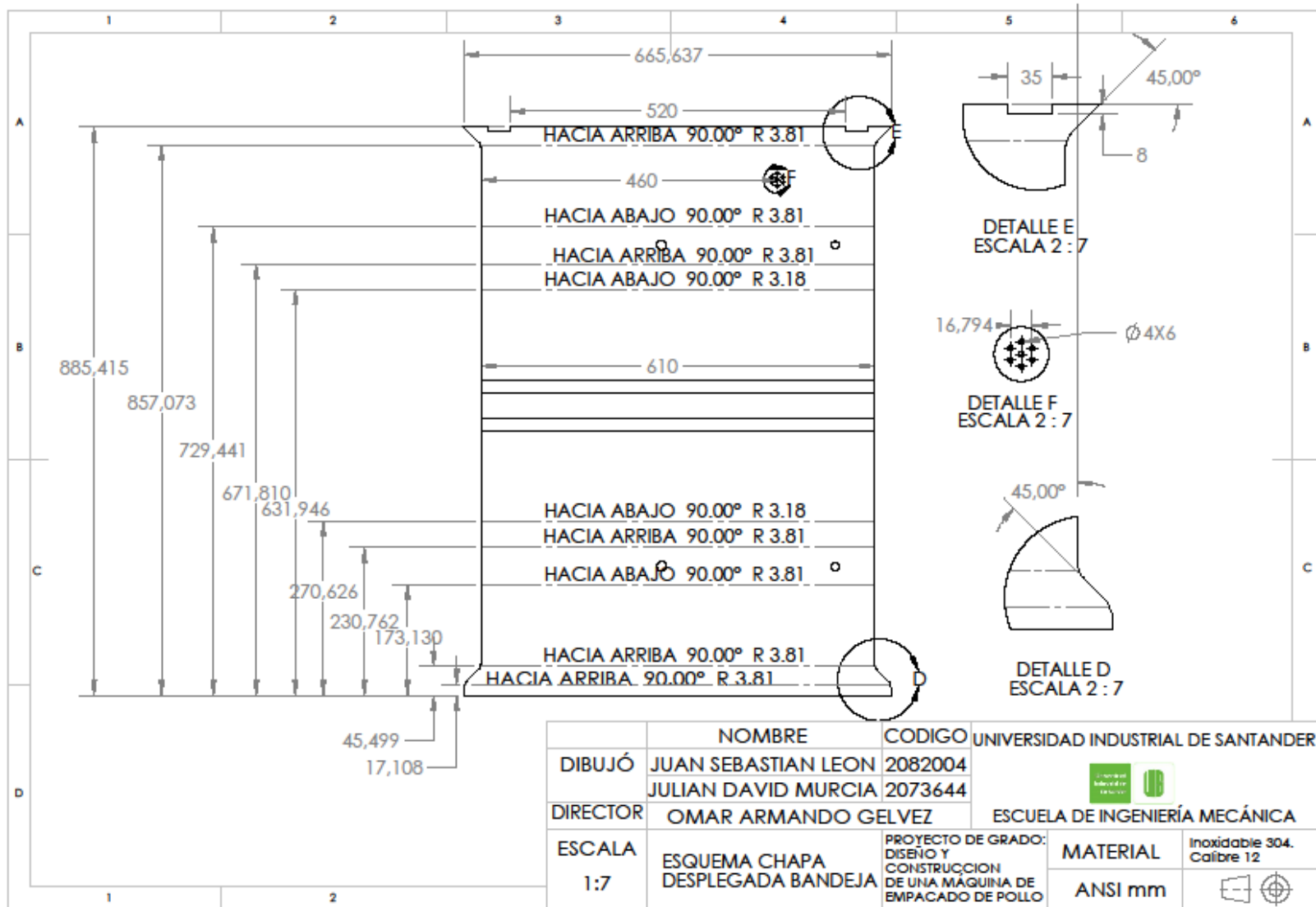
TORO SIERRA, Carlos Andrés. Estandarización del proceso de producción del pollo y la carne con verduras usados para los productos de hojaldre que se elaboran y comercializan en la panadería novapan. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero de Alimentos. Corporacion universitaria lasallista. 2011. pag 20



YUNUS, A CENGEL. Mecánica de Fluidos. 3 Ed. Mc- Graw Hill, 2006, 956 p.

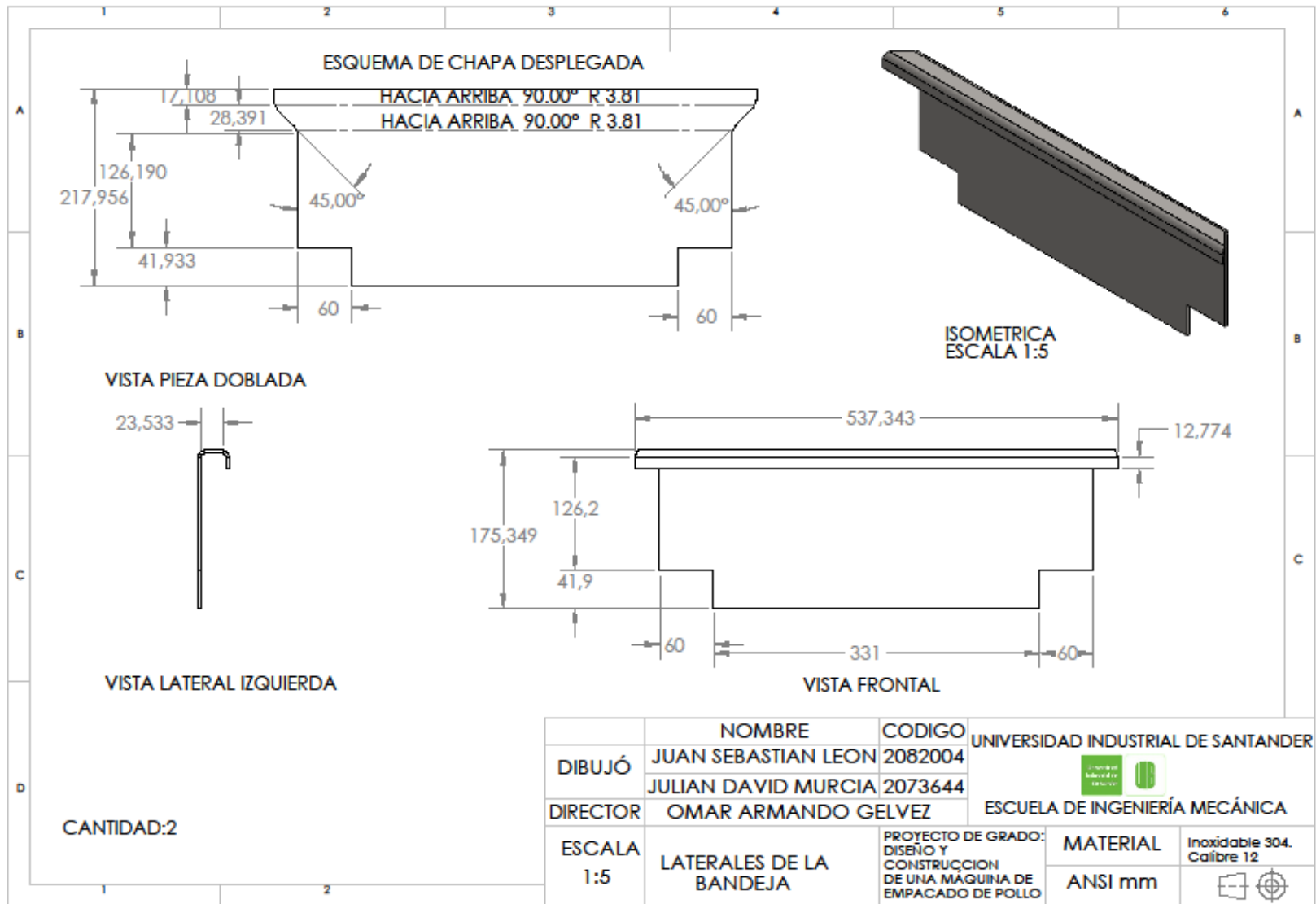
## ANEXOS

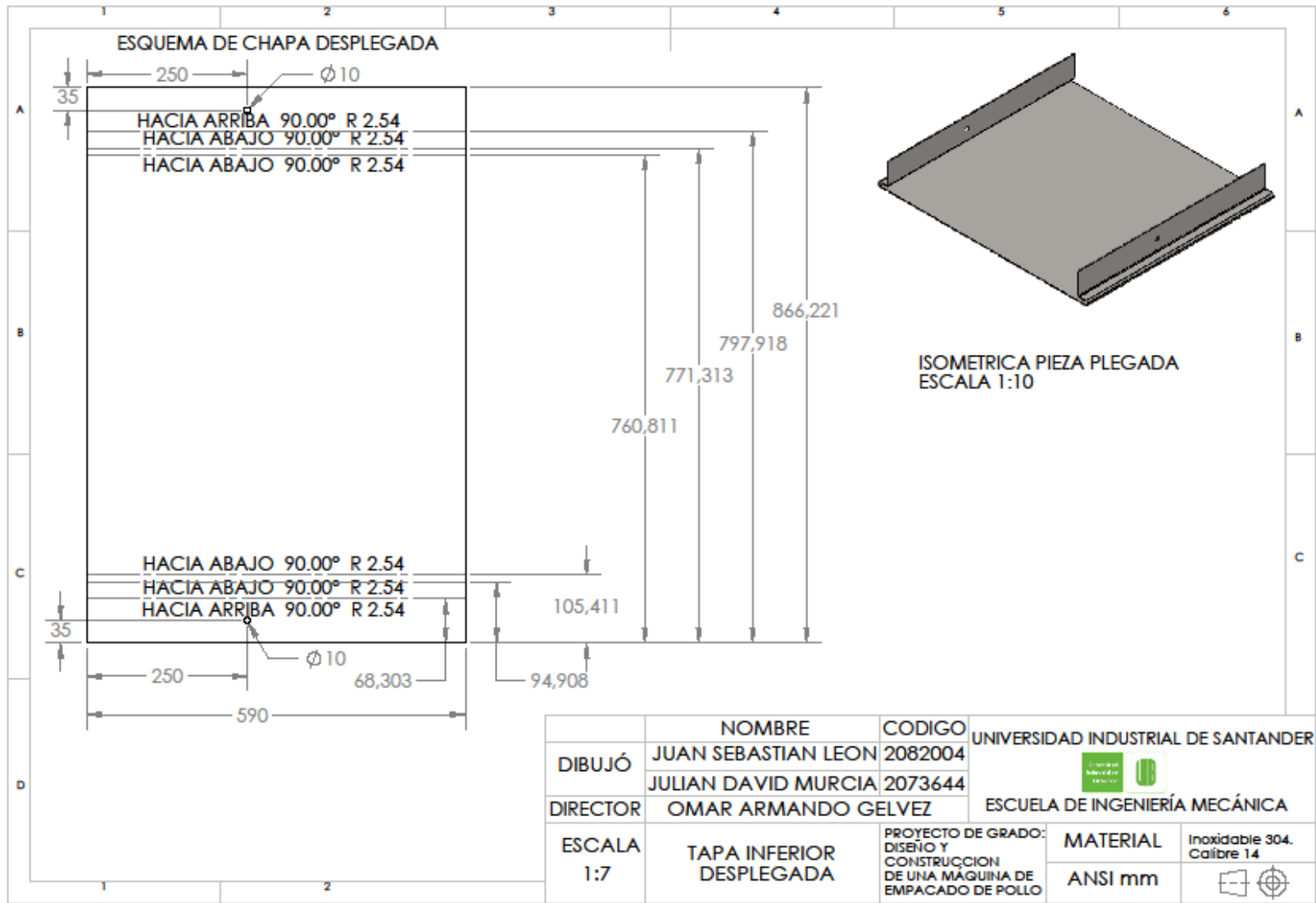
### ANEXO A PLANOS




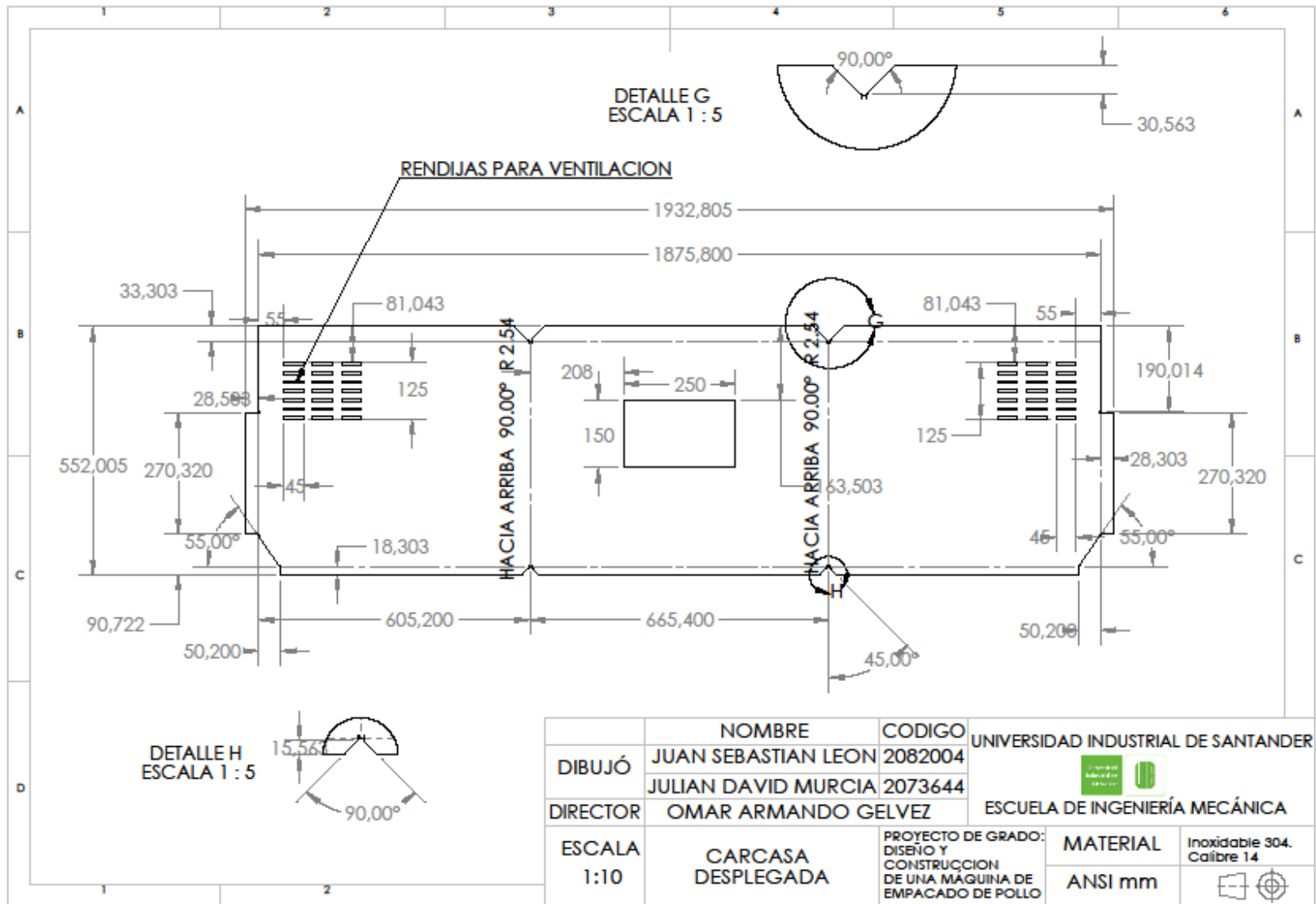




	NOMBRE	CODIGO	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
DIBUJÓ	JUAN SEBASTIAN LEON	2082004		
	JULIAN DAVID MURCIA	2073644		
DIRECTOR	OMAR ARMANDO GELVEZ		ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
ESCALA	ESQUEMA CHAPA DESPLEGADA BANDEJA	PROYECTO DE GRADO: DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA MAGUINA DE EMPACADO DE POLLO	MATERIAL	Inoxidable 304. Calibre 12
			ANSI mm	

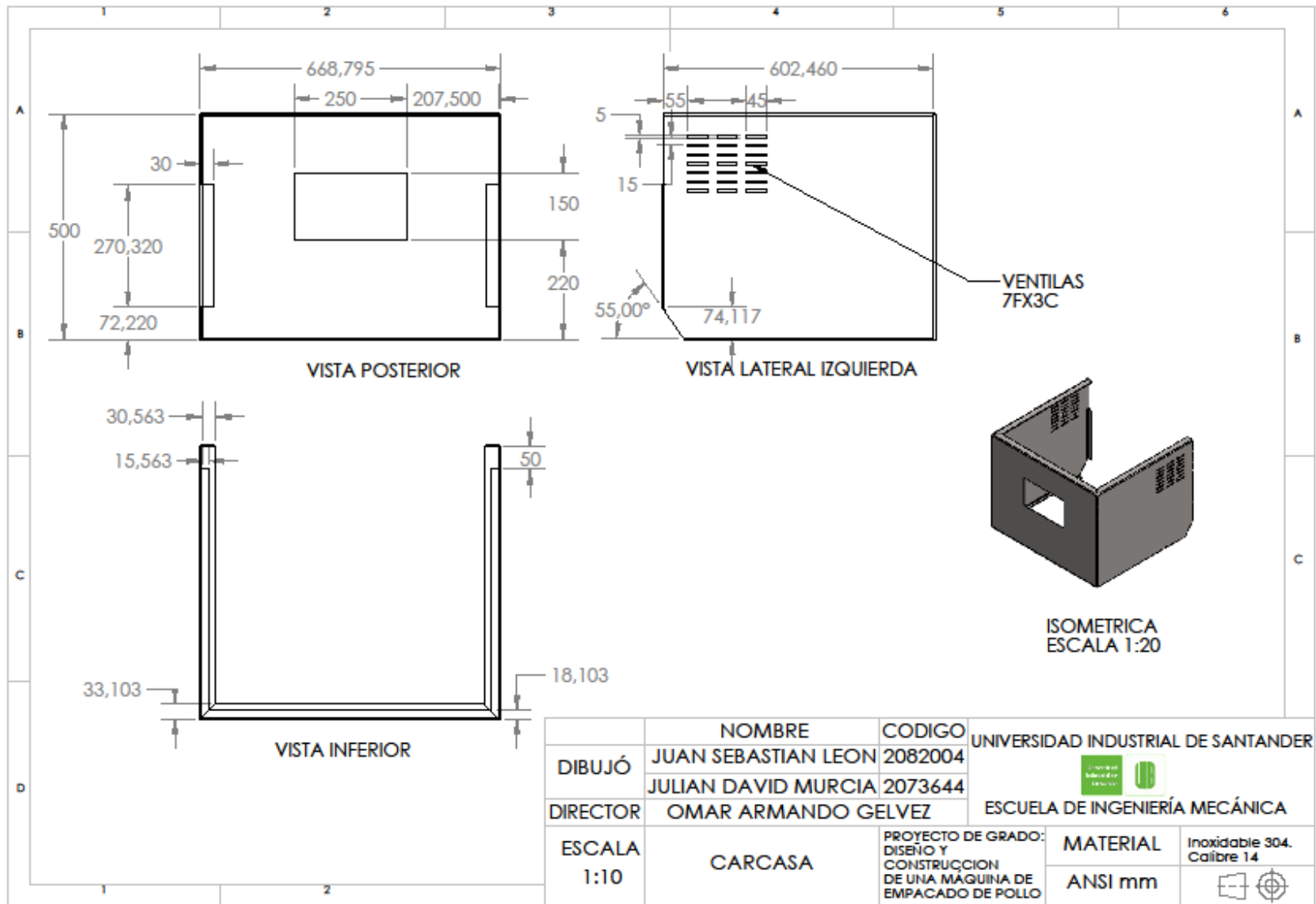






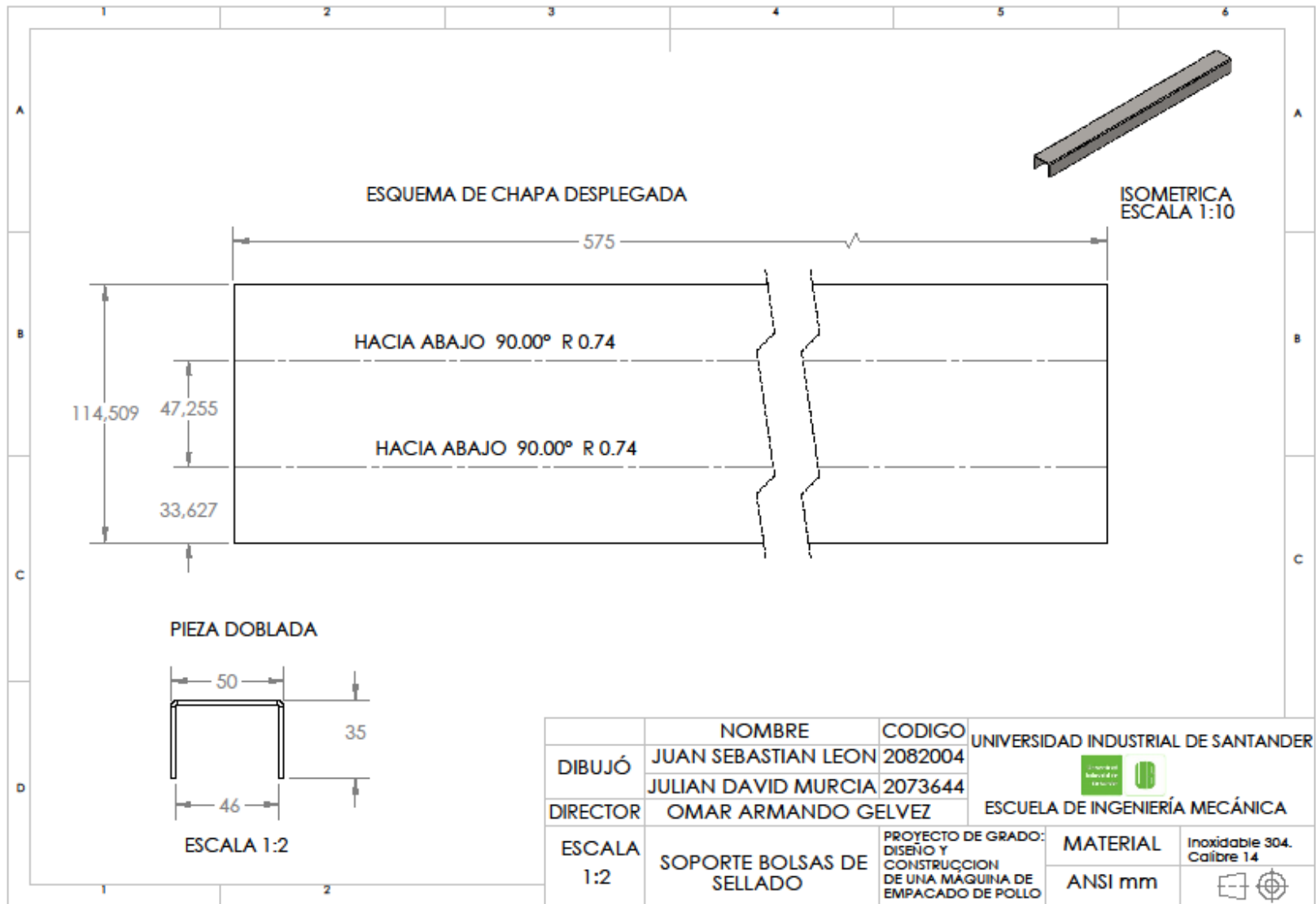
	NOMBRE	CODIGO	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
DIBUJÓ	JUAN SEBASTIAN LEON	2082004	 ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
	JULIAN DAVID MURCIA	2073644		
DIRECTOR	OMAR ARMANDO GELVEZ			
ESCALA 1:7	TAPA INFERIOR DESPLEGADA	PROYECTO DE GRADO:	MATERIAL	Inoxidable 304. Calibre 14
		DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA MÁQUINA DE EMPACADO DE POLLO		
				




	NOMBRE	CODIGO	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
DIBUJÓ	JUAN SEBASTIAN LEON	2082004		ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
	JULIAN DAVID MURCIA	2073644		
DIRECTOR	OMAR ARMANDO GELVEZ			
ESCALA 1:10	CARCASA DESPLEGADA	PROYECTO DE GRADO: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DE EMPACADO DE POLLO	MATERIAL	Inoxidable 304. Calibre 14
			ANSI mm	

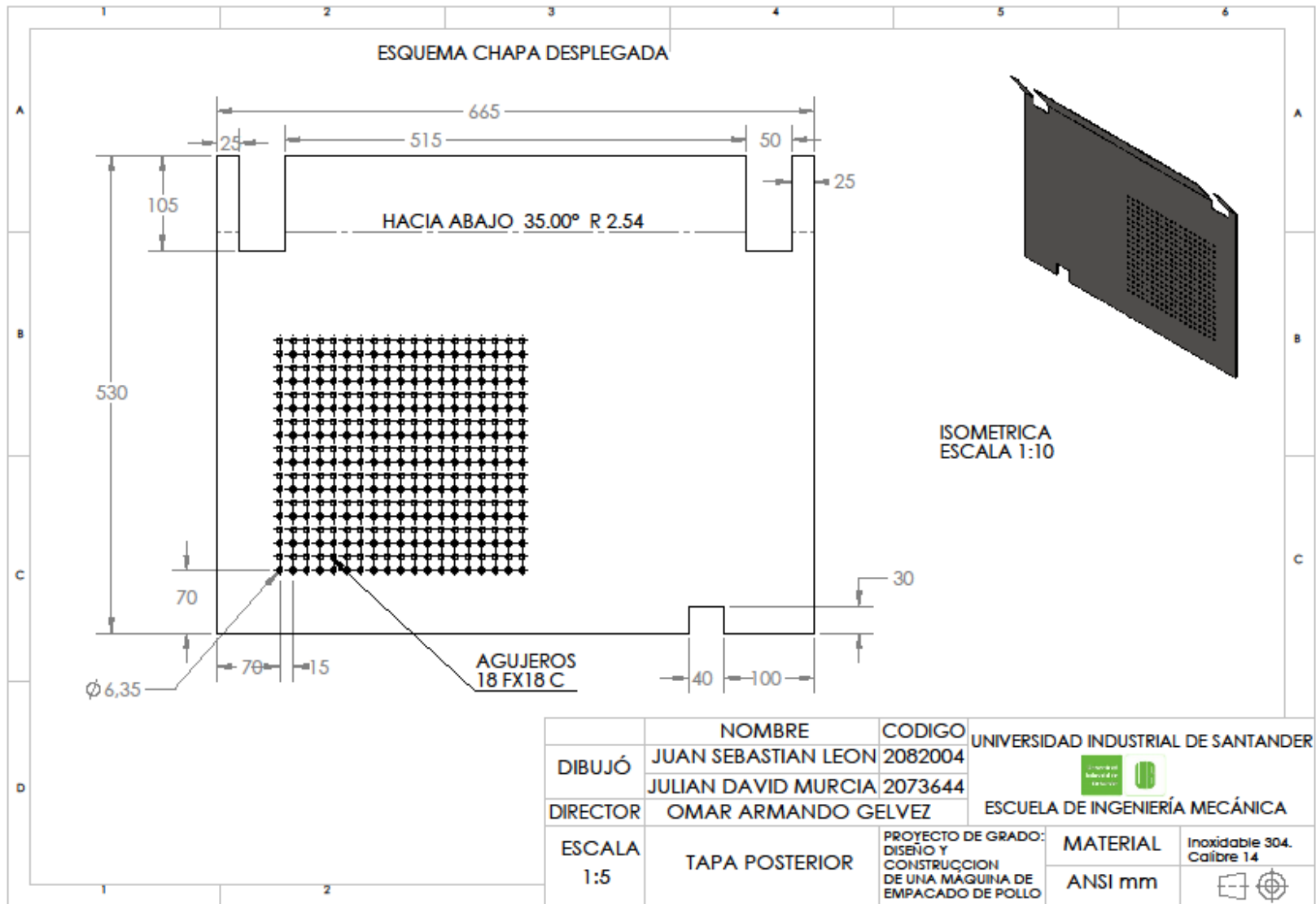


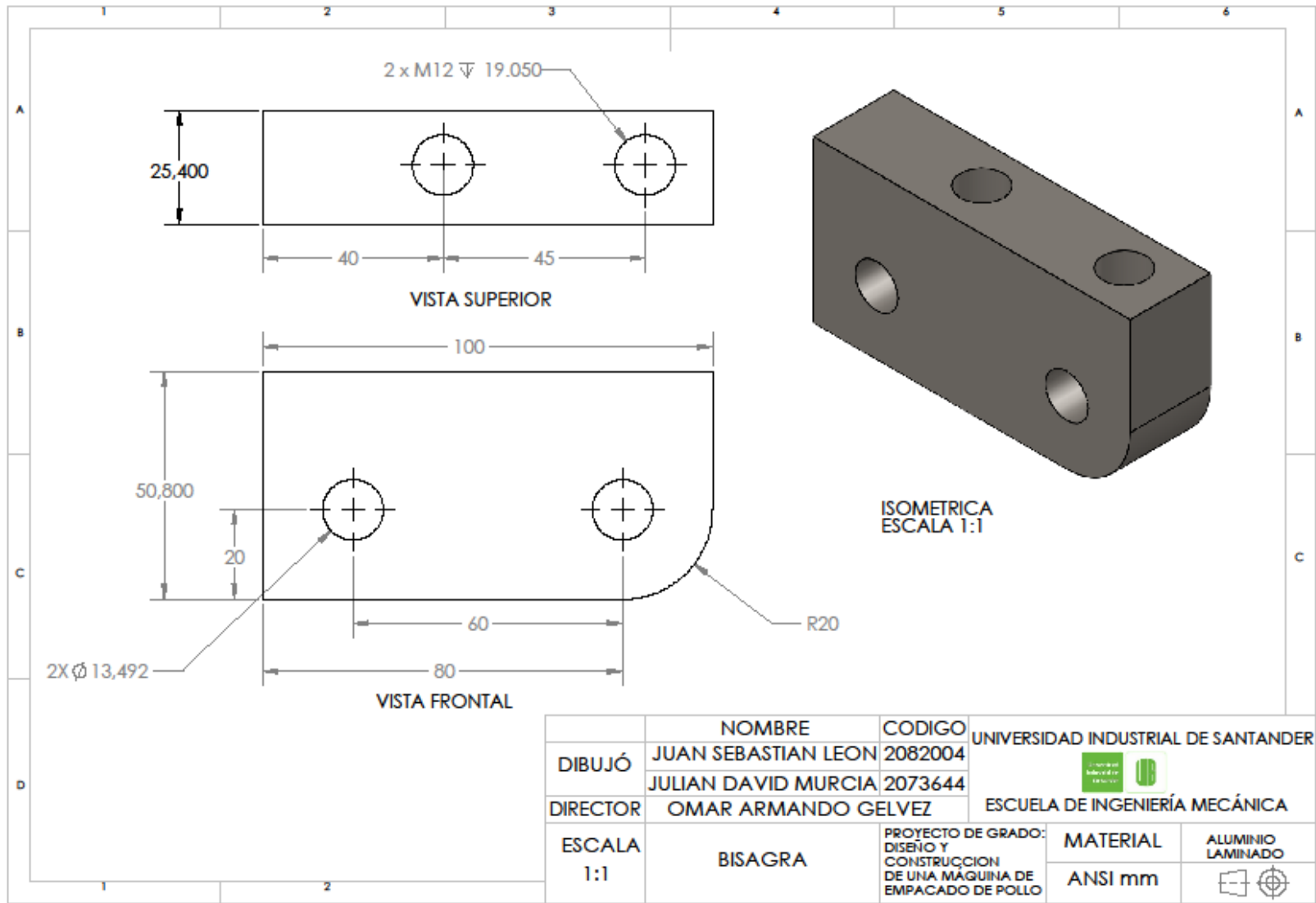
	NOMBRE	CODIGO	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
DIBUJÓ	JUAN SEBASTIAN LEON	2082004	 ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
	JULIAN DAVID MURCIA	2073644		
DIRECTOR	OMAR ARMANDO GELVEZ			
ESCALA 1:10	CARCASA	PROYECTO DE GRADO: DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA MAQUINA DE EMPAQUADO DE POLLO	MATERIAL	Inoxidable 304. Calibre 14
			ANSI mm	

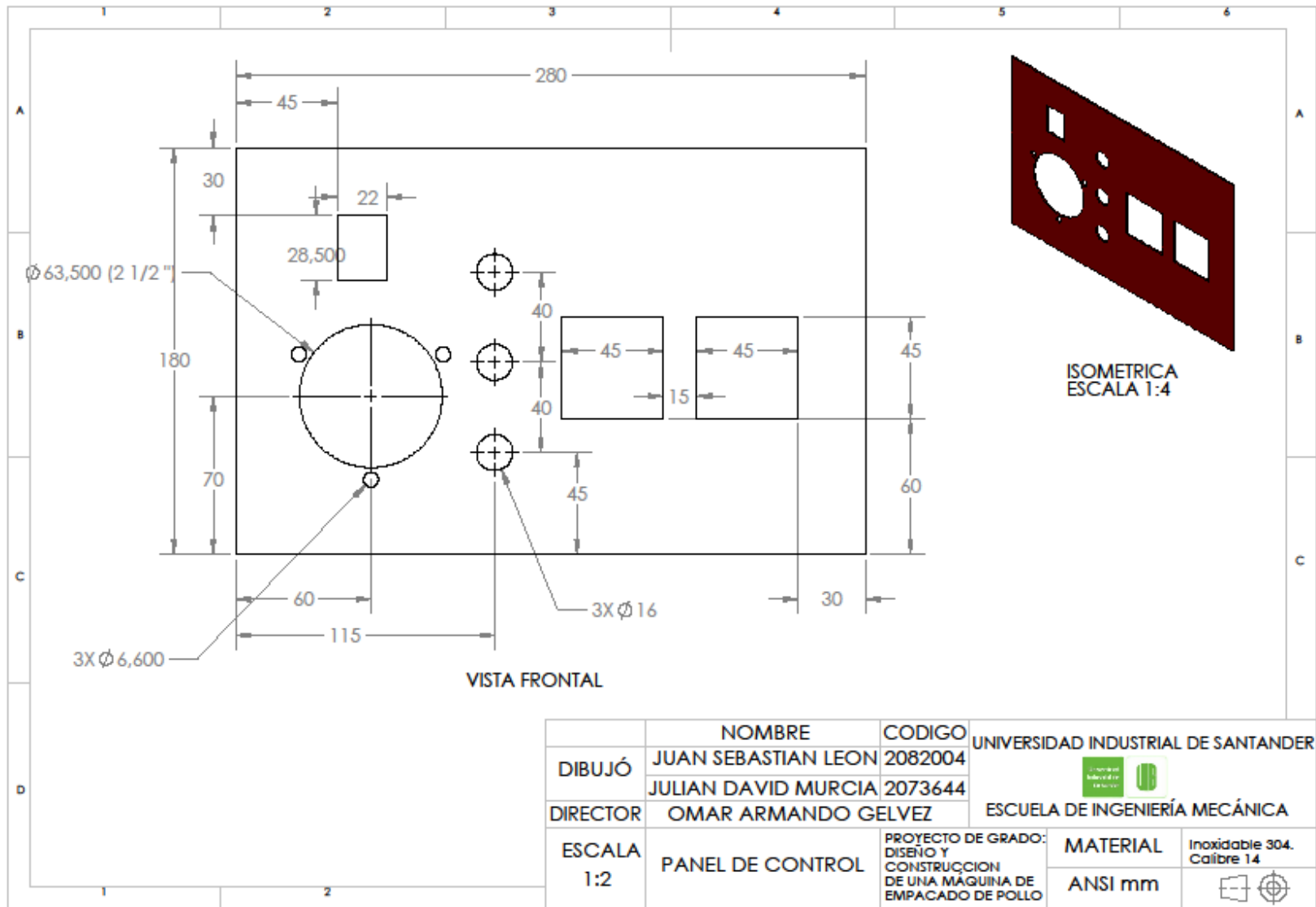


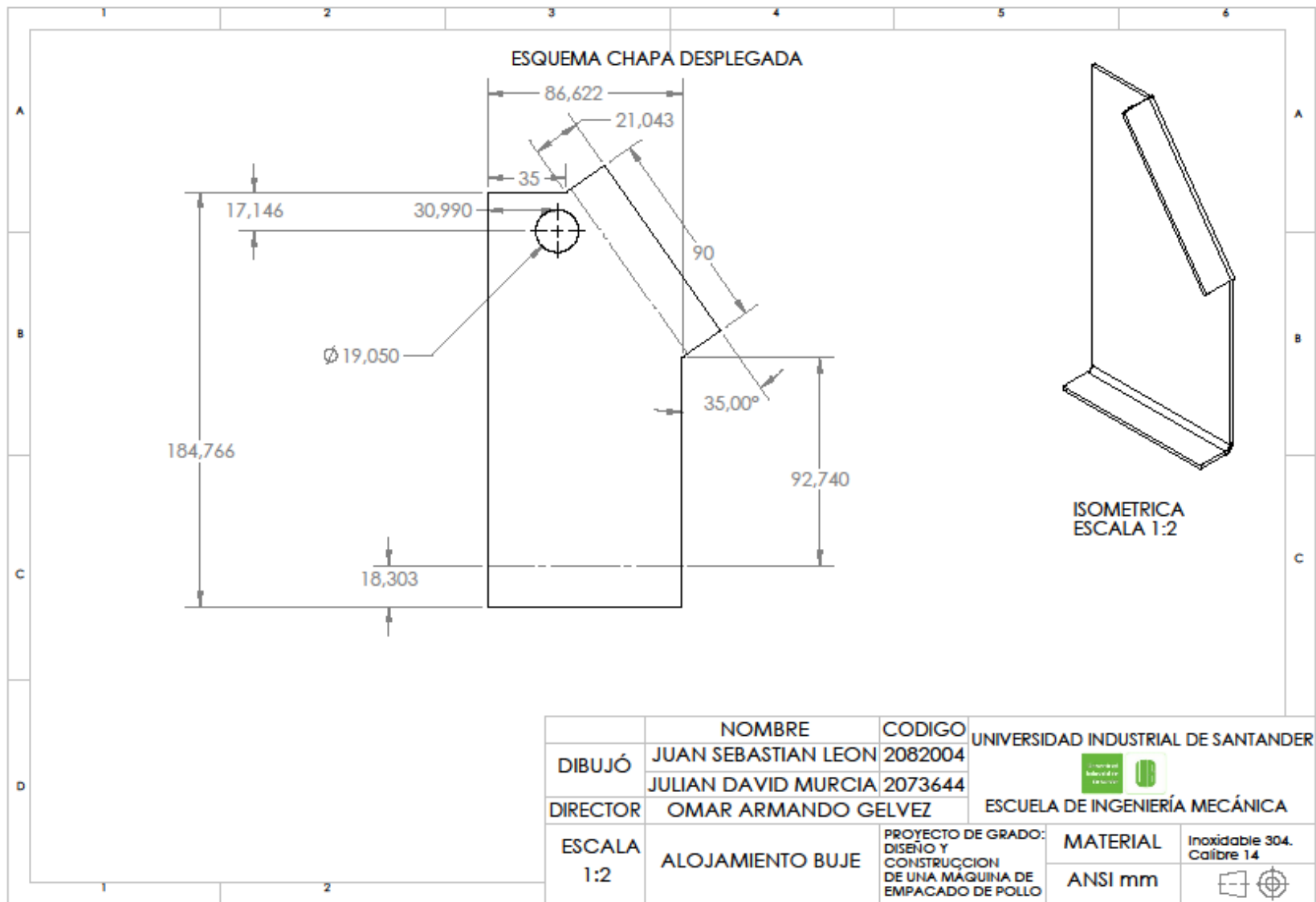
	NOMBRE	CODIGO	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
DIBUJÓ	JUAN SEBASTIAN LEON	2082004		ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
	JULIAN DAVID MURCIA	2073644		
DIRECTOR	OMAR ARMANDO GELVEZ			
ESCALA 1:2	SOPORTE BOLSAS DE SELLADO		PROYECTO DE GRADO: DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA MAQUINA DE EMPACADO DE POLLO	MATERIAL
				Inoxidable 304. Calibre 14
			ANSI mm	

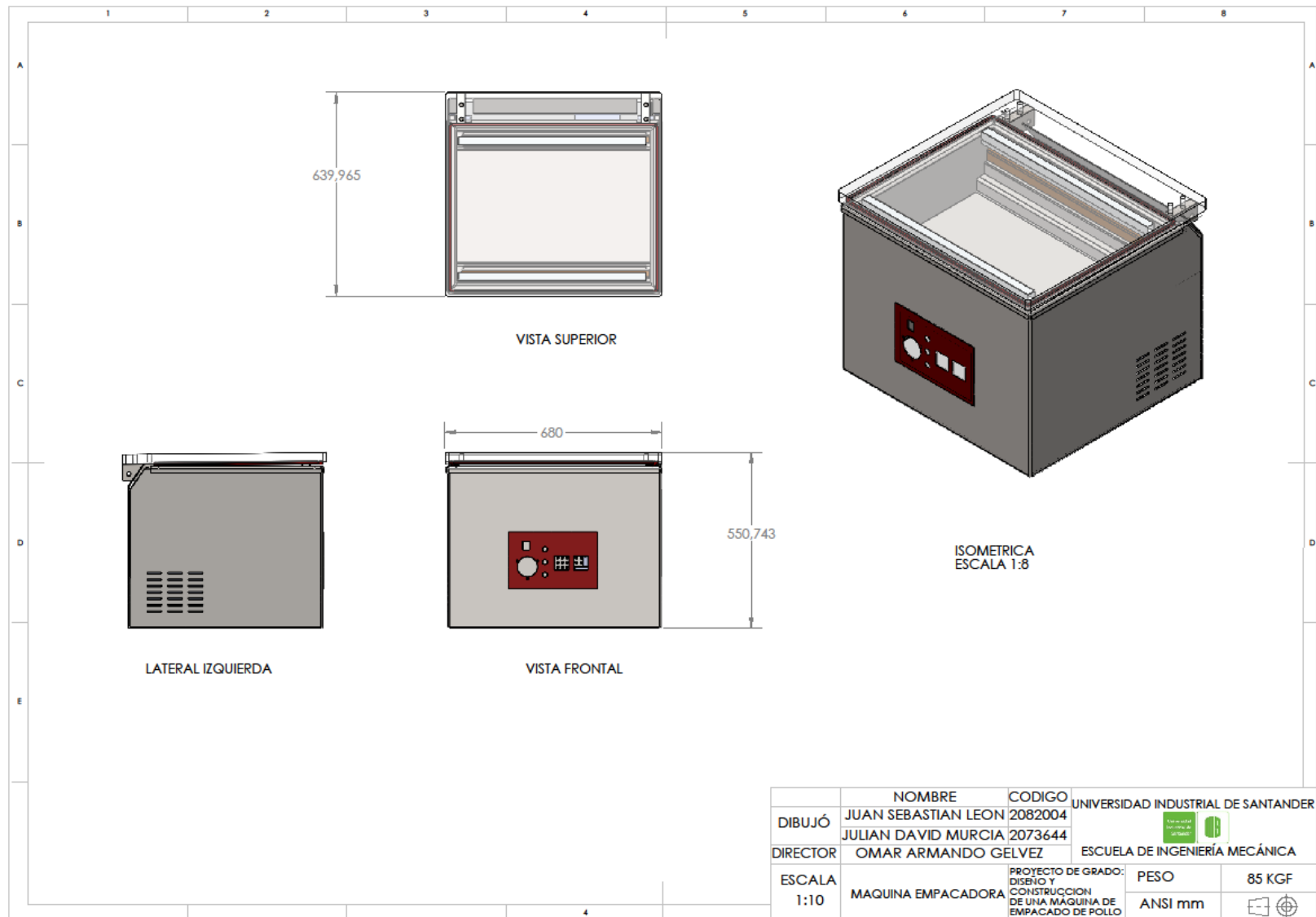


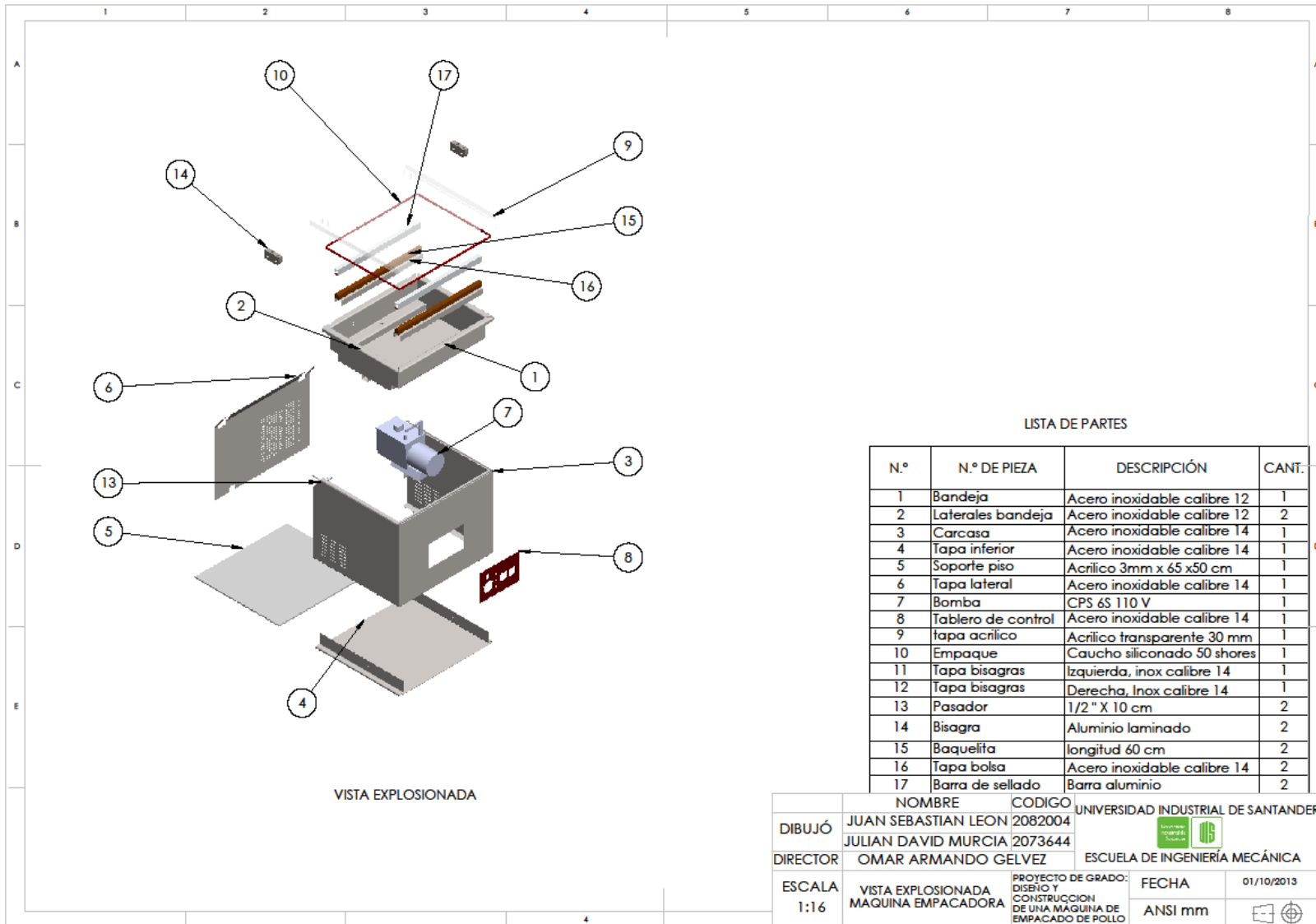












LISTA DE PARTES

N.º	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANT.
1	Bandeja	Acero inoxidable calibre 12	1
2	Laterales bandeja	Acero inoxidable calibre 12	2
3	Carcasa	Acero inoxidable calibre 14	1
4	Tapa inferior	Acero inoxidable calibre 14	1
5	Soporte piso	Acrílico 3mm x 65 x50 cm	1
6	Tapa lateral	Acero inoxidable calibre 14	1
7	Bomba	CPS 6S 110 V	1
8	Tablero de control	Acero inoxidable calibre 14	1
9	tapa acrílico	Acrílico transparente 30 mm	1
10	Empaque	Caucho siliconado 50 shores	1
11	Tapa bisagras	Izquierda, inox calibre 14	1
12	Tapa bisagras	Derecha, Inox calibre 14	1
13	Pasador	1/2" X 10 cm	2
14	Bisagra	Aluminio laminado	2
15	Baqelita	longitud 60 cm	2
16	Tapa bolsa	Acero inoxidable calibre 14	2
17	Barra de sellado	Barra aluminio	2

	NOMBRE	CODIGO	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
DIBUJÓ	JUAN SEBASTIAN LEON	2082004		
	JULIAN DAVID MURCIA	2073644		
DIRECTOR	OMAR ARMANDO GELVEZ		ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
ESCALA	VISTA EXPLOSIONADA	PROYECTO DE GRADO: DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA MAQUINA DE EMPACADO DE POLLO	FECHA	01/10/2013
1:16	MAQUINA EMPACADORA		ANSI mm	

## ANEXO B. TABLA DE RADIO DE DOBLÉS SEGÚN SU CALIBRE

1312

PUNCHES, DIES, AND PRESS WORK

### Allowances for Bends in Sheet Metal

Square Bends	Gage	Thick ness Inches	Amount to be Deducted from the Sum of the Outside Bend Dimensions, Inches			
			1 Bend	2 Bends	3 Bends	4 Bends
Formed in a Press by a V-die	18	0.0500	0.083	0.166	0.250	0.333
	16	0.0625	0.104	0.208	0.312	0.416
	14	0.0781	0.130	0.260	0.390	0.520
	13	0.0937	0.156	0.312	0.468	0.625
	12	0.1093	0.182	0.364	0.546	0.729
	11	0.1250	0.208	0.416	0.625	0.833
	10	0.1406	0.234	0.468	0.703	0.937
			5 Bends	6 Bends	7 Bends	
	18	0.0500	0.416	0.500	0.583	
	16	0.0625	0.520	0.625	0.729	
	14	0.0781	0.651	0.781	0.911	
	13	0.0937	0.781	0.937	1.093	
	12	0.1093	0.911	1.093	1.276	
	11	0.1250	1.041	1.250	1.458	
	10	0.1406	1.171	1.406	1.643	
Square Bends	Gage	Thick ness Inches	Amount to be Deducted from the Sum of the Outside Bend Dimensions, Inches			
			1 Bend	2 Bends	3 Bends	4 Bends
Rolled or Drawn in a Draw-bench	18	0.0500	0.066	0.133	0.200	0.266
	16	0.0625	0.083	0.166	0.250	0.333
	14	0.0781	0.104	0.208	0.312	0.416
	13	0.0937	0.125	0.250	0.375	0.500
	12	0.1093	0.145	0.291	0.437	0.583
	11	0.1250	0.166	0.333	0.500	0.666
	10	0.1406	0.187	0.375	0.562	0.750
			5 Bends	6 Bends	7 Bends	
	18	0.0500	0.333	0.400	0.466	
	16	0.0625	0.416	0.500	0.583	
	14	0.0781	0.521	0.625	0.729	
	13	0.0937	0.625	0.750	0.875	
	12	0.1093	0.729	0.875	1.020	
	11	0.1250	0.833	1.000	1.166	
	10	0.1406	0.937	1.125	1.312	

## ANEXO C. PREPARACION DE MUESTRAS

Este procedimiento fue realizado bajo la supervisión de personal profesional en buenas prácticas de manufactura (BPM) y procesamiento de alimento.

1. El pollo se compró a la empresa Mac Pollo quienes tienen certificación por el INVIMA para la venta y distribución de pollo. Ellos son responsables de mantener las condiciones de inocuidad, higiene, y conservación hasta el destino final (Parque Tecnológico de Guatiguará), como así lo menciona el parágrafo 1 del Artículo 34 del decreto 3075/97.
2. Se compraron 28 muslos de pollo con un peso aproximado de 125-200 [g] cada uno para ser distribuidos en cantidades de 4 muslos por cada prueba ,1 para el análisis microbiológico y 3 para el análisis fisicoquímico

**Figura 48.** Muslos de pollo marca Mac Pollo



**Fuente:** Los autores

3. El producto se sometió a un proceso de salmuerización que contenía:
  - NaCl al 10 % en 6 litros de agua
  - 15 gramos de mezcla en relación 1:4 de dos colorantes: Tricompleto Amarillo y Mil colores de marca el REY de uso caseroEsta solución salina se depositó en el refrigerador hasta alcanzar una temperatura de refrigeración 3°C



4. Una vez que el pollo llegó, se
5. conservando la cadena de frío. Luego fue lavado en 6 litros de agua purificada y se sumergió en solución salina a temperatura de 3°C para que reposara en la nevera 20min.

**Figura 49.** Lavado del pollo



**Fente:** los aturores

**Figura 50.** Pollo sumergido en salmuera



**Fuente:** Los autores

- trasportó hasta el laboratorio
6. Después de pasados los 20 min dentro de la salmuera, se escurrió el pollo en un recipiente plástico con malla por el 20 minutos en la misma nevera

**Figura 51** .Escurrendo del pollo



**Fuente:** Los autores

**Figura 52.** Pollo escurriendo en el refrigerador por 20 min



**Fuente:** Los autores

Una vez el pollo estuvo escurrido, se empacaron los muslos de pollo en bolsas (para empacado) de alto calibre para realizar el proceso de vacío del pollo.

**Figura 53.** Empaque de muslos de pollo



**Fuente:** Los autores

**Figura 54.** Muslos empacados



**Fuete:** Los autores

10. El mismo día, se sacaron 7 muestras de pollo empacadas al vacío, para ser

7. Las presas de pollo empacado fueron rotuladas con las siguientes especificaciones: número de muestra y fecha de empaque. Las presas empacadas se almacenaron a temperatura de refrigeración

8. El laboratorio LABAMILE se encargó de almacenar las muestras empacadas al vacío y hacer el análisis microbiológico en los días mostrados en el calendario de la Figura 55, simultáneo al desarrollo de las pruebas organolépticas y fisicoquímicas que se desarrollaron en el Centro de Investigación en Ciencia y Tecnología de Alimentos (CICTA).

El laboratorio LABALIME dio informe al final de cada prueba

9. En el laboratorio de alimentos en Güatigüara se desarrollaron las pruebas organolépticas y fisicoquímicas, bajo la supervisión de expertos en la manipulación y estudio de alimentos, a su vez se llenó las tablas de: características organolépticas, PH y humedad transportadas en una nevera de icopor con gel refrigerante, hasta el

laboratorio LABALIME que se ubica en la calle 33 N° 20-29 Bucaramanga.

**Figura 55.** Días para desarrollar las pruebas organolépticas, fisicoquímicas y microbiológicas

**Septiembre 2013**

Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	P1	28
29	30					

**Octubre 2013**

Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
		P2	2	3	P3	5
6	P4	8	9	P5	11	12
13	P6	15	16	P7	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30	31		

**Fuente:** <http://www.imprimir-calendario-gratis.com>

## ANEXO D. PROCEDIMIENTO PARA LA MEDICION DE PH

Las muestras fueron abiertas de su empaque, el día que muestra la el calendario de pruebas (Figura 55).

Se necesitó de 200 g de pollo (equivalente a 3 muslos sin hueso) ya que es la mínima cantidad que necesita el molino para poder trabajar

1. Se tomaron 3 muestras de pollo por prueba, las cuales fueron deshuesadas y picadas es trozos pequeños para ser molidas 20 s en un molino que gira a 6000 rpm.

**Figura 56.** Pollo cortado en trozos pequeños para ser molidos



**Fuente:** Los autores

**Figura 57.** Pollo molido a 6000 rpm durante 20 s



**Fuete:** Los atures

**Figura 58.** 10.5779 g de pollo en un vaso de licuadora



**Fuente:** Los autores

**Figura 59.** Licuado de 10.5779 g de pollo en 90 ml de agua destilada



**Fuente:** los autores

2. Se pesan 10 g de pollo molido, en un recipiente plástico y se le agregan 90 ml de agua destilada para ser homogeniza por 1 minuto en una licuadora
3. Se vertió la muestra en una probeta mientras enfriaba, para medirle el PH con el Peachimetro (instrumento que debe estar calibrado).

**Figura 60.** Medición del PH en la primera prueba



**Fuente:** Los autores

## ANEXO E. PROCEDIMIENTO PARA MEDIR EL PORCENTAJE DE HUMEDAD DEL POLLO

1. Se introdujo dos cajas de Petri marcadas como muestra 1 y 2 en un horno eléctrico a 140°C por 60 min.
2. Luego de que las cajas de Petri estuvieron 50 minutos en el horno, se pasaron al deshumidificador durante 50 min.
3. Se pesan dos gramos de pollo molido y se esparce por toda la caja se Petri.

**Figura 61.** Peso de la caja de Petri



**Fuente:** los autores

**Figura 62.** Peso de la muestra esparcida aproximada a 2 g



**Fuente:** Los autos

1. Una vez terminado el peso de la muestra, se introduce en el horno a 140°C durante 18 horas.
2. Después de las 18 horas, se sacan las cajas de Petri para ser pesadas.
3. Con los datos de peso de la muestra se halla el porcentaje de humedad.

## NEXO F. TEORÍA CLÁSICA DE PLACAS

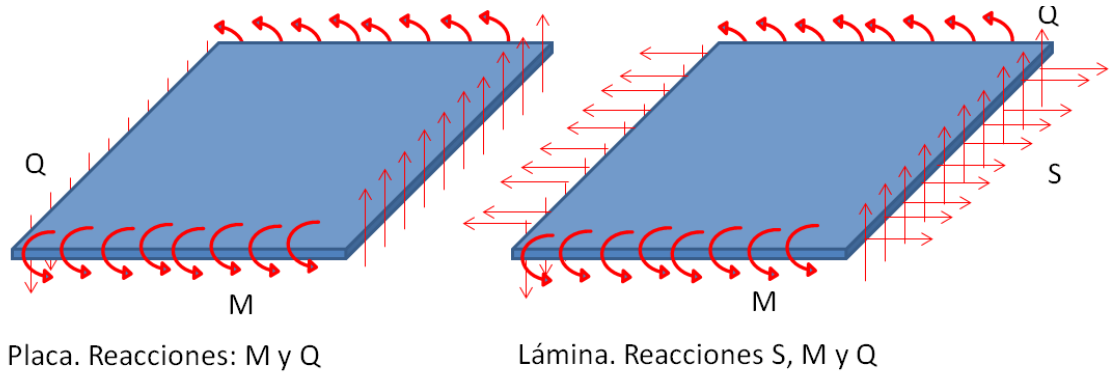
Se define como *Placa* al sólido paralelepédico en el que una de sus dimensiones (espesor) es mucho menor que las otras. La superficie plana equidistante de las dos caras con mayores dimensiones se denomina plano medio de la placa.

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).

El campo de esfuerzos en una placa es en principio un campo tridimensional, 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.

Usualmente el término placa se confunde con el de lámina, pero una lámina es capaz de transmitir la carga de la superficie por tensiones de membrana, que actúan paralelamente al plano en un punto de la superficie media de la lámina y se distribuyen uniformemente en el espesor de ésta, como se muestra en la Figura 63. En una placa no existen tensiones normales en el plano medio. Si el material es muy delgado y las deformaciones son grandes es probable que su comportamiento sea más similar al de una lámina.

**Figura 63.** Reacciones en el plano medio en placa y lámina



**Fuente:** Los autores

Las propiedades de la flexión de una placa dependen grandemente de su espesor en comparación con las restantes dimensiones. Existen 3 clases de placas: placas delgadas con pequeñas deflexiones, placas delgadas con grandes flechas y placas gruesas.

Los cálculos se realizarán a manera de ejemplo solo para las placas delgadas con pequeñas deflexiones. Para ello se hacen ciertas aproximaciones que facilitan el desarrollo de una ecuación más sencilla:

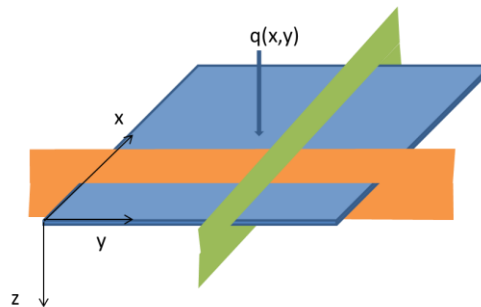
- 1 Puntos situados en una normal al plano medio permanecen después de la flexión en una normal a la superficie media de la placa.
- 2 No hay deformación en el plano medio de la placa. Este plano permanece neutro durante la flexión.
- 3 Las tensiones normales en la dirección transversal (aquella perpendicular al plano medio) de la placa son despreciables.



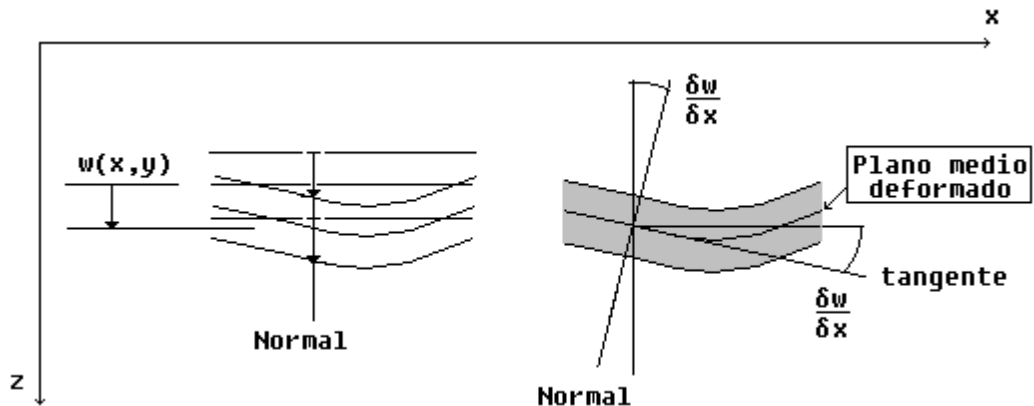
## Campo de desplazamientos.

Es posible visualizar la curva de deformación si se corta la placa por cualquier plano paralelo a alguno de los dos mostrados. Suponiendo una placa rectangular sometida a una carga  $q$ , un punto de origen en uno de sus vértices y los ejes coordenados  $X$  y  $Y$  paralelos a sus dos lados mayores.

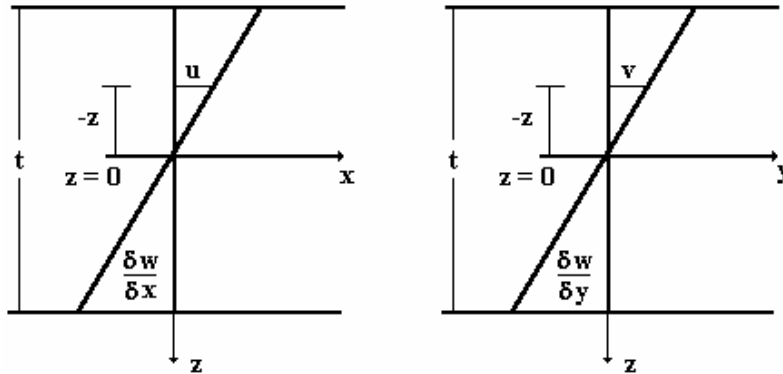
**Figura 64.** Deformación de una sección de placa



Bajo las consideraciones anteriores, el campo de desplazamiento puede expresarse en función de un solo parámetro del plano medio, la flecha  $w(x,y)$ , en la forma siguiente:



**Fuente:** <http://www-gmap.mecanica.ufrgs.br/html/sumulas/mec098/download/placas1.pdf>



Fuente: <http://www-gmap.mecanica.ufrgs.br/html/sumulas/mec098/download/placas1.pdf>

gmap.mecanica.ufrgs.br/html/sumulas/mec098/download/placas1.pdf

$$u(x, y, z) = -z \frac{\partial w(x, y)}{\partial x}; v(x, y, z) = -z \frac{\partial w(x, y)}{\partial y}; w(x, y, z) = w(x, y)$$

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

$$\begin{pmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{xz} \\ \gamma_{yz} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial y} \\ \frac{\partial w}{\partial z} \\ \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \\ \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \\ \frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -z \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \\ \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \\ -z \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \\ \mathbf{0} \\ -2z \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \\ \mathbf{0} \\ \mathbf{0} \end{pmatrix}$$

### Campo de tensiones.

Las tensiones son función de la deformación que a su vez, es función de la posición en la placa, esta función tiene que satisfacer una ecuación diferencial lineal en derivadas parciales, junto con las condiciones de frontera de acuerdo a la

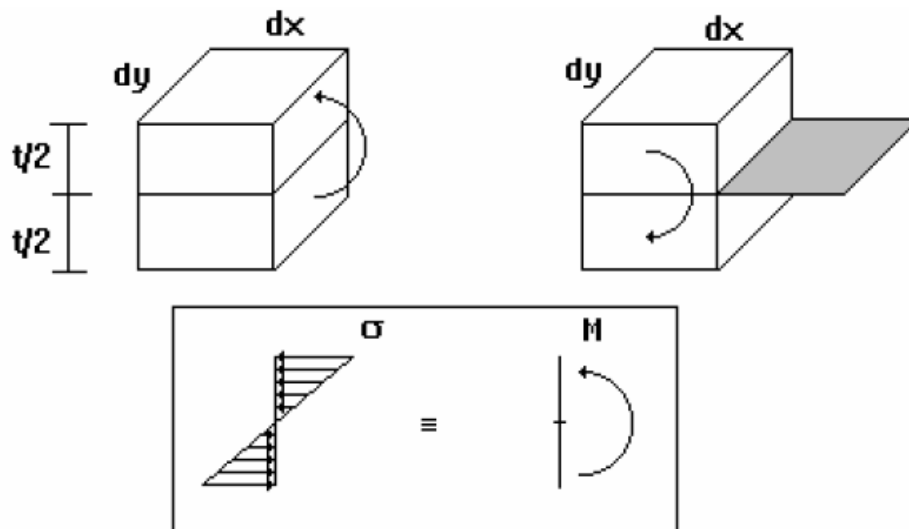
situación analizada. El campo de tensiones de acuerdo con las relaciones tensión deformación para elasticidad plana viene dado por:

$$\sigma_x = \frac{E}{1-\nu^2} * (\epsilon_x + \nu\epsilon_y) = -\frac{Ez}{1-\nu^2} \left( \frac{\partial^2 w(x,y)}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right)$$

$$\sigma_y = \frac{E}{1-\nu^2} * (\nu\epsilon_x + \epsilon_y) = -\frac{Ez}{1-\nu^2} \left( \nu \frac{\partial^2 w(x,y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right)$$

$$\tau_{xy} = G\gamma_{xy} = -\frac{Ez}{1-\nu} \left( \frac{\partial^2 w(x,y)}{\partial x \partial y} \right) ; \sigma_z = \tau_{xz} = \tau_{yz} = 0$$

**Figura 65.** Sección transversal de un elemento diferencial de placa



**Fuente:** [http://www-](http://www-gmap.mecanica.ufrgs.br/html/sumulas/mec098/download/placas1.pdf)

[gmap.mecanica.ufrgs.br/html/sumulas/mec098/download/placas1.pdf](http://www-gmap.mecanica.ufrgs.br/html/sumulas/mec098/download/placas1.pdf)

El estado tensional descrito provoca unos esfuerzos internos que actúan sobre la sección recta de la Placa, como lo muestra la Figura 65, y que son equivalentes a las resultantes de tensiones sobre el plano medio de la misma. Se obtienen así

unos Momentos Flectores a partir de las tensiones normales y unos Momentos Torsores a partir de las tensiones tangenciales.

### **Esfuerzos sobre el Plano medio.**

Los momentos internos de flexión y torsión se obtienen integrando las tensiones a lo largo del espesor de la Placa, y son función de la flecha  $w(x, y)$  de los puntos del Plano medio de la misma.

$$M_x = \int_{-\frac{t}{2}}^{\frac{t}{2}} \sigma_x Z dz = -\frac{Et^3}{12(1-\nu^2)} \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right)$$

$$M_y = \int_{-\frac{t}{2}}^{\frac{t}{2}} \sigma_y Z dz = -\frac{Et^3}{12(1-\nu^2)} \left( \nu \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right)$$

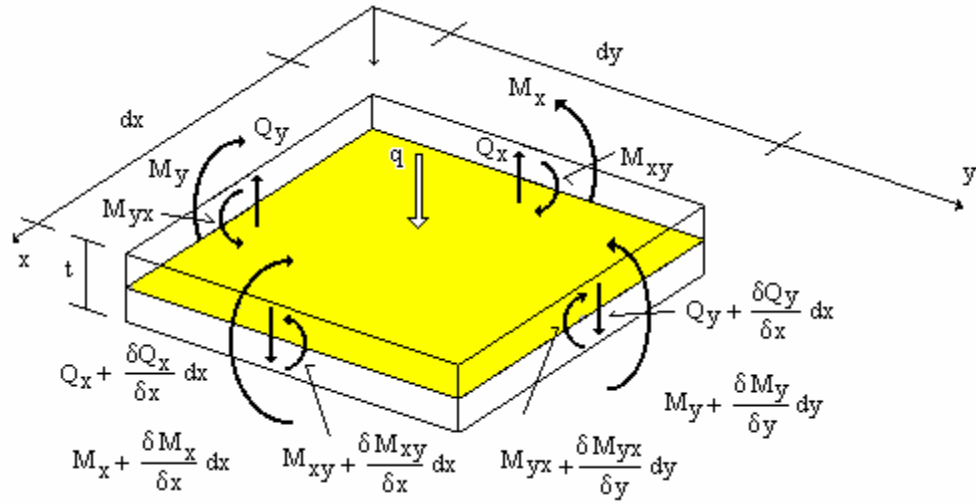
$$M_{xy} = \int_{-\frac{t}{2}}^{\frac{t}{2}} \sigma_{xy} Z dz = -\frac{Et^3}{12(1+\nu)} \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right) \quad D = \frac{Et^3}{12(1-\nu^2)}$$

Este coeficiente D caracteriza a la placa desde el punto de vista resistente y tiene un significado físico similar a la rigidez EI en vigas. Como estos esfuerzos se han obtenido como la resultante de tensiones a lo largo del espesor vienen dados por unidad de longitud horizontal X e Y. Es decir los momentos tienen dimensiones de F . L/ L (N. m. / cada m.).

### **ECUACIÓN DIFERENCIAL DE LA PLACA.**

El equilibrio del elemento diferencial de placa de la Figura 66,  $(dx, dy, t)$ , se plantea considerando que exteriormente actúa una carga normal al plano medio  $q = q(x, y)$  por unidad de superficie. 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 66.** Diagrama de cuerpo libre del plano medio de la placa



**Fuente:** <http://www-gmap.mecanica.ufrgs.br/html/sumulas/mec098/download/placas1.pdf>

Equilibrio de momentos respecto a  $x=0$

$$\sum M_x = 0$$

$$\left( M_y + \frac{\partial M_y}{\partial y} dy \right) dx - M_y dx + \left( M_{xy} + \frac{\partial M_{xy}}{\partial x} dx \right) dy - M_{xy} dy - Q_y dx dy = 0$$

$$\frac{\partial M_y}{\partial y} + \frac{\partial M_{xy}}{\partial x} - Q_y = 0$$

Equilibrio de momentos respecto a  $y=0$

$$\sum M_y = 0$$

$$\left( M_x + \frac{\partial M_x}{\partial x} dx \right) dy - M_x dy + \left( M_{xy} + \frac{\partial M_{xy}}{\partial y} dy \right) dx - M_{xy} dx - Q_x dy dx = 0$$

$$\frac{\partial M_x}{\partial x} + \frac{\partial M_{xy}}{\partial y} - Q_x = 0$$

Equilibrio de fuerzas verticales

$$\sum F_z = 0$$

$$\frac{\partial Q_x}{\partial x} dx dy + \frac{\partial Q_y}{\partial y} dy dx + q dx dy = 0$$

Sustituyendo las expresiones de  $Q_x$  y  $Q_y$  en ésta última ecuación se obtiene:

$$\frac{\partial^2 M_x}{\partial x^2} + 2 \frac{\partial^2 M_{xy}}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 M_y}{\partial y^2} = -q(x, y)$$

Y sustituyendo los momentos por sus expresiones en función de la flecha del plano medio  $w(x, y)$  se obtiene la ecuación diferencial que rige el comportamiento de la Placa:

$$\nabla \nabla w(x, y) = \frac{q(x, y)}{D}$$

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

#### Condición de Frontera

Al resolver la ecuación diferencial de la placa es necesario imponer unas determinadas condiciones en los bordes. Ya que la respuesta de una Placa, o la solución de la ecuación diferencial que la representa, son distintas según su contorno este apoyado, empotrado o libre.

#### a) Contorno simplemente apoyado

$$[w(x, y)]_{x=a} = 0 ; [M_x]_{x=a} = 0 \rightarrow \left[ \frac{\partial^2 w(x, y)}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right]_{x=a} = 0$$

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

$$\left[ \frac{\partial^2 w(x, y)}{\partial y^2} \right]_{x=a} = 0 \rightarrow \left[ \frac{\partial^2 w(x, y)}{\partial x^2} \right]_{x=a} = 0$$

## ANEXO G. REPORTE LABORATORIO LABALIME



### IDENTIFICACION DE LA MUESTRA

Muestra No	22345
Muestra	MUSLO DE POLLO CRUDO (P1)
Empresa	JULIÁN DAVID MURCIA PEÑA
Fecha de recepción (año-mes-día)	2013-09-27 16:45:00
Objeto del Análisis	Estudio de vida útil
Lugar de Recolección	Traída al laboratorio
Responsable del Muestreo	El solicitante

### RESULTADOS

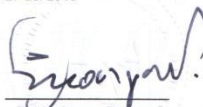
PARAMETRO	RESULTADO	LIM INFE.	LIM SUPE.	UNIDAD	TECNICA
Rcto de microorg mesófilos	120	Menos de 10	Sin limites establec	ufc/g	Rto en placa P.count
Rcto de coliformes totales	23	Menos de 3	Sin limites establec	mic/g	NMP
Rcto de coliformes fecales	Menos de 3	Menos de 3	1100	mic/g	NMP

NOTA : RESULTADO VALIDO SOLO PARA MUESTRA ANALIZADA Y NO PUEDE REPRODUCIRSE SIN AUTORIZACION

NORMA: Parámetros INVIMA (Pollo crudo)

**CONCEPTO: LA MUESTRA CUMPLE LAS ESPECIFICACIONES TECNICAS ESTABLECIDAS**

OBSERVACIONES: Fecha de análisis: Septiembre 27 del 2013



Fabio Anaya Payares  
Director Técnico

Cll 33 No. 20-29  
Segundo Piso - Telefax: 642 42 96  
Cel. 317 440 1537 - 313 355 5286 - Bucaramanga - labalime@hotmail.com

### IDENTIFICACION DE LA MUESTRA

Muestra No	22371
Muestra	MUSLO DE POLLO CRUDO (P2)
Empresa	JULIÁN DAVID MURCIA PEÑA
Fecha de recepción (año-mes-día)	2013-09-27 06:00:00
Objeto del Análisis	Estudio de vida útil
Lugar de Recolección	Traída al laboratorio
Responsable del Muestreo	El solicitante

### RESULTADOS

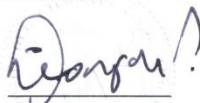
PARAMETRO	RESULTADO	LIM INFE.	LIM SUPE.	UNIDAD	TECNICA
Rcto de microorg mesófilos	150	Menos de 10	Sin limites establec	ufc/g	Rto en placa P.count
Rcto de coliformes totales	43	Menos de 3	Sin limites establec	mic/g	NMP
Rcto de coliformes fecales	Menos de 3	Menos de 3	1100	mic/g	NMP

NOTA : RESULTADO VALIDO SOLO PARA MUESTRA ANALIZADA Y NO PUEDE REPRODUCIRSE SIN AUTORIZACION

NORMA: Parámetros INVIMA (Pollo crudo)

**CONCEPTO: LA MUESTRA CUMPLE LAS ESPECIFICACIONES TECNICAS ESTABLECIDAS**

OBSERVACIONES: FECHA DE ANALISIS: OCTUBRE 1 DEL 2013



Fabio Anaya Payares  
Director Técnico



**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA**

Muestra No	22502
Muestra	MUSLO DE POLLO CRUDO (P3)
Empresa	JULIÁN DAVID MURCIA PEÑA
Fecha de recepción (año-mes-día)	2013-09-27 00:00:00
Objeto del Análisis	Estudio de vida útil
Lugar de Recolección	Traída al laboratorio
Responsable del Muestreo	El solicitante

**RESULTADOS**

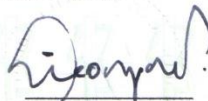
PARAMETRO	RESULTADO	LIM INFE.	LIM SUPE.	UNIDAD	TECNICA
Rcto de microorg mesófilos	1.230	Menos de 10	Sin limites establec	ufc/g	Rto en placa P.count
Rcto de coliformes totales	75	Menos de 3	Sin limites establec	mic/g	NMP
Rcto de coliformes fecales	Menos de 3	Menos de 3	1100	mic/g	NMP

NOTA : RESULTADO VALIDO SOLO PARA MUESTRA ANALIZADA Y NO PUEDE REPRODUCIRSE SIN AUTORIZACION

NORMA: Parámetros INVIMA (Pollo crudo)

**CONCEPTO: LA MUESTRA CUMPLE LAS ESPECIFICACIONES TECNICAS ESTABLECIDAS**

OBSERVACIONES: FECHA DE ANÁLISIS OCTUBRE 4 DEL 2013



Fabio Anaya Payares  
Director Técnico

### IDENTIFICACION DE LA MUESTRA

Muestra No	22577
Muestra	MUSLO DE POLLO CRUDO (P4)
Empresa	JULIÁN DAVID MURCIA PEÑA
Fecha de recepción (año-mes-día)	2013-09-27 00:00:00
Objeto del Análisis	Estudio de vida útil
Lugar de Recolección	Planta
Responsable del Muestreo	El laboratorio

### RESULTADOS

PARAMETRO	RESULTADO	LIM INFE.	LIM SUPE.	UNIDAD	TECNICA
Rcto de microorg mesófilos	10.000	Menos de 10	Sin limites establec	ufc/g	Rto en placa P.count
Rcto de coliformes totales	460	Menos de 3	Sin limites establec	mic/g	NMP
Rcto de coliformes fecales	Menos de 3	Menos de 3	1100	mic/g	NMP

NOTA : RESULTADO VALIDO SOLO PARA MUESTRA ANALIZADA Y NO PUEDE REPRODUCIRSE SIN AUTORIZACION

NORMA: Parámetros INVIMA (Pollo crudo)

**CONCEPTO: LA MUESTRA CUMPLE LAS ESPECIFICACIONES TECNICAS ESTABLECIDAS**

OBSERVACIONES: FECHA DE ANÁLISIS: 0CTUBRE 7 DEL 2013



Fabio Anaya Payares  
Director Técnico

Cil 33 No. 20-29

Segundo Piso - Telefax: 642 42 96

Cel. 317 440 1537 - 313 355 5286 - Bucaramanga - labalime@hotmail.com

### IDENTIFICACION DE LA MUESTRA

Muestra No	22664
Muestra	MUSLO DE POLLO CRUDO (P5)
Empresa	JULIÁN DAVID MURCIA PEÑA
Fecha de recepción (año-mes-día)	2013-10-10 00:00:00
Objeto del Análisis	Estudio de vida útil
Lugar de Recolección	Traída al laboratorio
Responsable del Muestreo	El solicitante

### RESULTADOS

PARAMETRO	RESULTADO	LIM INFE.	LIM SUPE.	UNIDAD	TECNICA
Rcto de microorg mesófilos	4.000	Menos de 10	Sin limites establec	ufc/g	Rto en placa P.count
Rcto de coliformes totales	1.100	Menos de 3	Sin limites establec	mic/g	NMP
Rcto de coliformes fecales	23	Menos de 3	1100	mic/g	NMP

NOTA : RESULTADO VALIDO SOLO PARA MUESTRA ANALIZADA Y NO PUEDE REPRODUCIRSE SIN AUTORIZACION

NORMA: Parámetros INVIMA (Pollo crudo)

**CONCEPTO: LA MUESTRA CUMPLE LAS ESPECIFICACIONES TECNICAS ESTABLECIDAS**

OBSERVACIONES: FECHA DE ANÁLISIS: OCTUBRE 10 DEL 2013



Fabio Anaya Payares  
Director Técnico

### IDENTIFICACION DE LA MUESTRA

Muestra No	22839
Muestra	MUSLO DE POLLO CRUDO (P6)
Empresa	JULIÁN DAVID MURCIA PEÑA
Fecha de recepción (año-mes-día)	2013-09-27 00:00:00
Objeto del Análisis	Estudio de vida útil
Lugar de Recolección	Traída al laboratorio
Responsable del Muestreo	El solicitante

### RESULTADOS

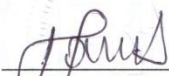
PARAMETRO	RESULTADO	LIM INFE.	LIM SUPE.	UNIDAD	TECNICA
Rcto de microorg mesófilos	4.500	Menos de 10	Sin limites establec	ufc/g	Rto en placa P.count
Rcto de coliformes totales	460	Menos de 3	Sin limites establec	mic/g	NMP
Rcto de coliformes fecales	9	Menos de 3	1100	mic/g	NMP

NOTA : RESULTADO VALIDO SOLO PARA MUESTRA ANALIZADA Y NO PUEDE REPRODUCIRSE SIN AUTORIZACION

NORMA: Parámetros INVIMA (Pollo crudo)

**CONCEPTO: LA MUESTRA CUMPLE LAS ESPECIFICACIONES TECNICAS ESTABLECIDAS**

OBSERVACIONES: FECHA DE ANÁLISIS: OCTUBRE 15 DEL 2013



Fabio Anaya Payares  
Director Técnico

Cll 33 No. 20-29

Segundo Piso - Telefax: 642 42 96

Cel. 317 440 1537 - 313 355 5286 - Bucaramanga - labalime@hotmail.com

**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA**

Muestra No	22897
Muestra	MUSLO DE POLLO ( P7)
Empresa	JULIAN DAVID MURCIA PEÑA
Fecha de recepción (año-mes-día)	2013-09-27 00:00:00
Objeto del Análisis	Estudio de vida útil
Lugar de Recolección	Traída al laboratorio
Responsable del Muestreo	El solicitante

**RESULTADOS**

PARAMETRO	RESULTADO	LIM INFE.	LIM SUPE.	UNIDAD	TECNICA
Rcto de microorg mesófilos	4.900	Menos de 10	Sin límites establec	ufc/g	Rto en placa P.count
Rcto de coliformes totales	240	Menos de 3	Sin límites establec	mic/g	NMP
Rcto de coliformes fecales	Menos de 3	Menos de 3	1100	mic/g	NMP

NOTA : RESULTADO VALIDO SOLO PARA MUESTRA ANALIZADA Y NO PUEDE REPRODUCIRSE SIN AUTORIZACION

NORMA: Parámetros INVIMA (Pollo crudo)

**CONCEPTO: LA MUESTRA CUMPLE LAS ESPECIFICACIONES TECNICAS ESTABLECIDAS**

OBSERVACIONES: Muestra analizada Octubre 18 del 2013



Fabio Anaya Rayares  
Director Técnico

Cll 33 No. 20-29  
Segundo Piso - Telefax: 642 42 96  
Cel. 317 440 1537 - 313 355 5286 - Bucaramanga - labalime@hotmail.com

## **ANEXO H. MANUAL DEL USUARIO**