



ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA
DOSIFICADORA Y EMPACADORA CONTROLADA POR PLC
PARA LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE SNACKS DE LA
EMPRESA ECUAMEX S.A”**

**TESIS DE GRADO PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
MECATRÓNICO**

**MAURICIO FERNANDO IZA CASTRO
ALEX FRANCISCO MEDINA CARRILLO**

**DIRECTOR: ING. EDGAR TIPÁN
CODIRECTOR: ING. BORYS CULQUI**

Sangolquí, 2013 - 05

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DOSIFICADORA Y EMPACADORA CONTROLADA POR PLC PARA LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE SNACKS DE LA EMPRESA ECUAMEX S.A” fue realizado en su totalidad por Mauricio Fernando Iza Castro y Álex Francisco Medina Carrillo, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecatrónico.

Ing. Edgar Tipán

DIRECTOR

Ing. Borys Culqui

CODIRECTOR

Sangolquí, 2013-05

LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DOSIFICADORA Y
EMPACADORA CONTROLADA POR PLC PARA LA LÍNEA DE
PRODUCCIÓN DE SNACKS DE LA EMPRESA ECUAMEX S.A”**

ELABORADO POR:

Álex Medina C.

Mauricio Iza C.

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

Ing. Luis Echeverría
DIRECTOR DE CARRERA

Sangolquí, 2013-05

AUTORIZACIÓN

MAURICIO FERNANDO IZA CASTRO
ÁLEX FRANCISCO MEDINA CARRILLO

AUTORIZAMOS QUE:

La Escuela Politécnica del Ejército publique en la biblioteca virtual de la institución, la tesis de grado titulada “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DOSIFICADORA Y EMPACADORA CONTROLADA POR PLC PARA LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE SNACKS DE LA EMPRESA ECUAMEX S.A”, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad y autoría.

Mauricio Iza C.

Álex Medina C.

Sangolquí, 2013-05

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

MAURICIO FERNANDO IZA CASTRO
ÁLEX FRANCISCO MEDINA CARRILLO

DECLARAMOS QUE:

La tesis de grado titulada “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DOSIFICADORA Y EMPACADORA CONTROLADA POR PLC PARA LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE SNACKS DE LA EMPRESA ECUAMEX S.A” ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico de esta tesis de grado.

Mauricio Iza C.

Álex Medina C.

Sangolquí, 2013-05

DEDICATORIA 1

El presente proyecto es dedicado a mis padres Alicia y Fernando, quienes con todo su amor, preocupación y esfuerzo diario me han permitido alcanzar cada uno de los objetivos y sueños trazados en mi vida.

A mi familia en general quienes de alguna manera u otra contribuyeron con su apoyo incondicional y los deseos de éxito a lo largo de mi carrera profesional.

A mis compañeros de aula quienes compartieron el sacrificio, el esfuerzo y la constancia para obtener el más ansiado objetivo, mismo que sin su ayuda no lo estaría alcanzando.

Mauricio Fernando Iza Castro

DEDICATORIA 2

El presente trabajo se lo dedico primeramente a mis Padres, quienes siempre me han brindado su apoyo y comprensión en todas mis acciones y decisiones.

A toda mi familia, tíos, primos, abuelitos, quienes de alguna manera u otra me han dado un aliento para seguir esforzándome por conseguir las cosas que me propongo.

Finalmente a mis amigos y compañeros de la carrera con quienes compartí la mayor parte del tiempo y me acompañaron en todos esos momentos de trabajo y estudio.

Álex Francisco Medina Carrillo

AGRADECIMIENTO 1

A mi Dios, su bendición y compañía incondicional en esos momentos que más lo necesitaba, ha sido por él y su presencia en mi vida quien permitió fortalecer mi mente y espíritu en la búsqueda incansable para alcanzar mí meta personal y profesional.

Mis padres Fernando y Alicia, por darme la vida permitiéndome crecer como una persona rica en valores y responsabilidades necesarias para servir con excelencia a mi patria y a la sociedad que me rodea, así como un individuo listo y preparado para la toma de decisiones futuras a lo largo de mi vida.

A Andrés por ser la compañía y orgullo que todo hermano necesita.

Mis abuelos Pantaleón, Luis, Blanca e Inés ya que siempre han sido los pilares fundamentales en el camino de mi familia y de mi hogar, colmando de amor y de momentos gratos durante mi vida.

Mauricio Fernando Iza Castro

AGRADECIMIENTO 2

Agradezco a Dios por haberme brindado la oportunidad de seguir una carrera como esta y porque siempre está a mi lado en cada paso que doy.

A mis Padres por haberme guiado y enseñado durante todos estos años los caminos y direcciones que debo seguir para formarme primeramente como persona y luego como profesional.

A mi familia por darme su apoyo durante todo este duro proceso para llegar al objetivo que me he planteado.

Álex Francisco Medina Carrillo

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO	II
LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO	III
AUTORIZACIÓN	IV
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	V
DEDICATORIA 1.....	VI
DEDICATORIA 2.....	VII
AGRADECIMIENTO 1	VIII
AGRADECIMIENTO 2	IX
ÍNDICE DE CONTENIDOS	X
ÍNDICE DE TABLAS	XVI
ÍNDICE DE FIGURAS	XVIII
ÍNDICE DE ANEXOS	XXIII
RESUMEN EJECUTIVO	XXIV

CAPÍTULO I DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 OBJETIVOS	2
1.2.1. OBJETIVO GENERAL.....	2
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	3
1.4 ÁREA DE INFLUENCIA	4

CAPÍTULO II ESTUDIO DE LOS SISTEMAS DE EMPACADO

2.1 MÁQUINAS EMPACADORAS	5
2.1.1. EMPACADORAS MANUALES	6
2.1.2. EMPACADORAS SEMIAUTOMÁTICAS	7
2.1.3. EMPACADORAS AUTOMÁTICAS	8
2.2 SISTEMAS DE DOSIFICACIÓN	9
2.2.1. DOSIFICACIÓN VOLUMÉTRICA	9
2.2.2. DOSIFICACIÓN MEDIANTE TORNILLO SIN FIN.....	9

2.2.3. DOSIFICACIÓN POR PESO	10
2.3 SISTEMAS DE SELLADO.....	10
2.4 FORMADORES.....	12
2.5 SISTEMAS DE GUIADO Y ARRASTRE	13
2.5.1. POR MORDAZAS.....	13
2.5.2. POR RODILLOS.....	14
2.5.3. POR CORREAS DE DESLIZAMIENTO	15
2.6 SISTEMA DE CONTROL DE LAS EMPACADORAS.....	15
2.6.1. POR CONTACTORES.....	15
2.6.2. POR MICROCONTROLADORES	16
2.6.3. POR CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE.....	16
2.7 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS.....	17
2.7.1. CUADROS COMPARATIVOS DE LAS ALTERNATIVAS	18
2.7.1.1. Sistema de Dosificación	18
2.7.1.2. Sistema de Formación del Empaque	20
2.7.1.3. Sistema de Guiado y Arrastre	21
2.7.1.4. Sistema de Sellado	23
2.7.1.5. Sistema de Control.....	25
2.7.2. PARÁMETROS DE EVALUACIÓN.....	27
2.7.2.1. Costo.....	27
2.7.2.2. Versatilidad	27
2.7.2.3. Facilidad de Control	27
2.7.2.4. Manufactura	28
2.7.2.5. Mantenimiento.....	28
2.7.3. PONDERACIÓN DE ALTERNATIVAS	28
2.7.4. CONCLUSIONES SELECCIÓN TIPO DE DISEÑO	30

CAPÍTULO III REQUISITOS Y RESTRICCIONES DE LA MÁQUINA

3.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	31
3.2. ESTUDIO DE MERCADO	31
3.3. RESTRICCIONES Y LIMITACIONES	31
3.4. ESPECIFICACIONES	32
3.4.1. PARÁMETROS FUNCIONALES	32

3.4.2. DIMENSIONES.....	32
3.4.3. MATERIALES Y ACABADOS.....	32
3.4.4. CONTROL	33
3.4.5. AMBIENTE DE TRABAJO	33
3.5. ASPECTOS LEGALES	33

CAPÍTULO IV DISEÑO

4.1. SISTEMA MECÁNICO	34
4.1.1. FACTOR DE SEGURIDAD.....	34
4.1.2. SISTEMA DE FORMACIÓN DE LA FUNDA.....	36
4.1.2.1. Formador.....	36
4.1.2.2. Placa Soporte del Formador	39
4.1.2.3. Ducto de Alimentación	44
4.1.3. SISTEMA DE CORTE	49
4.1.3.1. Mecanismo de Corte	49
4.1.3.2. Selección del Pistón de Corte	52
4.1.4. SISTEMA DE SELLADO.....	53
4.1.4.1. Sellado Horizontal	53
4.1.4.1.1. Mordazas de sellado horizontal	53
4.1.4.1.2. Placa soporte mordaza exterior	54
4.1.4.1.3. Placa soporte mordaza interior	59
4.1.4.1.4. Selección del pistón de sellado horizontal	63
4.1.4.1.5. Placa soporte del pistón de sellado horizontal	65
4.1.4.1.6. Guías y Apoyos de Ejes Horizontales.....	69
4.1.4.1.7. Placa Central	71
4.1.4.2. Sellado Vertical	72
4.1.4.2.1. Mordaza de sellado vertical	72
4.1.4.2.2. Placa soporte mordaza de sellado vertical	73
4.1.4.2.3. Selección del pistón de sellado vertical	78
4.1.4.3. Diseño del Aislante Térmico para el Sellado.....	78
4.1.5. SISTEMA DE GUIADO Y ARRASTRE	81
4.1.5.1. Guiado del Plástico	82
4.1.5.2. Mecanismo de Freno	82

4.1.5.3.	Soporte Porta Bobinas	85
4.1.5.4.	Mecanismo Transformador	89
4.1.5.5.	Selección de Motor	95
4.1.5.6.	Sistema de Transmisión.....	96
4.1.5.6.1.	Caja de reducción	96
4.1.5.6.2.	Diseño de la cadena de trasmisión	97
4.1.6.	SISTEMA DE DOSIFICACIÓN	99
4.1.6.1.	Dosificación por Volumen.....	99
4.1.6.1.1.	Tolva de Alimentación.....	100
4.1.6.1.2.	Vasos Telescópicos	101
4.1.6.2.	Dosificación por Peso.....	102
4.1.6.2.1.	Balanza	103
4.1.6.2.2.	Selección del pistón de apertura de la balanza.....	104
4.1.7.	DISEÑO DEL BASTIDOR.....	104
4.1.7.1.	Apoyos de la Estructura	106
4.1.8.	ELABORACIÓN DE PLANOS.....	107
4.2.	SISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO	108
4.2.1.	SELECCIÓN DE ELEMENTOS ELÉCTRICOS	108
4.2.2.	ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA.....	110
4.2.3.	DISTRIBUCIÓN DEL ARMARIO ELÉCTRICO	111
4.2.3.1.	Planos Eléctricos.....	112
4.2.4.	DISEÑO ELECTRÓNICO PARA DOSIFICACIÓN POR PESO....	112
4.2.4.1.	Descripción	112
4.2.4.2.	Diseño de Acondicionamiento de Señal.....	113
4.2.4.3.	Programa PIC	114
4.3.	SISTEMA NEUMÁTICO	117
4.3.1.	DISTRIBUIDOR REGULADOR DE FLUJO	117
4.3.2.	ELECTROVÁLVULAS	117
4.3.3.	SILENCIADOR	118
4.3.4.	FILTRO DE AIRE.....	118
4.3.5.	MANÓMETROS.....	118
4.3.6.	DIAGRAMAS DE DISTRIBUCIÓN NEUMÁTICA.....	119
4.3.6.1.	Sistema Dosificación Volumétrica	119

4.3.6.2. Sistema de Dosificación por Peso.....	120
4.4. SISTEMA DE CONTROL	121
4.4.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.....	121
4.4.2. SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE CONTROL.....	121
4.4.2.1. Sensores	121
4.4.2.2. Controlador Lógico Programable	123
4.4.2.3. Variador de Frecuencia	124
4.4.3. PROGRAMACIÓN DEL PLC	126
4.4.3.1. Secuencia de Funcionamiento de la Máquina.....	126
4.4.3.2. Asignación de Variables de Control	127
4.4.3.3. Programa Ladder	129
4.5. TIEMPOS TOTALES DE INGENIERÍA Y DISEÑO	133

CAPÍTULO V CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

5.1. PROCESOS DE FABRICACIÓN.....	134
5.1.1. DIAGRAMAS DE PROCESOS DE FABRICACIÓN.....	135
5.1.2. OPERACIONES TECNOLÓGICAS	145
5.1.3. TIEMPOS DE FABRICACIÓN	145
5.2. MONTAJE	147
5.2.1. TIEMPOS TOTALES DE CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE	147
5.3. PROTOCOLO DE PRUEBAS	148
5.3.1. PRUEBAS DIMENSIONALES	148
5.3.2.1. Pruebas en Vacío.....	150
5.3.2.1.1. Ensamblaje	150
5.3.2.1.2. Formación del empaque	151
5.3.2.1.3. Arrastre del material de empaque.....	151
5.3.2.1.4. Sellado y Corte	151
5.3.2.2. Pruebas con Carga	152
5.3.2.2.1. Dosificación.....	152
5.3.2.2.2. Sellado	152
5.3.2.2.3. Rendimiento.....	152
5.3.3. REGISTRO DE PROTOCOLO DE PRUEBAS	154

CAPÍTULO VI ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO

6.1. COSTOS	156
6.1.1. COSTOS DIRECTOS	156
6.1.1.1. Costos de Fabricación.....	156
6.1.2. COSTOS INDIRECTOS.....	162
6.1.3. COSTOS TOTALES	163
6.2. EVALUACIÓN FINANCIERA.....	164
6.2.1. VALOR ACTUAL NETO (VAN).....	164
6.2.1.1. Cálculo del Beneficio Neto (BNt).....	164
6.2.1.2. Cálculo del VAN	165
6.2.2. TASA INTERNA DE RETORNO (TIR).....	166

CAPÍTULO VII CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. CONCLUSIONES.....	167
7.2. RECOMENDACIONES	168

BIBLIOGRAFÍA	169
---------------------------	------------

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Métodos de Sellado	12
Tabla 2.2. Alternativas de Dosificación.....	18
Tabla 2.3. Alternativas de Formación de Empaque	20
Tabla 2.4. Alternativas de Guiado y Arrastre.....	21
Tabla 2.5. Alternativas de Sellado.....	23
Tabla 2.6. Alternativas de Control.....	25
Tabla 2.7. Evaluación Alternativas de Dosificación.....	28
Tabla 2.8. Evaluación Alternativas de Formación de Empaque.....	29
Tabla 2.9. Evaluación Alternativas de Guiado y Arrastre.....	29
Tabla 2.10. Evaluación Alternativas de Sellado.....	29
Tabla 2.11. Evaluación Alternativas de Control.....	30
Tabla 4.1. Factores de Seguridad Utilizados.....	36
Tabla 4.2. Resumen Factor de Seguridad de la Placa Soporte del Formador.....	43
Tabla 4.3. Resumen Factor de Seguridad del Tubo de Alimentación.....	49
Tabla 4.4. Resumen Factor de Seguridad de la Placa Soporte de la Mordaza Exterior.....	59
Tabla 4.5. Resumen Factor de Seguridad de la Placa Soporte de la Mordaza Interior.....	63
Tabla 4.6. Resumen Factor de Seguridad de la Placa Soporte del Pistón de Sellado Horizontal.....	69
Tabla 4.7. Resumen Factor de Seguridad de la Placa Soporte de la Mordaza de Sellado Vertical.....	77
Tabla 4.8. Resumen Factor de Seguridad del Soporte Porta Bobinas.....	89
Tabla 4.9. Cordón de Soldadura para Placas Gruesas.....	105
Tabla 4.10. Pesos de los Sistemas de la Máquina Empacadora.....	106
Tabla 4.11. Alimentación Eléctrica de los Componentes.....	108
Tabla 4.12. Asignación de las Variables de Control para el PLC.....	125
Tabla 5.1. Principales Operaciones Tecnológicas Utilizadas.....	142
Tabla 5.2. Tiempos de Fabricación de los Sistemas de la Empacadora.....	143
Tabla 5.3. Tiempo Totales de Construcción y Montaje.....	145

Tabla 5.4. Inspección Dimensional.....	147
Tabla 5.5. Pruebas de Rendimiento.....	153
Tabla 5.6. Hoja de Protocolo de Pruebas.....	154
Tabla 6.1. Costos de Materiales Directos.....	159
Tabla 6.2. Costos de Fabricación y Ensamblaje.....	161
Tabla 6.3. Costos de Elementos y Accesorios.....	162
Tabla 6.4. Costos de Materiales Indirectos.....	162
Tabla 6.5. Costo de Mano de Obra Indirecta.....	163
Tabla 6.6. Costos Operativos.....	163
Tabla 6.7. Costos Totales.....	163
Tabla 6.8. Costos de Producción Anual.....	165
Tabla 6.9. Cálculo del VAN.....	165
Tabla 6.10. Cálculo del TIR.....	166

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Empacadora Vertical.....	5
Figura 2.2. Empacadora Horizontal.....	6
Figura 2.3. Empacadora Manual.....	7
Figura 2.4. Empacadora Semiautomática.....	7
Figura 2.5. Empacadora Automática.....	8
Figura 2.6. Dosificador Volumétrico.....	9
Figura 2.7. Dosificador de Tornillo.....	9
Figura 2.8. Dosificador Por Peso.....	10
Figura 2.9. Formador de Cuello Circular.....	12
Figura 2.10. Formador de Cuello Rectangular.....	13
Figura 2.11. Sistema de Arrastre por mordazas.....	14
Figura 2.12. Sistema de Arrastre por Rodillos.....	14
Figura 2.13. Sistema de Arrastre por Correas de Deslizamiento.....	15
Figura 4.1. Esquema General de la Empacadora.....	34
Figura 4.2. Geometría Base del Formador.....	37
Figura 4.3. Doblado de la lámina cortada de la Base del Formador.....	37
Figura 4.4. Geometría de inclinación de la Tapa del Formador.....	38
Figura 4.5. Geometría de la Capa del Formador.....	38
Figura 4.6. Ensamblaje del Formador.....	40
Figura 4.7. Diagrama de Fuerzas en la Placa Soporte del Formador.....	40
Figura 4.8. Gráficas de Fuerza Cortante y Momento Flector de la placa Soporte del Formador.....	41
Figura 4.9. Simulación del Límite Elástico de la Placa Soporte del Formador.....	42
Figura 4.10. Simulación del Desplazamiento de la Placa Soporte del Formador.....	43
Figura 4.11. Simulación del Factor de Seguridad de la Placa Soporte del Formador.....	43
Figura 4.12. Ensamblaje del Formador con el Tubo de Alimentación.....	44
Figura 4.13. Diagrama de Fuerzas del Tubo de Alimentación.....	45

Figura 4.14. Gráficas de Fuerza Cortante y Momento Flector del Tubo de Alimentación.....	46
Figura 4.15. Simulación del Límite Elástico del Tubo de Alimentación.....	47
Figura 4.16. Simulación del Desplazamiento del Tubo de Alimentación.....	48
Figura 4.17. Simulación del Factor de Seguridad del Tubo de Alimentación... ..	48
Figura 4.18. Mecanismo de Corte Posición 1.....	50
Figura 4.19. Mecanismo de Corte Posición 2.....	50
Figura 4.20. Geometría de la Distancia Horizontal recorrida por las Cuchillas.....	51
Figura 4.21. Dimensionamiento de la Cuchilla.....	52
Figura 4.22. Pistón Acoplado al Mecanismo de Corte.....	52
Figura 4.23. Longitud de la Mordaza Horizontal.....	53
Figura 4.24. Distribución de la Altura de la Mordaza Horizontal.....	54
Figura 4.25. Dibujo Isométrico de la Mordaza Horizontal.....	54
Figura 4.26. Dimensionamiento de la Placa Soporte de la Mordaza Exterior... ..	55
Figura 4.27. Diagrama de Fuerza de la Placa Soporte de la Mordaza Exterior.....	56
Figura 4.28. Diagrama de Fuerza Cortante y Momento Flector de la Placa Soporte de la Mordaza Exterior.....	56
Figura 4.29. Simulación del Límite Elástico de la Placa Soporte de la Mordaza Exterior.....	58
Figura 4.30. Simulación del Desplazamiento de la Placa Soporte de la Mordaza Exterior.....	58
Figura 4.31. Simulación del Factor de Seguridad de la Placa Soporte de la Mordaza Exterior.....	58
Figura 4.32. Dimensionamiento de la Placa Soporte de la Mordaza Interior....	59
Figura 4.33. Diagrama de Fuerza de la Placa Soporte de la Mordaza Exterior.....	60
Figura 4.34. Diagrama de Fuerza Cortante y Momento Flector de la Placa Soporte de la Mordaza Exterior.....	60
Figura 4.35. Simulación del Límite Elástico de la Placa Soporte de la Mordaza Exterior.....	62
Figura 4.36. Simulación del Desplazamiento de la Placa Soporte de la Mordaza Exterior.....	62

Figura 4.37. Simulación del Factor de Seguridad de la Placa Soporte de la Mordaza Exterior.....	62
Figura 4.38. Pistón acoplado al sistema de sellado horizontal.....	63
Figura 4.39. Diagrama de bloques simplificado para el sistema de sellado Horizontal.....	64
Figura 4.40. Placa soporte del pistón de sellado horizontal.....	65
Figura 4.41. Diagrama de fuerzas de la placa soporte del pistón de sellado horizontal.....	66
Figura 4.42. Diagramas de fuerza cortante y momento flector de la placa soporte del pistón horizontal.....	66
Figura 4.43. Simulación del límite elástico de la placa Soporte del pistón de Sellado Horizontal.....	68
Figura 4.44. Simulación del desplazamiento de la placa Soporte del pistón de Sellado Horizontal.....	68
Figura 4.45. Simulación del Factor de Seguridad de la Placa Soporte del pistón de Sellado Horizontal.....	69
Figura 4.46. Dimensionamiento del apoyo de ejes Horizontales (Vista Frontal).....	70
Figura 4.47. Dimensionamiento del apoyo de ejes Horizontales (Vista Lateral).....	70
Figura 4.48. Isometría de la placa Central.....	71
Figura 4.49. Dimensionamiento de la Placa Central.....	71
Figura 4.50. Longitud de la Mordaza Vertical.....	72
Figura 4.51. Sección Transversal de la Mordaza Vertical.....	73
Figura 4.52. Isometría de la Mordaza Vertical.....	73
Figura 4.53 Dimensionamiento de la Placa Soporte de la Mordaza de Sellado Vertical.....	74
Figura 4.54. Diagramas de Fuerzas de la Placa Soporte de la Mordaza de Sellado Vertical.....	74
Figura 4.55. Diagramas de Fuerzas Cortante y Momento Flector de la Placa Soporte de la Mordaza de Sellado Vertical.....	75
Figura 4.56. Simulación de Límite Elástico de la Placa Soporte de la Mordaza de Sellado Vertical.....	76

Figura 4.57. Simulación del Desplazamiento de la Placa Soporte de la Mordaza de Sellado Vertical.....	77
Figura 4.58. Simulación del Factor de Seguridad de la Placa Soporte de la Mordaza de Sellado Vertical.....	77
Figura 4.59. Pistón de Sellado Vertical.....	78
Figura 4.60. Aislamiento térmico para el Sellado.....	79
Figura 4.61. Trayectoria de Guiado del Plástico.....	82
Figura 4.62. Freno por Banda.....	83
Figura 4.63. Diagrama de Cuerpo Libre del mecanismo de Frenado.....	84
Figura 4.64. Diagrama de Cuerpo Libre de la Palanca de Freno.....	84
Figura 4.65. Detalla Soporte Porta Bobinas.....	85
Figura 4.66. Diagrama de Fuerzas del Soporte Porta Bobinas.....	86
Figura 4.67. Diagramas de Fuerza Cortante y Momento Flector del Soporte Porta Bobinas.....	86
Figura 4.68. Simulación del Límite Elástico del Soporte Porta Bobinas.....	88
Figura 4.69. Simulación del Desplazamiento del Soporte Porta Bobinas.....	88
Figura 4.70. Simulación del Factor de Seguridad del Soporte Porta Bobinas.....	89
Figura 4.71. Mecanismo Transformador.....	90
Figura 4.72. Ubicación del Mecanismo Transformador.....	90
Figura 4.73. Diagrama Vectorial del Mecanismo Transformador.....	91
Figura 4.74. Desplazamiento del Eslabón de Salida en Función del ángulo de Entrada.....	92
Figura 4.75. Ángulo del Eslabón de Salida en Función del ángulo de Entrada.....	93
Figura 4.76. Geometría del desplazamiento del Eslabón de Salida.....	93
Figura 4.77. Dimensionamiento del Eslabón de Salida.....	94
Figura 4.78. Ensamblaje del Mecanismo Transformador.....	94
Figura 4.79. Motor Jaula de Ardilla.....	95
Figura 4.80. Caja de Reducción.....	96
Figura 4.81. Sistema de Transmisión.....	98
Figura 4.82. Sistema de Dosificación por Volumen.....	99
Figura 4.83. Dimensionamiento de la Tola de Alimentación.....	100
Figura 4.84. Dimensionamiento de la altura de los Vasos Telescópicos.....	102
Figura 4.85. Sistema de Dosificación pro Peso.....	102

Figura 4.86. Balanza Ensamblada a la Celda de Carga.....	103
Figura 4.87. Dimensionamiento de la Balanza.....	103
Figura 4.88. Ubicación del Pistón de Apertura de la Balanza.....	104
Figura 4.89. Esquema de la Estructura Metálica.....	105
Figura 4.90. Detalle del Pie de Apoyo.....	106
Figura 4.91. Resistencia tipo cartucho de alta concentración.....	108
Figura 4.92. Control de Temperatura.....	109
Figura 4.93. Relé de estado sólido.....	109
Figura 4.94. Distribución del Tablero Eléctrico.....	111
Figura 4.95. Diseño Electrónico Dosificación Por Peso.....	113
Figura 4.96. Distribuidor de Aire.....	117
Figura 4.97. Electroválvula Monoestable (AIRTAC) 5/2 con retorno de Muelle.....	118
Figura 4.98. Filtro de Aire.....	118
Figura 4.99. Manómetro Neumático.....	119
Figura 4.100. Diagrama de Distribución Neumática Dosificación Volumétrica.....	119
Figura 4.101. Diagrama de Distribución Neumática Dosificación por Peso.....	120
Figura 4.102. Acople Sensor Inductivo.....	122
Figura 4.103. Sensor Inductivo de proximidad Industrial.....	122
Figura 4.104. Celda de Carga	122
Figura 4.105. Selección del PLC.....	123
Figura 4.106. PLC MITSUBISHI FX1S-30MR.....	124
Figura 4.107. Selección del Variador de Frecuencia.....	125
Figura 5.1. Esquema Básico de un Proceso de Fabricación.....	134

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A PROPIEDADES DE LAS ÁREAS
- ANEXO B MOTORES DE APLICACIÓN GENERAL EN HIERRO FUNDIDO
- ANEXO C TABLA DE MÁXIMA TRANSFERENCIA DE CALOR PERMISIBLE
- ANEXO D FACTORES DE SERVICIO PARA TRANSMISIONES POR CADENA Y POTENCIA NOMINAL PARA CADENAS
- ANEXO E PROPIEDADES MECÁNICAS PERTINENTES AL PERNO MÉTRICO
- ANEXO F PLANOS ELÉCTRICOS
- ANEXO G EMERSON COMMANDER SK
- ANEXO H ESPECIFICACIONES TÉCNICAS CILINDROS NEUMÁTICOS
- ANEXO I ESPECIFICACIONES ELEMENTOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS
- ANEXO J MANUAL DE OPERACIÓN
- ANEXO K PLANOS DE CONTRUCCIÓN
- ANEXO L CARTA DE CONFORMIDAD

RESUMEN EJECUTIVO

El presente proyecto desarrolla el diseño y la construcción de una máquina dosificadora y empacadora de snacks para la línea de producción de la empresa ECUAMEX S.A.

Esta dispuesto de siete capítulos. El primero se enfoca en aspectos generales como objetivos, justificación, alcance y área de influencia del proyecto.

El segundo capítulo presenta un estudio de los sistemas de empacado donde se especifica la clasificación de cada uno de ellos así como el tipo de control usado para gobernarlos. Se evalúa cada una de las alternativas y posibilidades planteadas mediante aspectos como costo, versatilidad, manufactura, facilidad de control y mantenimiento.

El tercer capítulo define los requisitos y restricciones de la máquina solicitadas por la empresa ECUAMEX S.A. para su posterior diseño y construcción.

En el cuarto capítulo se diseña cada uno de los sistemas mecánicos, eléctricos, electrónicos, neumáticos y de control que componen la máquina empacadora, dimensionando y simulando el comportamiento de cada una de las piezas. Se seleccionan los elementos y accesorios electrónicos, neumáticos y de control a utilizar, así como la programación del PLC.

El capítulo cinco muestra los procesos de fabricación para la construcción y ensamblaje de la empacadora junto con los protocolos a seguir para las pruebas de funcionamiento.

Los costos directos, indirectos y globales del proyecto son evidenciados en el capítulo seis. Finalmente el capítulo siete corresponde a las conclusiones y recomendaciones del presente trabajo.

CAPÍTULO I

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad las máquinas empacadoras han evolucionado enormemente, tanto en su construcción y funcionalidad como en su capacidad de producción.

Las máquinas empacadoras cumplen un papel primordial dentro de la línea industrial alimenticia, dependiendo de su diseño y su rendimiento son las encargadas de realizar la presentación y producción final del producto que estará en el mercado para su uso.

Se han implementado nuevos conceptos de control y diseño industrial dentro de las máquinas conservando el mismo principio de dosificación y sellado fundamental que cumple toda empacadora de productos, la mejoría se denota en los instrumentos y complementos que usan para llevar a cabo dichas funciones, ya sean sensores inductivos, capacitivos, fotoceldas, etc. Sensores que en general son más precisos con mejores tiempos de respuesta ante los eventos que sucedan durante el proceso. Sin embargo una notable diferencia es la modernización en la manera de control de la máquina, incorporando nuevas técnicas y dispositivos de control, más efectivos y eficientes, que han hecho que las máquinas sean más competitivas entre unas y otras.

Las técnicas de diseño para la elaboración de maquinaria también ha dado un giro monumental al momento de realizar prototipos, modificaciones, mejorar tiempos, pesos, trabajos innecesarios, y sobre todo funcionalidades que realizaba la máquina primitiva para Empacar, se ha mejorado la técnica de estudios de esfuerzos, análisis de flexiones, transmisiones de movimiento, sistemas de freno y lo más importante los sistemas de sellado y los sistemas de dosificación.

El uso y desarrollo de la tecnología ha permitido que las máquinas brinden un mejor trabajo y aumente la productividad de la industria alimenticia, de esta manera se han logrado alcanzar los objetivos y metas de cada una de las empresas que participan en este ámbito industrial. Por tal motivo el presente trabajo contiene una idea innovadora que permita realizar el diseño de una empacadora cuya dosificación sea tanto por volumen como por peso, mediante la implementación de un armazón móvil que contenga los dos tipos de pesaje, claro está que la máquina también tendrá una programación interna para elección de cualquiera de los dos procesos a realizar, optimizando así recursos económicos, físicos y tiempo de fabricación.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir una empacadora automática para la línea de producción de snacks de la empresa ECUAMEX S.A.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Construir una empacadora de alta productividad que cumpla con los requerimientos de la empresa ECUAMEX S.A, eficiente práctica y económica.
- Realizar el control del funcionamiento de la empacadora automática en su totalidad mediante la implementación de un PLC industrial.
- Obtener un máximo rendimiento en la producción de snacks, minimizando los errores en las mediciones de peso por producto.
- Diseñar y programar la máquina para que funcione tanto para una dosificación por peso así como por volumen.

- Realizar pruebas de funcionamiento que muestren un correcto desempeño de la máquina
- Desarrollar planos de la empacadora automática para respaldo de la empresa ECUAMEX S.A, para futuros proyectos.

1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

En la última década, el sector industrial alimenticio ha tenido un crecimiento enorme en sus líneas de producción, incorporando máquinas y maquinaria de alta productividad, alcanzando los estándares de calidad que el mercado demanda, satisfaciendo la necesidad de los clientes. Máquinas automatizadas que llevan un control estricto en proporciones, niveles, cantidades y dimensiones para la elaboración de un determinado producto.

Provocando que varias empresas del medio intenten adquirir equipos dimensionados y calibrados acordes a su tipo de producción, invirtiendo grandes cantidades de dinero para financiar el diseño y la construcción de máquinas que satisfagan sus necesidades.

ECUAMEX S.A con el fin de estar a nivel de la competencia, mejorar su producción, llevar un control cualitativo y cuantitativo de su producto, verificar que el producto se elabore bajo las normas de producción en nuestro país, decide invertir en el diseño y elaboración de una empacadora automatizada de Snacks para incorporarla en su línea de producción, esperando así elevar su rendimiento como empresa y estar a la altura del mercado demandante actual.

La empacadora ocupará el eslabón final dentro de la línea de producción de Snacks de ECUAMEX S.A, la máquina tendrá que censar la cantidad que transportará cada unidad, así como su empacado, sellado y corte final para obtener el producto que estará listo para ser adquirido por el consumidor.

Contará con un diseño innovador, mismo que realizará la dosificación de dos maneras, volumétrica y por peso, dependiendo de las exigencias de la empresa, reduciendo costos de construcción, mano de obra, tiempos de fabricación y espacio físico.

1.4 ÁREA DE INFLUENCIA

ECUAMEX S.A. mediante la inversión en el presente proyecto estima obtener un máximo rendimiento en su producción, mejorando el control de su producto, en cantidad, presentación, elaboración y sobre todo en la calidad del mismo que se va a comercializar en el mercado. El diseño esta direccionado en la prevención y reducción de errores que puedan ocurrir en la medición de la cantidad por unidad del producto, mediante el control efectivo en la dosificación así como en los tiempos de empacado y sellado del producto.

Un correcto empacado al final de la línea productiva mejora la eficiencia en la velocidad de producción. Cumpliendo con los requerimientos de ECUAMEX S.A se fabricarán más máquinas para su comercialización.

CAPÍTULO II

ESTUDIO DE LOS SISTEMAS DE EMPACADO

2.1 MÁQUINAS EMPACADORAS

En la actualidad existen empacadoras de tipo manual, semiautomático y automático, siendo esta última la que mayores prestaciones presenta en el mercado, dado que cuentan con funciones incorporadas que facilitan su operatividad y mantenimiento.

Existiendo dos formas de operación para la empacadora siendo estas verticales y horizontales como se observan en las Fig.2.1 y 2.2. Vertical indica la dirección principal de avance del material durante el proceso, este tipo de máquina comúnmente se la utiliza para empacar granos o polvos aprovechando la caída del producto para alimentar las fundas.

Para la dosificación se cuenta con 3 tipos: volumétrica, tornillos sin fin y por pesaje, su aplicación dependerá del tipo de producto así como de la cantidad que se desee empacar.



Fig. 2.1 Empacadora Vertical¹

¹ news.directindustry.es

El empaque en una máquina horizontal es usado comúnmente para productos formados en una sola pieza de dimensiones no muy grandes que requieren cadencias altas y lotes homogéneos, como por ejemplo barras de chocolate, galletas, jabones, helados, etc.

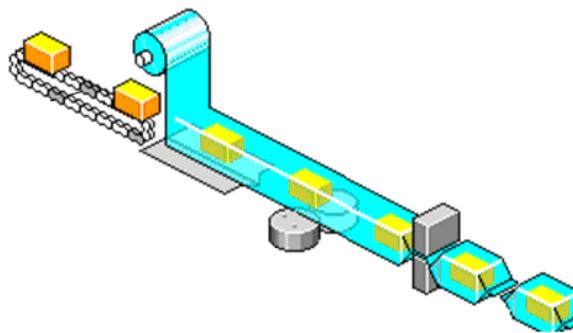


Fig. 2.2 Empacadora Horizontal²

2.1.1. EMPACADORAS MANUALES

Son de las primeras utilizadas en las líneas de producción, cuya eficiencia estaba directamente relacionada con el trabajo y desenvolvimiento del operario, por tanto no satisfacía las exigencias del mercado en el que se competía.

Para este proceso se utilizaban selladores manuales como se muestra en la Figura 2.3, de las primeras lanzadas en el mercado, con un sistema básico de calentamiento por resistencia, y transferencia de calor, sin embargo muchos fabricantes han adaptado a este tipo de equipo mecanismos para agitar su uso, obteniendo resultados moderados en producción pero muy económicos.

² www.atc-ltd.co.uk/industrial.htm



Fig. 2.3 Empacadora Manual³

2.1.2. EMPACADORAS SEMIAUTOMÁTICAS

Pequeñas y medianas empresas han adoptado un mecanismo de empaquetamiento en el cual interviene el trabajo humano en cooperación con el funcionamiento electromecánico de la empacadora (Fig. 2.4), tratando de obtener una línea de producción efectiva y barata.

Para este tipo de empacadoras se necesita un solo operador que realice las tareas de dosificación y empaque, obteniendo una velocidad de producción relacionada directamente con el trabajo y desempeño del operador.



Fig. 2.4 Empacadora Semiautomática⁴

³ www.selladorasyempacadoras.com

⁴ <http://www.ingesir.com.ar/odosvol.htm>

2.1.3. EMPACADORAS AUTOMÁTICAS

Combinan sistemas mecánicos, neumáticos, eléctricos y electrónicos gobernados por un sistema de control lógico programable (Fig. 2.5), para la producción elevada del empaquetamiento.

Los sistemas de control en los últimos años han mejorado notablemente permitiendo que las empacadoras evolucionen tanto en su diseño como en su funcionalidad, incorporando sistemas de mando autómatas, que realizan funciones complejas de procesos con la participación de sensores y actuadores.

Gracias a la automatización en el área de los procesos se ha logrado incrementar notablemente el control en la producción, así como elevar los estándares de calidad, prestando más facilidades para la producción. Necesitan la presencia de un solo operador que únicamente supervisa el funcionamiento de la máquina reduciendo así los costos de mano de obra.

Dentro de las distintas máquinas que existen en el mercado tenemos las de tipo vertical y las empacadoras Horizontales.



Fig. 2.5 Empacadora Automática⁵

⁵ www.famensal.com.sv

2.2 SISTEMAS DE DOSIFICACIÓN

2.2.1. DOSIFICACIÓN VOLUMÉTRICA

Es usada para trabajos con empacadoras semiautomáticas o directamente en empacadoras automáticas, se construyen en varios tamaños y modelos con vasos de acero inoxidable con capacidad regulable (Fig. 2.6). Es muy recomendable para procesos con polvos de fácil deslizamiento, granos (Moreno, 2010, p. 18)



Fig. 2.6 Dosificador Volumétrico⁶

2.2.2. DOSIFICACIÓN MEDIANTE TORNILLO SIN FIN

Como se muestra en la Figura 2.7, El tornillo sin fin es un removedor de giro independiente que se encarga de la dosificación evitando la aglomeración del producto. Se construyen en acero inoxidable y son ideales para dosificar polvos de difícil deslizamiento (Moreno, 2010, p. 19)

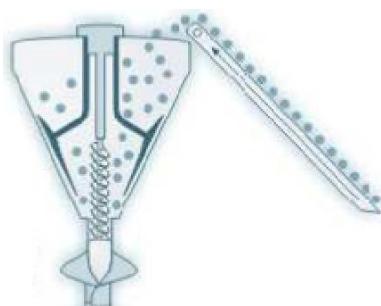


Fig. 2.7 Dosificador de Tornillo⁷

⁶ www.vescovoweb.com/tresCosturas.html

⁷ www.vescovoweb.com/tresCosturas.html

2.2.3. DOSIFICACIÓN POR PESO

Posee un alimentador a la celda de carga de forma vibratoria lo que evita la rotura del producto, el control del peso se lo realiza de forma digital mediante el uso de una entrada analógica de un microcontrolador, logrando de esta manera dosificaciones de alta precisión, estos dosificadores son ideales para trabajar con cualquier producto sólido o snacks de formas irregulares.

Se los utiliza en empacadoras automáticas junto con la configuración de varios cabezales o para realizar pequeñas producciones de forma semiautomática (Moreno, 2010, p. 20)

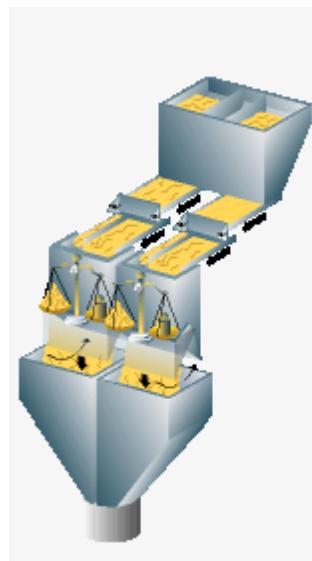


Fig. 2.8 Dosificador por Peso⁸

2.3 SISTEMAS DE SELLADO

Para efectuar el sellado del plástico varios sistemas utilizan calor y presión, los más usados son los que funcionan con resistencias eléctricas como fuentes de calor, sin embargo la ultra frecuencia y el aire caliente también son usados para este fin. A continuación se presenta un cuadro donde se

⁸ <http://www.icaspa.it/spagnolo/more007.htm>

muestra los distintos tipos de sistemas de sellado utilizados en la industria con sus ventajas y desventajas.

MÉTODOS DE SELLADO		
MÉTODO	DESCRIPCIÓN	APLICACIÓN
ULTRAFRECUENCIA	Consiste en colocar el termoplástico entre dos electrodos usándolo a manera de dieléctrico, es decir que a corrientes de alta frecuencia la fricción entre las moléculas que se trasladan de un lado a otro respondiendo a campo magnético producen el calor suficiente para fundir y sellar el termoplástico.	Comúnmente usado para sellar materiales como el cloruro de polivinilo (PVC)
GAS CALIENTE	Consiste en la unión de materiales plásticos donde estos son calentados por un chorro de aire o gas inerte previamente calentado.	Plásticos
MORDAZAS CALIENTES	Produce la unión de los materiales plásticos por presión y aporte de calor. La temperatura está dada por resistencias eléctricas colocadas dentro o fuera de la mordaza la cual debe ser fabricada con un buen conductor térmico. Para la medida de la temperatura se conecta un termopar a la mordaza y suministrando corriente a través de un control de temperatura.	Sellados plásticos como el Polipropileno
SELLO POR IMPULSO	La temperatura no permanece constante en la mordaza si no que únicamente se activa el instante en que se va a efectuar el movimiento de sellado. El sellado por impulso permite remover el calor rápidamente después del que el sello sea producido. La unión es más resistente y la apariencia es más homogénea.	Sellado fundas

METODOS DE SELLADO (Continuación)		
SELLO CORTO O CUCHILLA CALIENTE	<p>La unión se la hace fundiendo completamente los extremos de la bolsa mediante una mordaza afilada que por ser delgada y estar a una alta temperatura atravesará el plástico cortándolo y separándolo a la vez que ha sido sellado, si observamos este sello veremos que una pequeña contracción del material ocurre por efecto del calor sobre el plástico y en muchos casos determina la resistencia del sello.</p>	Plásticos

Tabla 2.1 Métodos de Sellado⁹

2.4 FORMADORES

Parte fundamental para el proceso de empacado es la correcta selección y diseño del tipo de formador que se va utilizar, tomando en cuenta parámetros como forma, tamaño y grosor de la funda. Se los construye de tal forma que el material de empaque ingrese por la zona posterior y se enrolle alrededor del conducto de alimentación formando un tubo continuo de material de empaque con un traslape que permite el sellado longitudinal. Son construidos de acero inoxidable en dos diseños: cuello circular (Fig. 2.9) y cuello rectangular (Fig. 2.10).

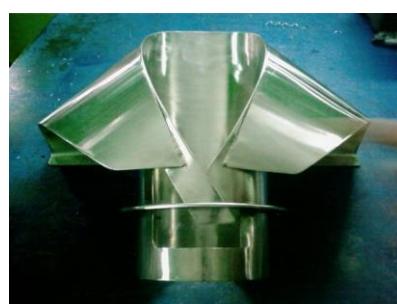


Fig. 2.9 Formador de Cuello Circular¹⁰

⁹ Moreno, 2010, p. 11-13

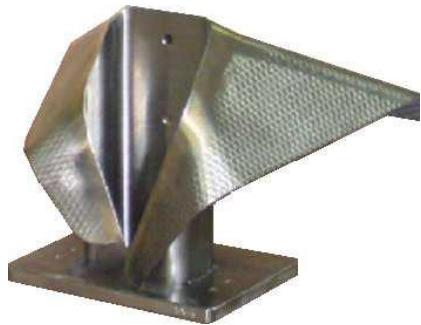


Fig. 2.10 Formador de Cuello Rectangular¹¹

2.5 SISTEMAS DE GUIADO Y ARRASTRE¹²

Generalmente las bobinas de papel se ubican en la parte posterior de la máquina de donde el material de empaque es guiado por una serie de rodillos hacia el formador, la ubicación de los rodillos depende del tipo de accesorios que se desee instalar teniendo como función fundamental mantener tenso el plástico de manera que no ocurran desalineaciones con respecto al formador. Para dicho fin existe un mecanismo de arrastre que ejerce una atracción en el material ocasionando que se deslice por el formador y que luego pueda producirse el sellado tanto vertical como horizontal generando una producción continua de empaques.

Existen tres tipos de mecanismos de arrastre: por mordazas, por rodillos y por correas de deslizamiento.

2.5.1. POR MORDAZAS

Como se muestra en la Fig. 2.11. El sistema dispone de un marco donde se instalan las mordazas las cuales se cierran en el punto superior del recorrido, presionando y sellado el material de empaque, en ese momento el

¹⁰ www.interpresas.net

¹¹ www.bagforming.com

¹² Moreno, 2010, p. 78-80

carrete se desplaza hacia abajo guiado por unos ejes verticales y arrastrando el plástico. Cuando llega al punto inferior donde se produce la dosificación del producto y el corte de la bolsa las mordazas se abren permitiendo que el carrete suba para comenzar un nuevo ciclo.

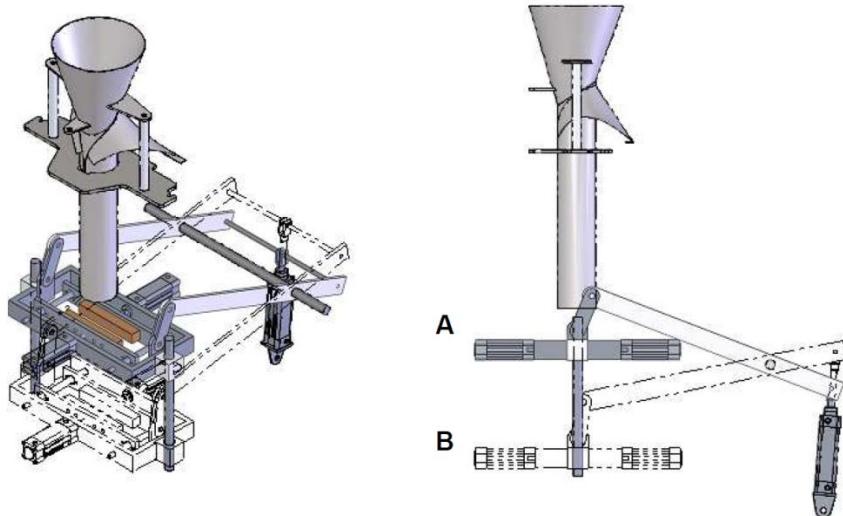


Fig. 2.11 Sistema de Arrastre por Mordazas¹³

2.5.2. POR RODILLOS

Un sistema de rodillos vulcanizados (capa de poliuretano o silicona en todo el perímetro del rodillo) los mismos que se encuentran ubicados a la izquierda y a la derecha del tubo de alimentación, arrastran el material de empaque después de pasar por el formador. El giro de los rodillos se da por la acción de dos motores de paso, uno por cada rodillo (Fig. 2.12).

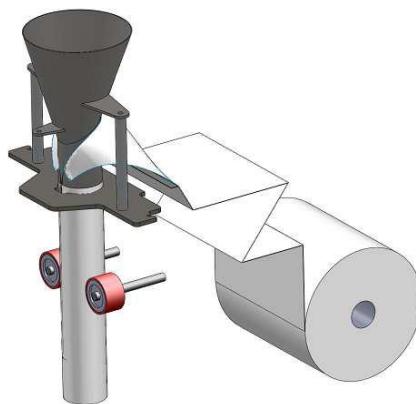


Fig. 2.12 Sistema de Arrastre por Rodillos¹⁴

¹³ Diseño de una máquina empacadora, dosificadora y selladora de fundas para arroz. Eduardo Moreno EPN 2010

2.5.3. POR CORREAS DE DESLIZAMIENTO

Posee un funcionamiento similar al de arrastre por rodillos, el giro de los rodillos se da por la acción de un sistema motriz, el cual debe ser accionado por un variador de velocidad para controlar la aceleración y desaceleración del plástico, o a su vez deberá contar con un freno de embrague de accionamiento electromagnético que le permita arrastrar el plástico y pararlo suavemente con el fin de no dañarlo (Fig. 2.13).

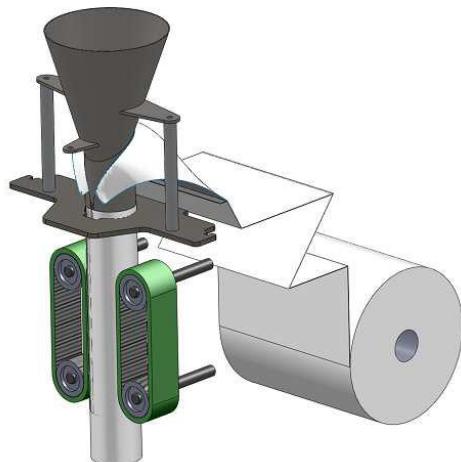


Fig. 2.13 Sistema de Arrastre por Correas de Deslizamiento¹⁵

2.6 SISTEMA DE CONTROL DE LAS EMPACADORAS

Para el correcto funcionamiento de la empacadora se requiere de un sistema de control, el cual gobernará de forma coordinada los sistemas de dosificación, sellado y corte. Para realizar dicho control en la industria se cuenta con tres alternativas.

2.6.1. POR CONTACTORES

Las primeras empacadoras utilizaban este tipo de control, mismo que estaba restringido a futuras modificaciones, contaba con elementos de control eléctricos básicos como timers, switch, relays, fusibles, etc. A esto se sumaba

¹⁴ Diseño de una máquina empacadora, dosificadora y selladora de fundas para arroz. Eduardo Moreno EPN 2010

¹⁵ Diseño de una máquina empacadora, dosificadora y selladora de fundas para arroz. Eduardo Moreno EPN 2010

el cableado, ocupando mucho espacio físico, ocasionando contratiempos al momento de corregir un mal funcionamiento de la empacadora.

Uno de los inconvenientes para el control de una empacadora es el posicionamiento del sellado, para este caso se lo realizaba con la utilización de intervalos de tiempo, sin tener una gran efectividad al momento de aumentar o disminuir la frecuencia de trabajo.

2.6.2. POR MICROCONTROLADORES

A diferencia del control por contactores los microcontroladores son diseñados para reducir el costo económico y el consumo de energía de un sistema particular, así como también el ahorro en el cableado.

Para el control de los procesos de la empacadora mediante el microcontrolador se realiza un conjunto lógico de funciones, mismas que gobernarán la máquina. Unos de los inconvenientes en este tipo de control son las pequeñas corrientes con las que trabaja el microcontrolador, por lo que es indispensable el uso de relés de estado sólido.

2.6.3. POR CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE

Una de las prestaciones más actuales en la industria para el realizar el control de las empacadoras es el uso de los PLC's que han sido diseñados exclusivamente para programar y controlar procesos secuenciales en tiempo real. Su costo tiende a ser moderado para sus grandes aplicaciones y suplantan completamente a la lógica cableada.

A través de los dispositivos de entrada, formado por los sensores de la empacadora, conjuntamente con la lógica digital programada de la secuencia del proceso, se envía respuestas a través de los dispositivos de salida que en este caso son los actuadores de los sistemas de dosificación, corte y sellado.

Una de las ventajas de este tipo de control, es la optimización del tiempo para la puesta en funcionamiento del proceso al quedar reducido el tiempo de cableado.

El PLC presenta facilidad para incorporar una interfaz hombre máquina, mediante sus protocolos de comunicación. Además presenta versatilidad para gobernar varias máquinas al mismo tiempo mediante la comunicación en red con otros autómatas.

2.7 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

Se tomará en consideración las diferentes posibilidades que existen para cada uno de los sistemas de dosificación, sellado, corte y formación del papel que intervienen en la empacadora, basándose en las ventajas y desventajas que presentan cada una de ellas y las prestaciones que puedan dar.

2.7.1. CUADROS COMPARATIVOS DE LAS ALTERNATIVAS

2.7.1.1. Sistema de Dosificación

SISTEMA DE DOSIFICACIÓN				
	NOMBRE	DESCRIPCIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
ALTERNATIVA 1	Dosificación volumétrica de vasos telescópicos.	<p>El sistema posee una tolva de alimentación y un plato donde se encuentran ubicados equidistantes vasos volumétricos. La tolva debe mantenerse fija mientras el plato conjuntamente con los vasos giran, cuando estos pasan justo por debajo de la tolva se llenan con una determinada cantidad de producto, que luego se trasladan al punto de descarga.</p>	<p>La exactitud de la cantidad a empacar es buena</p> <p>Facilidad de mantenimiento y remplazo de componentes.</p> <p>El rendimiento es aceptable, dado que dispone de varios vasos volumétricos en un solo plato giratorio y dependiendo de los requerimientos se puede variar la velocidad de giro.</p>	Altos costo de mano de obra y materiales para su fabricación.

SISTEMA DE DOSIFICACIÓN (Continuación)				
ALTERNA TIVA 2	Dosificación por pesaje	<p>Por medio de un elevador se produce la alimentación del producto hacia una bandeja la cual posee un vibrador que se encarga de llevar el producto hacia la balanza electrónica donde se produce el pesaje y la posterior descarga.</p> <p>La balanza censa el producto a empacar por medio de celdas de carga, que emiten la señal para que el vibrador y la alimentación del producto se detengan y a su vez se abra la compuerta de descarga del producto.</p>	<p>La dosificación del producto es exacta.</p> <p>Facilidad de manufactura, es decir pocas piezas mecanizadas.</p>	<p>Difícil construcción y elaboración.</p> <p>Únicamente para empaques tipo almohadilla.</p>

Tabla 2.2 Alternativas de Dosificación

2.7.1.2. Sistema de Formación del Empaque

SISTEMA DE FORMACIÓN DEL EMPAQUE				
	NOMBRE	DESCRIPCIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
ALTERNA TIVA 1	Formador circular.	A partir de un rollo de material de empaque, el plástico ingresa por la parte posterior de la capa y se enrolla alrededor del conducto de alimentación del producto, formado un tubo continuo de material de empaque con un traslape que permite el sellado longitudinal	Las arrugas en el plástico son mínimas.	Difícil construcción y elaboración.
			Permite un suave deslizamiento del material de empaque	
ALTERNA TIVA 2	Formador rectangular.	A partir de un rollo de material de empaque, el plástico ingresa por la parte posterior de la capa y se enrolla alrededor del conducto de alimentación del producto, formado un tubo continuo de material de empaque con un traslape que permite el sellado longitudinal	Ideal para la formación de fundas paralelepípedos para mejor presentación del producto.	Dificultad en la manufactura.
			Facilidad al momento de adaptar cualquier sistema de arrastre.	El plástico podría sufrir un desgarre en sus esquinas, al momento de sobrepasarlas, mas aun si está mal elaborado.

Tabla 2.3 Alternativas de Formación de Empaques

2.7.1.3. Sistema de Guiado y Arrastre

SISTEMA DE GUIADO Y ARRASTRE				
	NOMBRE	DESCRIPCIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
ALTERNA TIVA 1	Tracción del material por mordazas de sellado horizontal.	Mediante el recorrido vertical que realiza el carrete en el cual se encuentran empotrados las mordazas, y con el accionar de su apertura o cierre, permite el arrastre del plástico	Facilidad de mantenimiento y ensamblaje.	Excesivo costo de elaboración de las mordazas.
			El sistema produce 2 procesos en unos solo el arrastre y el sellado horizontal, tal que permite obtener un alto rendimiento.	Adaptable a distintos tamaños de empaque.
			Facilidad de manufactura y reposición de componentes	Elevado costo de elaboración y de mantenimiento.
ALTERNA TIVA 2	Tracción del material por rodillos.	La tracción se origina por el movimiento y contacto de la superficie del rodillo ejercida a presión sobre el plástico que recubre el conducto de alimentación del producto	Fácil adaptación a cualquier conducto de alimentación.	Poca área de contacto con el material de empaque por lo que se requiere mecanismo des bobinador que facilite del trabajo de los rodillos.

SISTEMA DE GUIADO Y ARRASTRE (Continuación)				
ALTERNA TIVA 3	Tracción del material por correas de deslizamiento	<p>Mismo principio de los rodillos, la diferencia radica que el área de acción en la que se realiza la tracción es más amplia, permitiendo que el avance sea más exacto</p>	Vida útil más prolongada.	Dificultad en el control de arranque y frenado instantáneo de las bandas.
			Avance exacto de la lámina de plástico.	Alto costo de los materiales así como de su elaboración.
			Mayor área de contacto entre la correa y la cara interna del material de empaque que brinda mejores propiedades de deslizamiento.	Según el desgaste de los elementos y la eficiencia que se tenga en las transmisiones, es posible que una banda sea jalada más que otra causando daños en el material de empaque.

Tabla 2.4 Alternativas de Guiado y Arrastre

2.7.1.4. Sistema de Sellado

SISTEMA DE SELLADO				
	NOMBRE	DESCRIPCIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
ALTERNA TIVA 1	Sellado horizontal por mordazas mediante un cilindro neumático	La apertura de las mordazas del sellado horizontal se produce a partir de un cilindro neumático conectado a una de las placas portadoras, mientras que la otra se la conecta a través de un sistema de transmisión por cadena y guías de movimiento de tal manera que al accionar el cilindro neumático la una placa portadora vaya hacia adelante y la otra hacia atrás y viceversa.	Nos permite acoplar el sistema de sellado y el sistema de corte en uno solo.	Excesivo costo de elaboración de las mordazas. Depende de la buena manufactura y diseño del mecanismo de acople para que cumpla con su función.
			Fácil ensamblado y accesible mantenimiento.	
			Sencillo control de accionamiento.	
			Mayor tiempo de vida útil.	Elevado costo en el remplazo de elementos.

SISTEMA DE SELLADO (Continuación)				
ALTERNA TIVA 2	Sellado Horizontal por mordazas mediante servomotor	Este sistema consta de un mecanismo donde las placas portadoras se mueven mediante la acción de brazos que poseen rotulas en los extremos para facilitar el movimiento conectados a un solo eje que lo gobierna el servomotor el cual abre y cierra las mordazas según el sentido de giro que tenga.	Poco espacio de trabajo.	No recomendable si se requiere reducir la vibración.
			Exactitud en la regulación del movimiento	Alto costo de implementación.
ALTERNA TIVA 3	Sellado Horizontal por mordazas mediante dos cilindros neumáticos	El mecanismo consta de un marco donde se instalan dos cilindros neumáticos que son los encargados de mover las mordazas hacia el centro hasta juntarles y que se produzca el sellado.	Mayor firmeza en el sellado.	Elevado costo para implementación.
			Control de accionamiento neumático sencillo.	Mayor espacio de operación.

Tabla 2.5 Alternativas de Sellado

2.7.1.5. Sistema de Control

SISTEMA DE CONTROL				
	NOMBRE	DESCRIPCIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
ALTERNA TIVA 1	Control por contactores	Control obsoleto pero que asegura el correcto funcionamiento del proceso.	Presenta Resistencia al ruido. Se pueden maniobrar circuitos sometidos a corrientes muy altas, mediante corrientes muy pequeñas.	Excesivo cableado en las conexiones
ALTERNA TIVA 2	Control por microcontrolador	Control que se basa en la ejecución de órdenes programadas en código máquina que se realiza de forma sistemática y ordenada, pero no está diseñado para trabajar en ambientes hostiles	Modificaciones en el tipo de control sin la necesidad de cambios físicos.	Susceptible a daños por descargas eléctricas Se requiere complementos electrónicos para uso con voltaje alterno
			Bajo costo de implementación con respecto a otros tipos de control.	No apto en ambientes con ruido.

SISTEMA DE CONTROL (Continuación)				
ALTERNA TIVA 3	Control por PLC	<p>Sistema de control diseñado especialmente para trabajar bajo condiciones adversas en la industria, asegurando y garantizando un correcto funcionamiento y un prologando tiempo de vida útil.</p>	<p>Se puede realizar modificaciones sin cambiar el cableado y el mantenimiento resulta económico debido a los tiempos de paros reducidos.</p>	Elevado costo inicial.
			<p>Menor tiempo empleado en la implementación con mínimo espacio de aplicación.</p>	
			<p>Presenta versatilidad en el control de los accionamientos de los sistemas de corte y sellado sin importar la frecuencia de trabajo del motor mediante la implementación de un sensor de posicionamiento.</p>	

Tabla 2.6 Alternativas de Control

2.7.2. PARÁMETROS DE EVALUACIÓN

Existen varios criterios de evaluación en el diseño Mecatrónico como son la seguridad, la confiabilidad, la facilidad para fabricar, facilidad de control, costo de operación y mantenimiento bajos, tamaño reducido, materiales adecuados, apariencia, ergonomía, etc.; a continuación se presentan los criterios que se consideran los más apropiados para ser utilizados en el proceso de selección de alternativas.

2.7.2.1. Costo

Representa un parámetro determinante al momento de seleccionar una alternativa ya que involucra no solo el costo inicial de la máquina (materiales, accesorios, manufactura, y tecnología), sino también los costos de operación y mantenimiento. En el caso de la máquina que se desea diseñar, el costo debe ser más competitivo que el de las máquinas usadas y nuevas que se pueden encontrar en el mercado sin dejar de lado la eficiencia y la estética.

2.7.2.2. Versatilidad

Se refiere al comportamiento de cada sistema en un solo conjunto. Es decir, el desempeño de todos los elementos al acoplarse al funcionamiento normal para el que fue diseñada la máquina. Es de gran importancia este parámetro dentro de las máquinas destinadas a la producción ya que cualquier fallo constituye contratiempos muy serios.

2.7.2.3. Facilidad de Control

Toda máquina automática o semiautomática requiere un sistema de control el mismo que se seleccionará evaluando parámetros de complejidad de movimiento, de conexión, de operación y funcionalidad del mismo.

2.7.2.4. Manufactura

Este criterio implica simplificar los sistemas sin dejar a un lado los beneficios de la tecnología actual. Además, las partes que constituyen los diferentes sistemas deben poder ser construidos con tecnología nacional, con materiales disponibles en el mercado y componentes de fácil compra.

2.7.2.5. Mantenimiento

El mantenimiento en una máquina es vital para alargar su vida útil. Todos los sistemas y elementos que comprenden la máquina están sujetos a fallos por lo que deben ser diseñados de tal manera que exista la posibilidad de repararlos o remplazarlos. Esto implica que en la selección de alternativas se debe considerar la facilidad para llegar a un determinado elemento dentro de un conjunto, para la realización de tareas de ensamble y/o mantenimiento.

2.7.3. PONDERACIÓN DE ALTERNATIVAS

Las alternativas serán valoradas según los parámetros de evaluación antes mencionados, de acuerdo al siguiente criterio.

1. Poco recomendable
2. Recomendable
3. Ideal
0. No aplica

SISTEMA DE DOSIFICACIÓN						
Alternativas	Costo	Versatilidad	Facilidad de Control	Manufactura	Mantenimiento	Promedio
1	2	2	3	2	2	2.4
2	1	3	2	3	2	2.4

Tabla 2.7 Evaluación Alternativas de Dosificación

SISTEMA DE FORMACIÓN DEL EMPAQUE						
Alternativas	Costo	Versatilidad	Facilidad de Control	Manufactura	Mantenimiento	Promedio
1	2	3	0	1	3	2.25
2	2	2	0	2	2	2

Tabla 2.8 Evaluación Alternativas de Formación del Empaque

SISTEMA DE GUIADO Y ARRASTRE						
Alternativas	Costo	Versatilidad	Facilidad de Control	Manufactura	Mantenimiento	Promedio
1	2	3	3	1	3	2.4
2	2	2	2	2	1	1.8
3	1	3	1	2	2	1.8

Tabla 2.9 Evaluación Alternativas de Guiado y Arrastre

SISTEMA DE SELLADO						
Alternativas	Costo	Versatilidad	Facilidad de Control	Manufactura	Mantenimiento	Promedio
1	2	3	3	2	3	2.6
2	1	2	2	1	2	1.6
3	1	3	3	2	2	2.2

Tabla 2.10 Evaluación Alternativas de Sellado

SISTEMA DE CONTROL						
Alternativas	Costo	Versatilidad	Facilidad de Control	Manufactura	Mantenimiento	Promedio
1	2	2	2	1	1	1.6
2	3	2	2	2	2	2.2
3	2	3	3	3	2	2.6

Tabla 2.11 Evaluación Alternativas de Control

2.7.4. CONCLUSIONES SELECCIÓN TIPO DE DISEÑO

Como resultado de la evaluación de cada una de las alternativas que existen en el mercado, se decide realizar el proyecto de DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DOSIFICADORA Y EMPACADORA CONTROLADA POR PLC PARA LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE SNACKS DE LA EMPRESA ECUAMEX S.A utilizando las mejores opciones para cada uno de los sistemas que conformarán la máquina.

El sistema de dosificación se lo diseñará tanto por volumen como por peso, con la ayuda de armazones móviles que permitan versatilidad en el tipo de producto a dosificar. Formador con cuello circular para la formación del empaque, el sistema de guiado y arrastre será realizado mediante dos mordazas, mismas que en su interior contiene una cuchilla que actuará dependiendo de un pistón que realizará el movimiento para el corte de la funda, el sistema de sellado se realizará con un sello vertical y dos sellos horizontales permitiendo que se asegure un 100% del producto empacado sin fugas de ningún tipo.

El control que gobernará la máquina y cada uno de sus sistemas será dado por un Controlador Lógico Programable.

CAPÍTULO III

REQUISITOS Y RESTRICCIONES DE LA MÁQUINA

3.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

ECUAMEX S.A con el fin de optimizar recursos y suprimir pérdidas de tiempo en sus procesos de producción, decide analizar alternativas para realizar el diseño, construcción y automatización de un nuevo modelo de empacadora, mismo que pueda ser construida sin dificultades, con materiales del medio, capaz de realizar en un mismo proceso la dosificación, formación y sellado del producto de manera que se satisfaga las necesidades de la empresa.

3.2. ESTUDIO DE MERCADO

El estudio de mercado no se considera en el siguiente proyecto ya que el diseño es un requerimiento de la empresa ECUAMEX S.A para una posible producción en serie, de esta manera se piensa cumplir con las normas de calidad, exigencias y expectativas en el mercado.

3.3. RESTRICCIONES Y LIMITACIONES

Las principales restricciones y limitación es de la empacadora establecidas por ECUAMEX S.A son las siguientes.

1. El diseño de la máquina debe cubrir con el fin de adaptarse a las tendencias actuales tecnológicas, la máquina debe tener accionamiento electro neumático.
2. La máquina debe ser diseñada de tal manera que garantice un empaque sin variación de la forma entre una y otra funda.

3. Cumplimiento de las normas del estado y de la industria alimenticia en cuanto a seguridad y a higiene.
4. La máquina debe presentar versatilidad para producir empaques pequeños (altura de 80 mm) con rendimiento máximo de 38 a 40 por minuto y empaques grandes (altura de 220 mm) con rendimiento máximo de 23 a 25 por minuto.

3.4. ESPECIFICACIONES

3.4.1. PARÁMETROS FUNCIONALES

1. Formación de funda tipo almohadilla a partir de una lámina de polietileno para presentaciones de 15 gr a 120 gr dependiendo del producto a empacar.
2. Dosificación volumétrica y por peso.
3. Sellado por impulso, contando con 2 sellos horizontales y uno vertical.
4. Regulación de la frecuencia de trabajo a través de variadores de velocidad.
5. Regulación automática de temperatura.

3.4.2. DIMENSIONES

De la Funda

Ancho: 125mm

Alto: Entre 80 y 220 mm regulables para obtener la variación de peso previamente especificada.

3.4.3. MATERIALES Y ACABADOS

1. Estructura en acero con acabado en pintura electroestática.
2. Acero inoxidable para todas las partes en contacto directo con el producto.

3. Teflón en las superficies que experimenten transferencias de calor.

3.4.4. CONTROL

1. Accionamiento electro neumático controlado por PLC para el sistema de sellado y corte.
2. Variador de frecuencia para el arranque de los motores.
3. Control ON-OFF de temperatura mediante termocupla tipo J.
4. Control de deslizamiento de papel mediante freno mecánico.

3.4.5. AMBIENTE DE TRABAJO

La empacadora está destinada a operar en la línea de snacks de ECUAMEX S.A. localizada en la zona norte de la ciudad de Quito, misma que presenta un ambiente laboral poco perjudicial y adecuado para la preservación de la maquinaria.

3.5. ASPECTOS LEGALES

Deben conservarse las siguientes normas gubernamentales para la industria alimenticia:

- NTE INEN-UNE-EN 13130-1 ALIMENTOS 2013-01-02 (superficies de contacto con alimentos)
- NTE INEN 2644 SERVICIOS AMBIENTALES 2013-01-02 (operación y manejo de desperdicios bajo normas medioambientales)

CAPÍTULO IV

DISEÑO

4.1. SISTEMA MECÁNICO

Para el diseño mecánico se divide a la máquina empacadora en los siguientes subsistemas, como se muestra en la Figura 4.1.

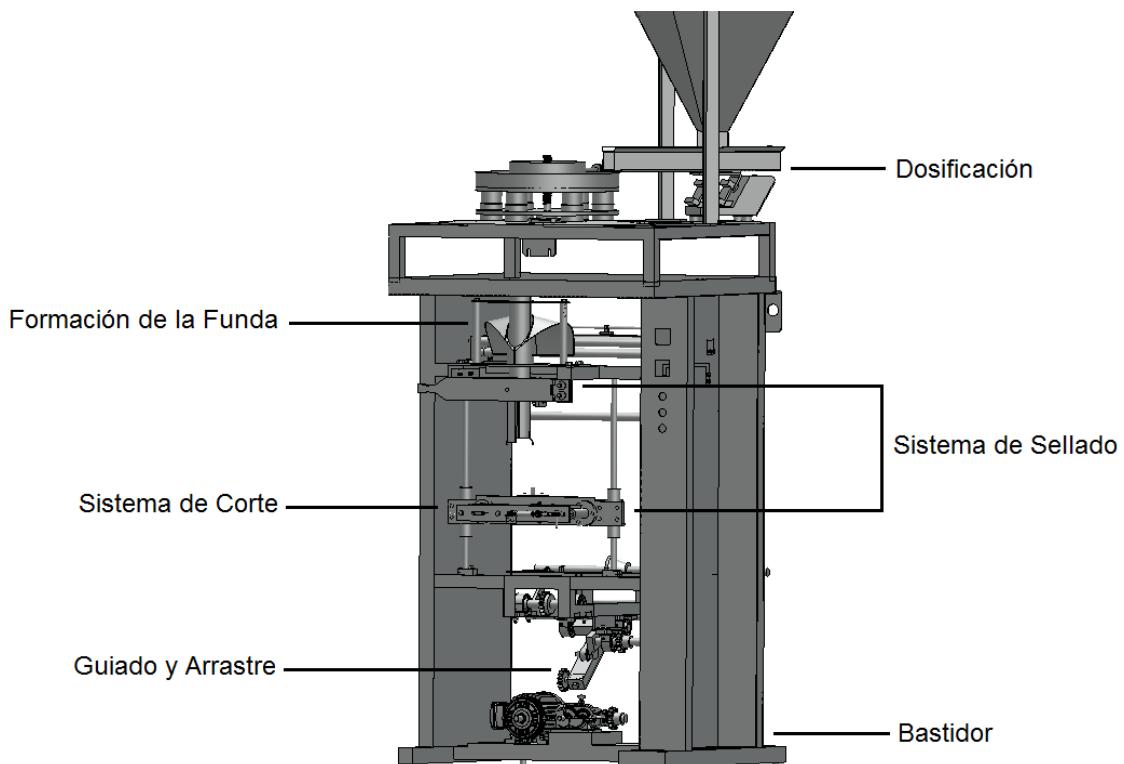


Fig. 4.1 Esquema General de la Empacadora

4.1.1. FACTOR DE SEGURIDAD¹⁶

El término factor de diseño F_s , es una medida de la seguridad relativa de un componente bajo la acción de una carga. En la mayor parte de los casos, la resistencia del material con que se fabrica un componente se divide entre el factor de seguridad para determinar un esfuerzo de diseño que a veces se llama esfuerzo admisible o esfuerzo permisible.

¹⁶ Robert Mott, Diseño de Elementos de Maquinas, 4ta. edición, Editorial PARSON pag. 185-186

Entonces, el esfuerzo real que se desarrolla en el componente debe ser menor que el esfuerzo de diseño.

A continuación se describe el factor de seguridad para distintos materiales dependiendo de la naturaleza de la aplicación, el ambiente, la naturaleza de las cargas sobre el componente a diseñar y el grado de confianza en los datos que se emplean en el proceso de diseño.

Materiales Dúctiles:

$F_s = 1.25 \text{ a } 2.0$.- El diseño de estructura bajo cargas estáticas, para la que haya un alto grado de confianza en todos los datos del diseño.

$F_s = 2.0 \text{ a } 2.5$. Diseño de elementos de máquina bajo cargas dinámicas con una confianza promedio en todos los datos de diseño.

$F_s = 2.5 \text{ a } 4.0$. Diseño de estructuras o elementos de máquina bajo cargas dinámicas con incertidumbre acerca de las cargas, propiedades de los materiales, análisis de esfuerzos o el ambiente.

$F_s = 4.0 \text{ o más}$. Diseño de estructuras estáticas o elementos de máquinas bajo cargas dinámicas, con incertidumbre en cuanto a alguna combinación de cargas, propiedades del material, análisis de esfuerzos o el ambiente.

Materiales Frágiles:

$F_s = 3.0 \text{ a } 4.0$. Diseño de estructuras bajo cargas estáticas donde haya un alto grado de confianza en todos los datos de diseño.

$F_s = 4.0 \text{ a } 8.0$. Diseño de estructuras estáticas o elementos de máquinas bajo cargas dinámicas, con incertidumbre acerca de cargas, propiedades de materiales, análisis de esfuerzos o el ambiente.

En base a los factores de seguridad descritos, a continuación se presenta una tabla con los factores de seguridad que se utiliza en el diseño de cada subsistema que compone la máquina empacadora.

Sistema	Factor de Seguridad (Fs)	Característica
Formación de la funda	4,0-5,0	Las partes que componen el sistema nunca deben perder su forma en caso de algún accidente o fallo
Corte	Sin definir	Las partes que componen el sistema de corte no están sometidas a cargas
Sellado	2,0-2,5	Está sometido a cargas dinámicas conocidas en condiciones ambientales ordinarias
Guiado y Arrastre	2,5-4,0	Experimenta un constante desgaste por rozamiento de las superficies durante el funcionamiento
Bastidor	2,0-2,5	Está sometido a cargas estáticas y dinámicas conocidas en condiciones ambientales ordinarias

Tabla 4.1 Factores de seguridad utilizados

4.1.2. SISTEMA DE FORMACIÓN DE LA FUNDA

Para cumplir con las dimensiones de la funda requerida primeramente se diseña el formador de la misma, del tipo previamente seleccionado

4.1.2.1. Formador

Para determinar el diámetro del formador se utiliza el ancho de la funda de la siguiente manera:

$$P_P = 2 * A_F \quad (\text{Ec. 4.1})$$

$$P_P = \pi * D_F \quad (\text{Ec. 4.2})$$

Donde:

P_P = Perímetro de plástico

A_F = Ancho de la funda

D_F = Diámetro del formador

Entonces:

$$P_P = 2 * 125 = 250 \text{ mm}$$

$$D_F = \frac{P_P}{\pi} = \frac{250}{\pi} = 79,58 \approx 80 \text{ mm}$$

Se lo construye en acero inoxidable a partir del diámetro obtenido y usando las siguientes dimensiones:

Altura: 135 mm

Traslape: 20 mm

Para la base del formador tenemos la siguiente geometría (Fig. 4.2):

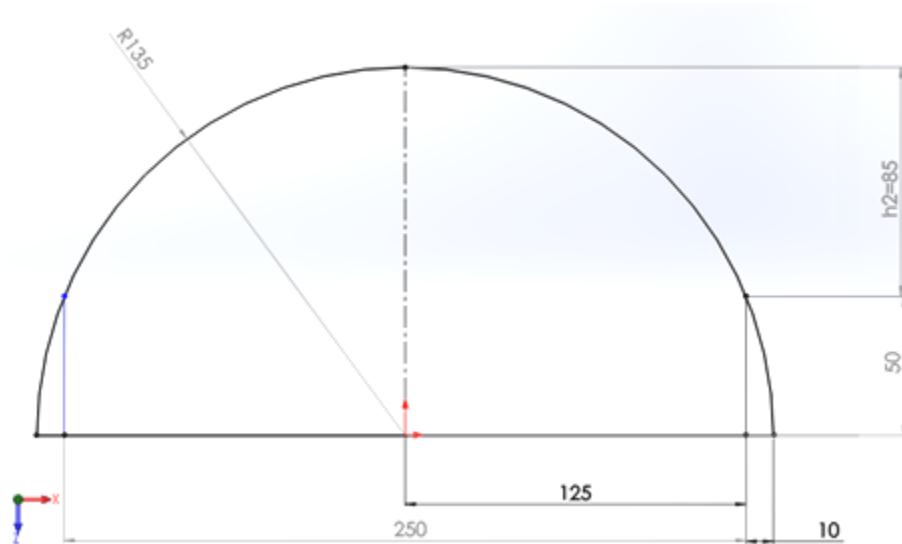


Fig. 4.2 Geometría base del formador

Nota: Es necesario dejar un espacio de 2 mm entre los traslapes, mismo por el cual viaja el papel para su posterior sellado vertical como se observa en la Figura 4.3

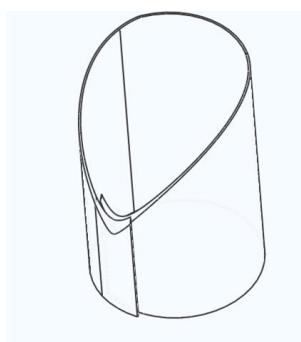


Fig. 4.3 Doblado de la lámina cortada de la base del formador

Para la capa nos basamos en la geometría de la base del formador por lo tanto tenemos:

$$A_C = 2 * A_F + t + 2 * r \quad (\text{Ec. 4.3})$$

Donde:

$A_C = \text{Ancho de la capa del formador}$

$A_F = \text{Ancho de la funda}$

$t = \text{traslape}$

$r = \text{espacio para la regulación del papel}$

Entones:

$$A_F = (2 * 125) + 20 + (2 * 15) = 300\text{mm}$$

La inclinación de la capa debe ser de 45 grados, de modo que la fuerza de rozamiento entre el plástico y el acero sea mínima (Fig.4.4)

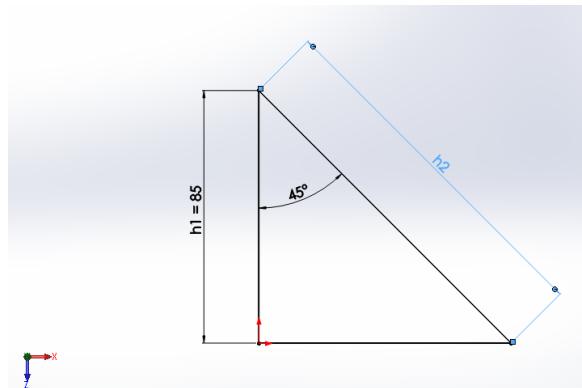


Fig. 4.4 Geometría de inclinación de la capa del formador

$$h2 = \frac{h1}{\sin(45)} = \frac{85}{\sin(45)} = 120.21 \approx 120 \text{ mm}$$

Para la capa del formador tenemos la siguiente geometría (Fig.4.5):

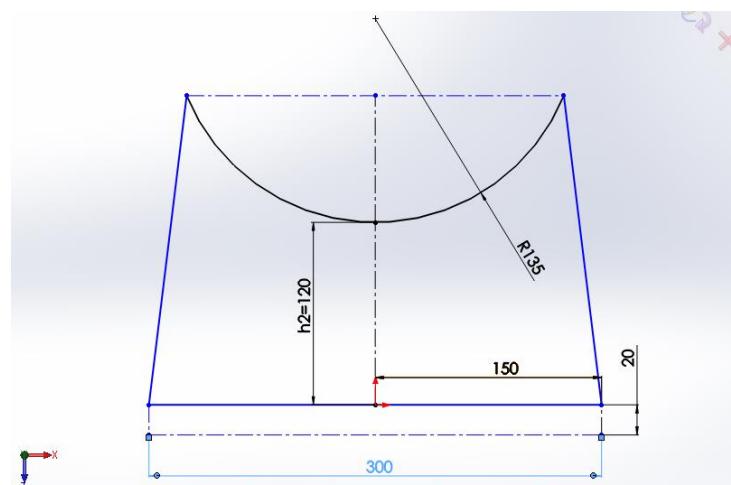


Fig. 4.5 Geometría de la capa del formador

Consideraciones:

En el proceso de doblado se debe tener en cuenta que el material debe mantenerse liso en toda su superficie con un acabado fino que evite dañar o lastimar al papel. Al soldar ambas partes se debe garantizar una continua superficie entre las dos placas de acero inoxidable, previniendo posibles daños en el arrastre del papel.

4.1.2.2. Placa Soporte del Formador

Sirve de apoyo tanto para el formado como para el tubo de alimentación. Las dimensiones están dadas con respecto al espacio físico que ocupa el formador tanto en largo como en profundidad. Así tenemos para el largo:

$$L_P = A_F + X_S \quad (\text{Ec. 4.4})$$

Donde:

L_P = Largo de la placa

A_F = Ancho de la capa formadora

X_S = Espacio para la sujeción

Nota: los 60 mm a cada extremo sirven para la sujeción de la placa al armazón de la máquina. Entonces:

$$L_P = 300 + 120 = 420 \text{ mm}$$

Para la profundidad tenemos:

$$A_P = D + X_S \quad (\text{Ec. 4.5})$$

Donde:

A_P = Ancho de la placa

Entonces:

$$A_P = 80 + 60 = 140 \text{ mm}$$

Una vez obtenido el formador y su placa de soporte, se realiza el ensamblaje de ambos para tener la parte completa que será colocada en el armazón de la máquina (Fig. 4.6).

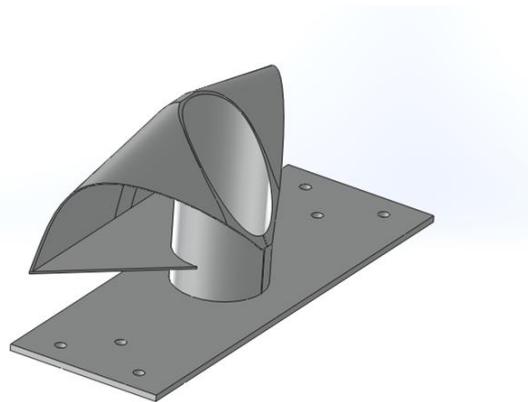


Fig. 4.6 Ensamblaje del formador

Análisis de cargas:

El ensamblaje del formador de la funda (Fig. 4.6) distribuye la fuerza ejercida por el carrete de las mordazas (85N) en su superficie de manera que toda la carga se transmite hacia la placa de soporte (Fig. 4.7).

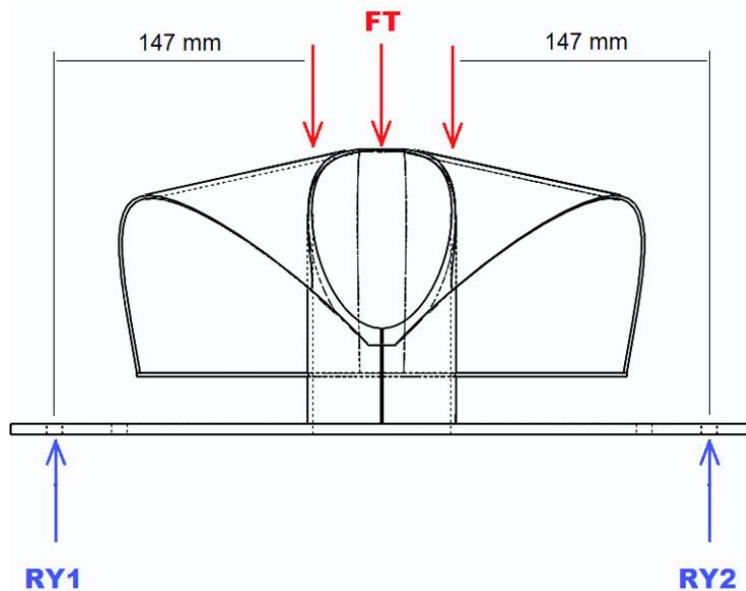


Fig. 4.7 Diagrama de fuerzas en la placa soporte del formador

Con la ayuda del software MDSolids obtenemos los valores máximos de la fuerza cortante y el momento flector (Fig. 4.8) producidos en la placa soporte del formador.

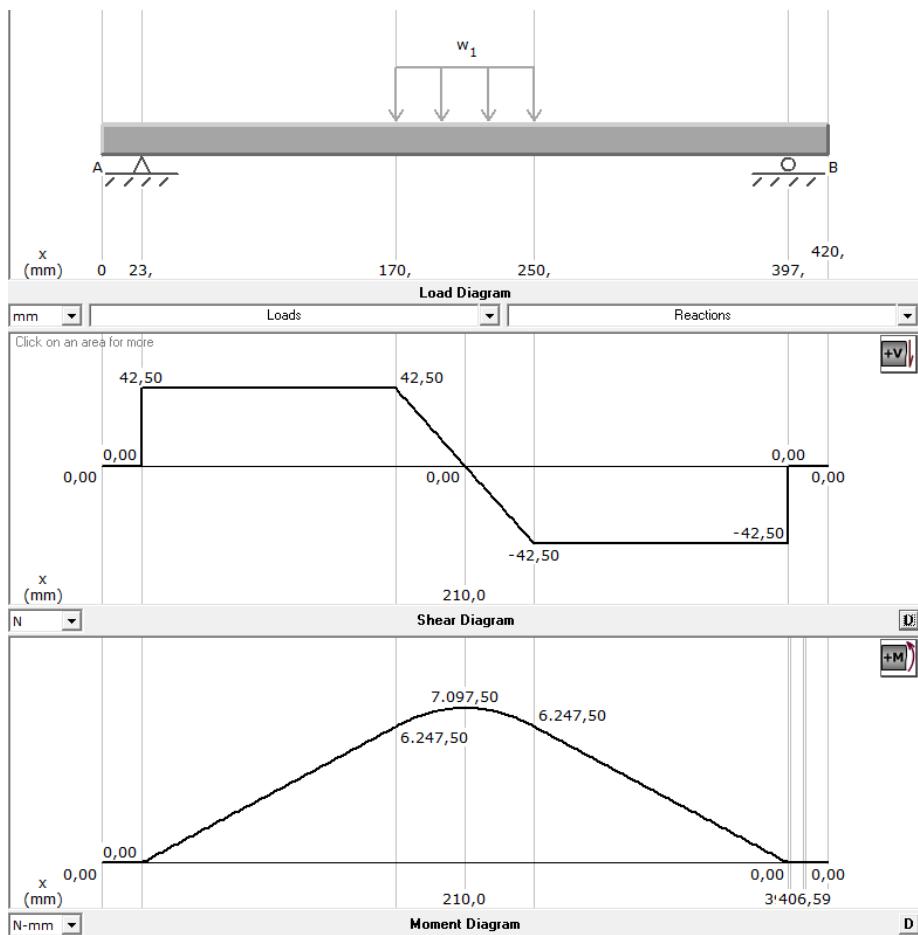


Fig. 4.8 Gráficas de fuerza cortante y momento flector de la placa soporte del formador¹⁷

Obtenemos como resultado que la fuerza cortante máxima es de 42.5 N y el momento flector máximo es de 7097.5 N-mm.

El mayor esfuerzo que sufre la placa es debido a la flexión y por tanto tenemos:

$$\sigma_{Fsf} = \frac{M_{sf}}{S_{sf}} \quad (\text{Ec. 4.6})^{18}$$

Donde:

σ_{Fsf} = Esfuerzo por flexión del soporte del formador

M_{sf} = Momento de flexión máximo en el soporte del formador

S_{sf} = Módulo de sección del soporte del formador

¹⁷ Timothy A. Philpot, Software MDSolids V 3.5.0, 2009.

¹⁸ Robert Mott, Diseño de Elementos de Maquinas, 4ta. edición, Editorial PEARSON, Página 106

Del anexo A obtenemos el módulo de sección de un rectángulo y para este caso tenemos:

$$S_{sf} = \frac{A_p * e_{sf}^2}{6} = \frac{140 * 3^2}{6} = 210 \text{ mm}^3 \quad (\text{Ec. 4.7})$$

Donde:

e_{sf} = espesor del soporte del formador

Entonces:

$$\sigma_{Fsf} = \frac{7097.5}{210} = 33.8 \text{ MPa}$$

El factor de seguridad se obtiene con referencia al límite elástico del acero inoxidable AISI 316L ($\sigma_E = 170 \text{ MPa}$), por tanto:

$$FS = \frac{\sigma_E}{\sigma_{Fsf}} = \frac{170}{33.8} = 5.03 \quad (\text{Ec. 4.8})$$

Simulación:

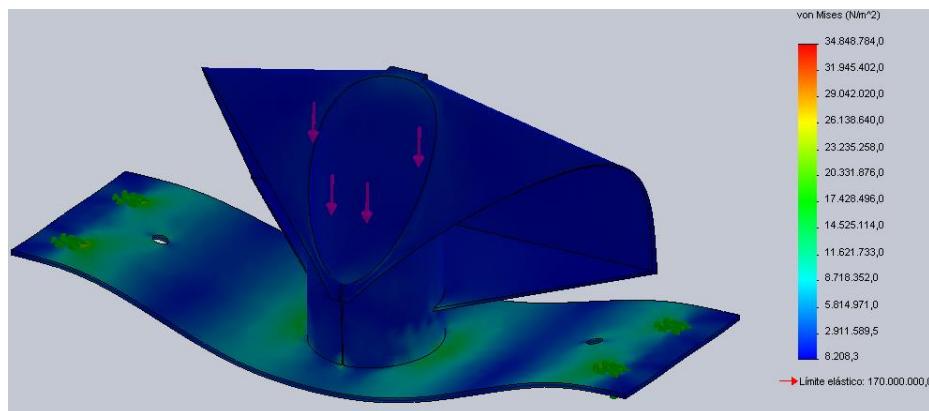


Fig. 4.9 Simulación del límite elástico de la placa soporte del formador ¹⁹

¹⁹ SimulationXpress SolidWorks Dassault Systems 2012

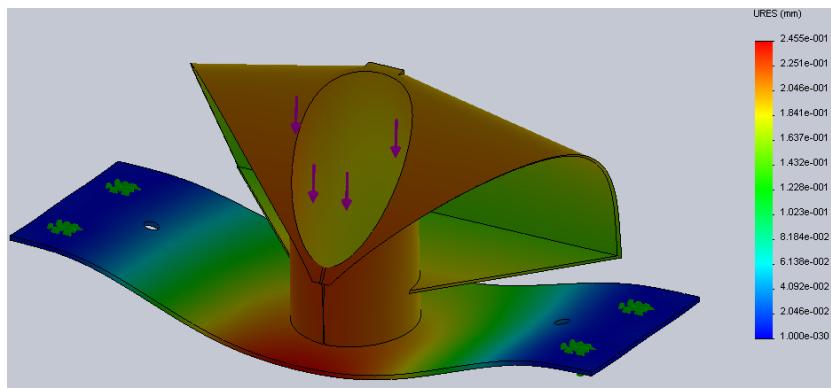


Fig. 4.10 Simulación del desplazamiento de la placa soporte del formador²⁰

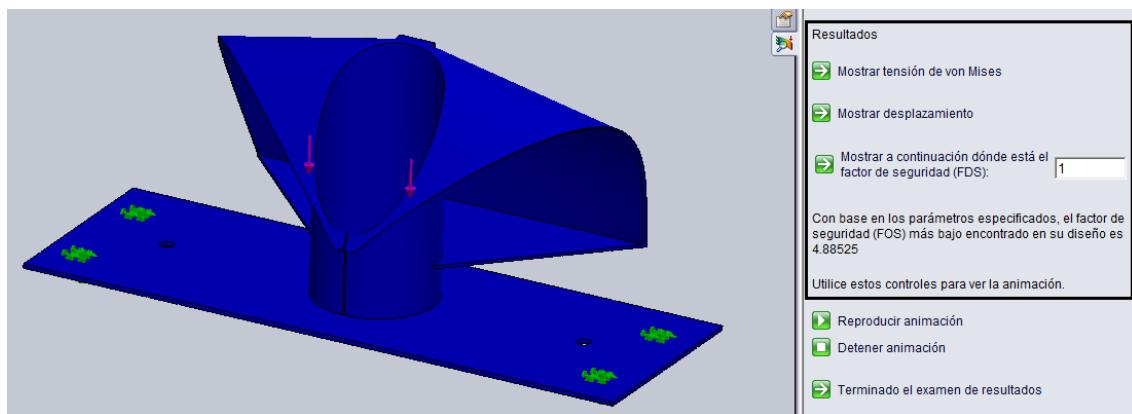


Fig. 4.11 Simulación del factor de seguridad de la placa soporte del formador²¹

De la simulación CAD se obtuvo que con base a los parámetros especificados, el factor de seguridad más bajo encontrado en el diseño es de 4.89 (Fig. 4.11).

Resumen de los factores de seguridad:

Referencia	Análisis	Simulación	Error
2,5-4,0	5,03	4,89	25.75%

Tabla 4.2 Resumen factor de seguridad de la placa soporte del formador

En el sistema de formación de la funda la parte más importante es el formador y su placa soporte, por ende su factor de seguridad es de 4.89 (simulación CAD), para que en ningún momento pierda su forma en caso de algún accidente, fallo o incluso algún golpe en el cambio de formador si es que se requiere.

²⁰ SimulationXpress SoldWorks Dassault Systems 2012

²¹ SimulationXpress SoldWorks Dassault Systems 2012

4.1.2.3. Ducto de Alimentación

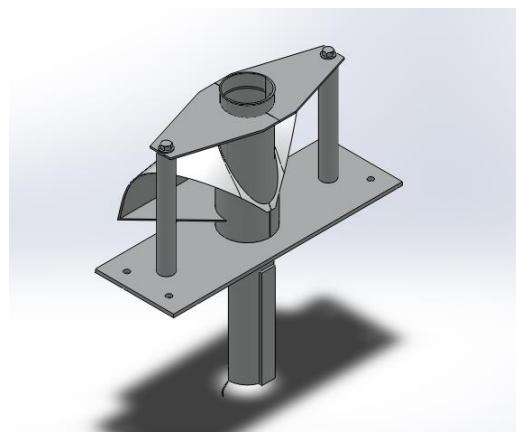


Fig. 4.12 Ensamblaje del formador con el tubo de alimentación

El papel luego de pasar por el formador envuelve el tubo de alimentación adquiriendo una forma cilíndrica para un posterior sellado (Fig. 4.12). En la parte inferior se coloca dos pequeñas guías que garantizan que la funda no pierda su geometría por acción del peso del producto.

Además la superficie expuesta del tubo sirve como apoyo en el momento del sellado vertical, razón por la cual es necesario sujetar el ducto a través de una placa y dos apoyos laterales empernados a la placa soporte del formador.

La longitud del tubo está dado por el alto del formador, la altura máxima de la funda, la distancia comprendida entre el formador y la bandeja de alimentación y finalmente un espacio de separación entre la zona del sellado vertical y el formador.

Por lo tanto tenemos:

$$h_D = h_F + h_{fu} + X_{F-D} \quad (\text{Ec. 4.9})$$

Donde:

h_D = Altura del ducto de alimentación

h_F = Altura del formador

h_{fu} = Altura de la funda

X_{F-D} = Espacio entre el formador y la dosificación

Entonces:

$$L_T = 140 + 220 + 60 = 420 \text{ mm}$$

Análisis de cargas:

El ducto de alimentación está sujeto a la fuerza ejercida por el pistón de sellado vertical (120.6 N), que en la Fig 4.13 está representada como una carga lineal que se distribuye en toda la superficie de contacto de la mordaza.

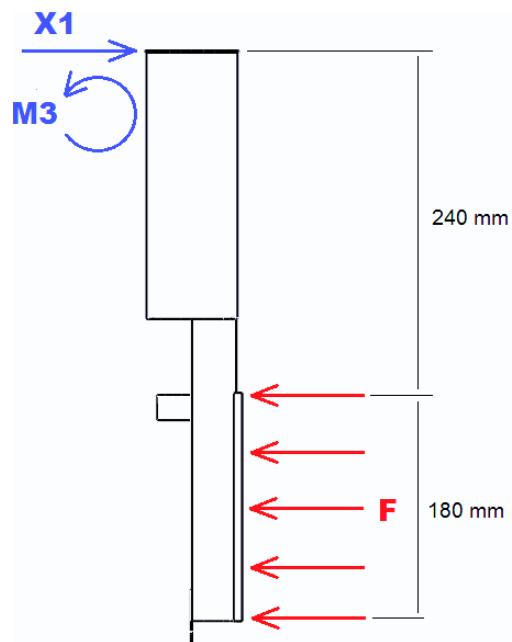


Fig. 4.13 Diagrama de fuerzas del tubo de alimentación

Con la ayuda del software MDSolids obtenemos los valores máximos de la fuerza cortante y el momento flector (Fig. 4.14) producidos en el tubo de alimentación.

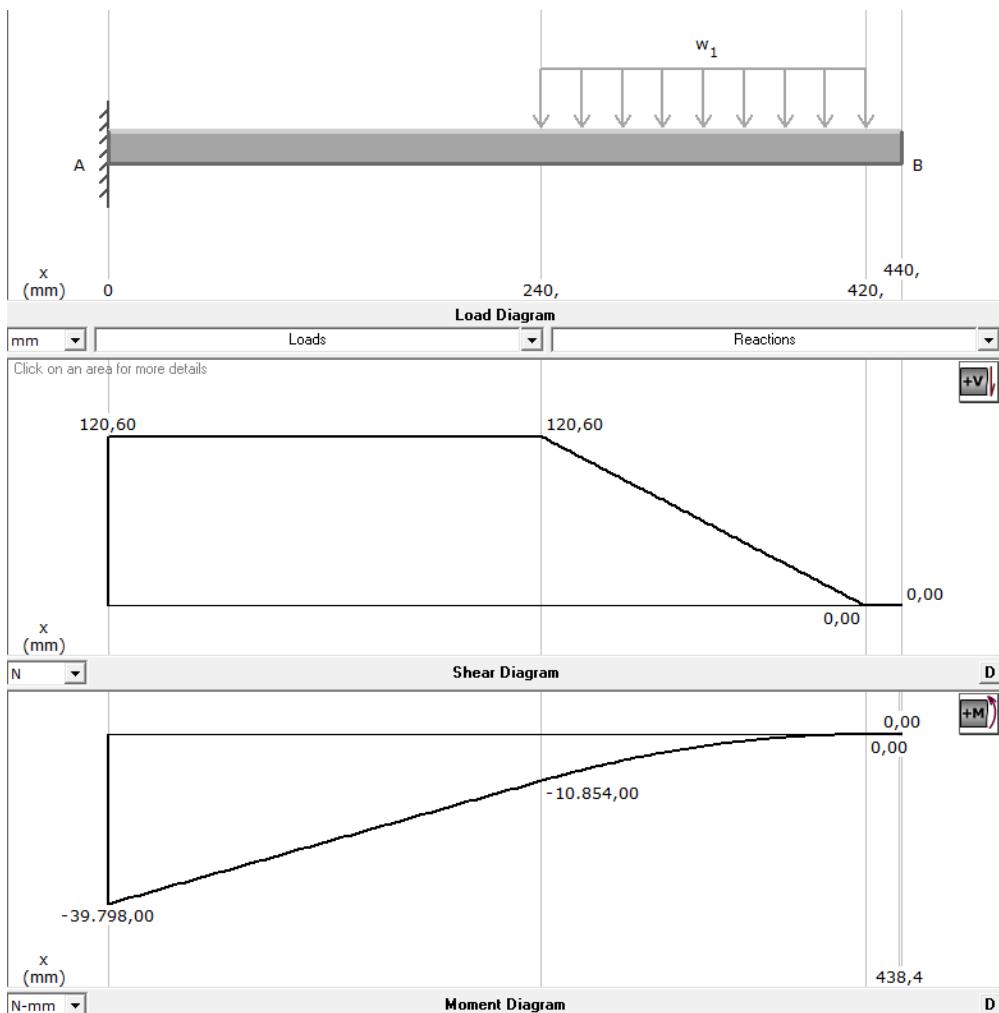


Fig. 4.14 Diagramas de fuerza cortante y momento flector del tubo de alimentación²²

Obtenemos como resultado que la fuerza cortante máxima es de 120.6 N y el momento flector máximo es de 39798 N-mm.

El mayor esfuerzo que sufre el tubo de alimentación es debido a la flexión y por tanto tenemos:

$$\sigma_{Fa} = \frac{M_a}{S_a} \quad (\text{Ec. 4.10})$$

Donde:

σ_{Fa} = Esfuerzo por flexión del tubo de alimentación

M_a = Momento de flexión máximo en el tubo de alimentación

S_a = Módulo de sección del tubo de alimentación

²² Timothy A. Philpot, Software MDSolids V 3.5.0, 2009.

Del anexo A, obtenemos el módulo de sección de un semicírculo y para este caso tenemos:

$$S_a = 0.024 * (D_{ea}^3 - D_{ia}^3) \quad (Ec. 4.11)$$

$$S_a = 0.024 * (74^3 - 72^3) = 767.424 \text{ mm}^3$$

Donde:

D_{ea} = Diámetro exterior del tubo de alimentación

D_{ia} = Diámetro interior del tubo de alimentación

Entonces:

$$\sigma_{Fa} = \frac{39798}{767.424} = 51.85 \text{ MPa}$$

El factor de seguridad se obtiene con referencia al límite elástico del acero inoxidable AISI 316L ($\sigma_E = 170 \text{ MPa}$), por tanto:

$$FS = \frac{\sigma_E}{\sigma_{Fa}} = \frac{170}{51.85} = 3.28$$

Simulación:

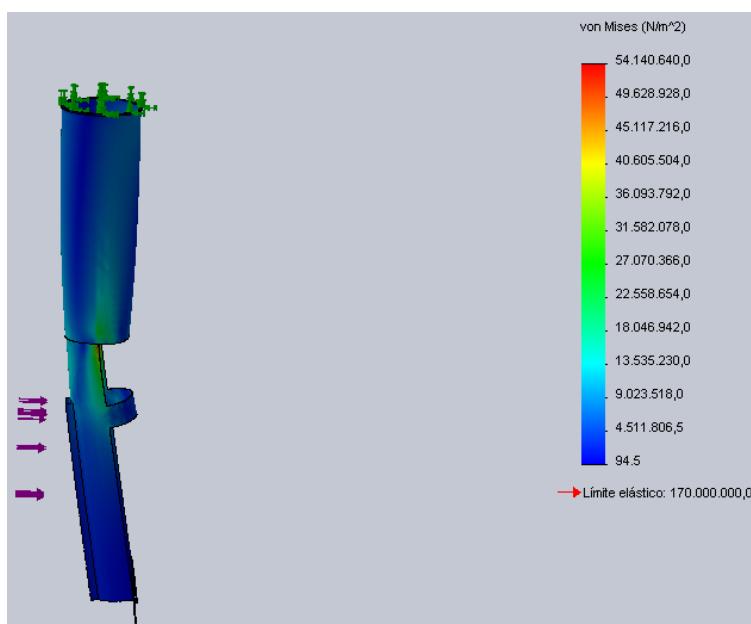


Fig. 4.15 Simulación del límite elástico del tubo de alimentación²³

²³ SimulationXpress SolidWorks Dassault Systems 2012

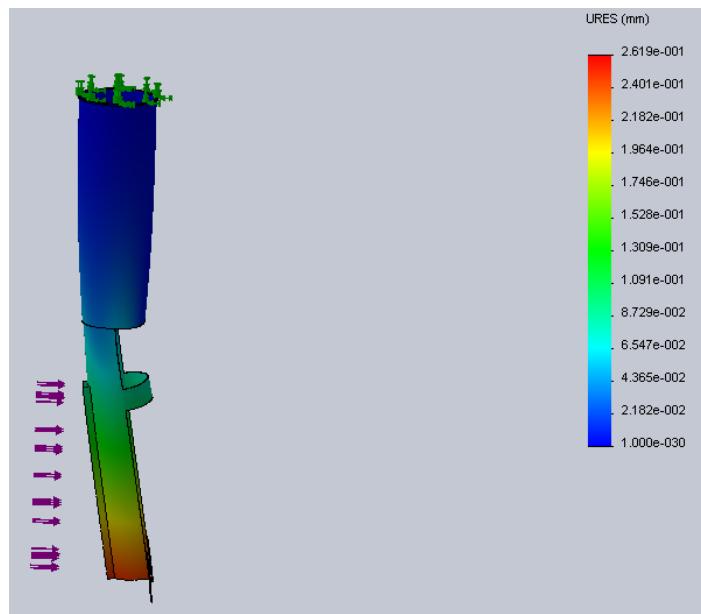


Fig. 4.16 Simulación del desplazamiento del tubo de alimentación²⁴

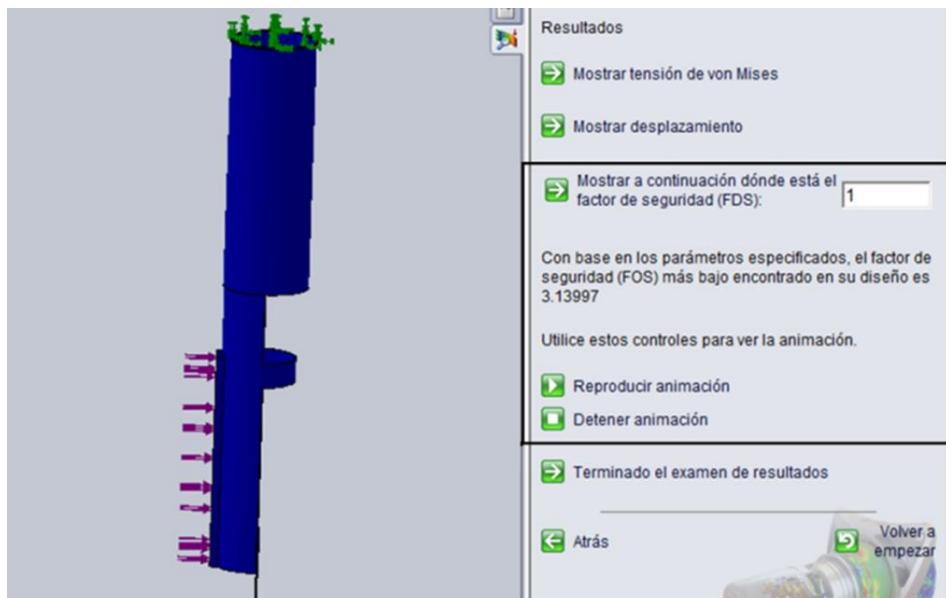


Fig. 4.17 Simulación del factor de seguridad del tubo de alimentación²⁵

De la simulación CAD se obtuvo que con base a los parámetros especificados, el factor de seguridad más bajo encontrado en el diseño es de 3.14 (Fig. 4.17).

Ç

²⁴ SimulationXpress SoldWorks Dassault Systems 2012

²⁵ SimulationXpress SoldWorks Dassault Systems 2012

Resumen de los factores de seguridad:

Referencia	Análisis	Simulación	Error
2,5-4,0	3.28	3,14	0.92%

Tabla 4.3 Resumen factor de seguridad del tubo de alimentación

En este caso el factor de seguridad obtenido de 3.14 se encuentra dentro de los parámetros de referencia establecidos. El error obtenido entre la simulación y el análisis es debido a que en la sección transversal del ducto no se consideró su cambio de semicircunferencia a circunferencia.

4.1.3. SISTEMA DE CORTE

4.1.3.1. Mecanismo de Corte

Está conformado por una cuchilla y dos soportes a cada extremo, mismos que actúan con el sistema de sellado horizontal (Fig. 4.18). Para el diseño del mecanismo que controla el movimiento de la cuchilla se toma en consideración:

En el instante de corte, la cuchilla debe sobrepasar la funda sellada (6mm) de tal forma que el corte sea uniforme. La geometría del mecanismo debe encajar en el espacio comprendido entre la placa soporte de la mordaza y la funda que será cortada.

La longitud de la cuchilla no debe tocar las mordazas en ningún instante durante su funcionamiento.

Para lo cual tenemos:

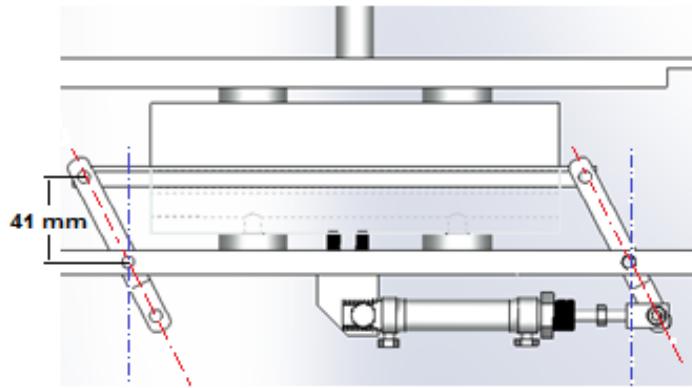


Fig. 4.18 Mecanismo de corte Posición 1

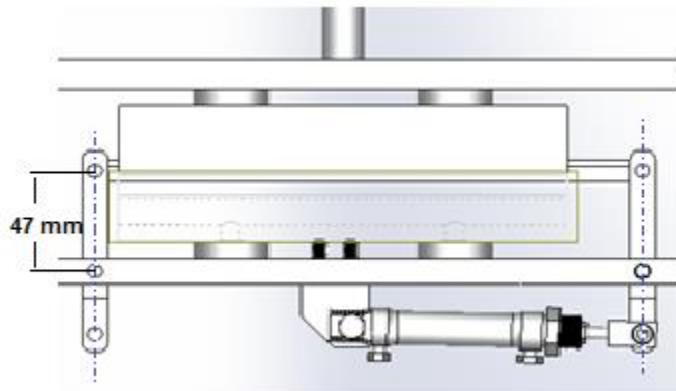


Fig. 4.19 Mecanismo de corte Posición 2

Para el sistema de corte se ha incorporado un pistón sujetado a la misma placa de soporte de la mordaza cuya carrera tenga las dimensiones necesarias para que proporcionen la geometría y el movimiento requerido por la cuchilla.

Para el dimensionamiento de la cuchilla se considera la longitud de las mordazas, el espacio recorrido horizontalmente por la misma, el ancho de los sujetadores y 5 mm a cada extremo para evitar el impacto de la cuchilla con las mordazas (Fig. 4.20).

Distancia recorrida horizontalmente:

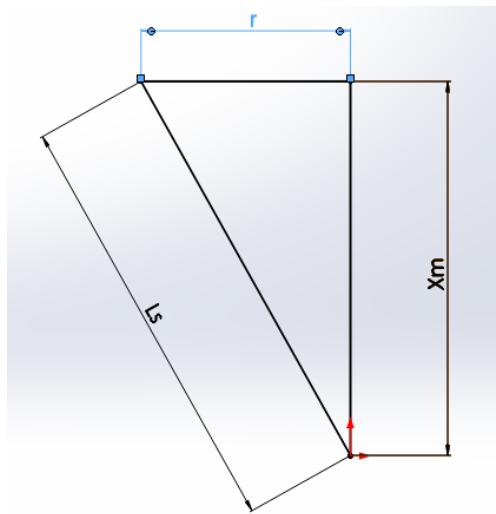


Fig. 4.20 Geometría de la distancia horizontal recorrida por las cuchillas

$$r = \sqrt{L_s^2 - X_m^2} = \sqrt{47^2 - 41^2} = 22.98 \approx 23 \text{ mm} \quad (\text{Ec. 4.12})$$

Donde:

L_s = longitud de soporte

X_m = distancia del soporte de la mordaza a la funda

r = recorrido

Por lo tanto:

$$L_c = L_{MH} + r + 2 * A_s + 2 * X_t \quad (\text{Ec. 4.13})$$

Donde:

L_c = Longitud de la cuchilla

L_{MH} = Longitud mordaza horizontal

A_s = Ancho del soporte

X_t = Distancia para evitar el contacto

Entonces:

$$L_c = 200 + 23 + 2 * 6 + 2 * 5 = 245 \text{ mm}$$

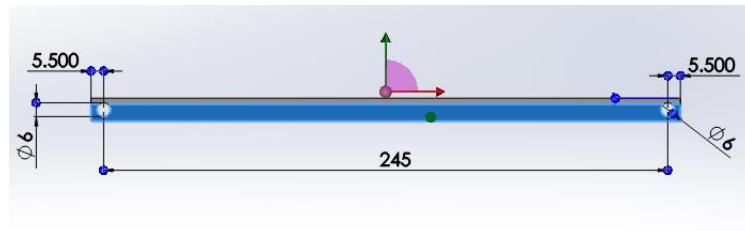


Fig. 4.21 Dimensionamiento de la cuchilla

4.1.3.2. Selección del Pistón de Corte

La fuerza no es un parámetro crítico dentro del diseño, puesto que basta la carrera para seleccionar el cilindro neumático (Fig. 4.22)

De los catálogos de FESTO se selecciona un cilindro normalizado DSNU-16-25-P-A, en unidades métricas con un diámetro de émbolo de 16 mm y una carrera de 25 mm. En el anexo H se encuentra todas las características técnicas del cilindro seleccionado.

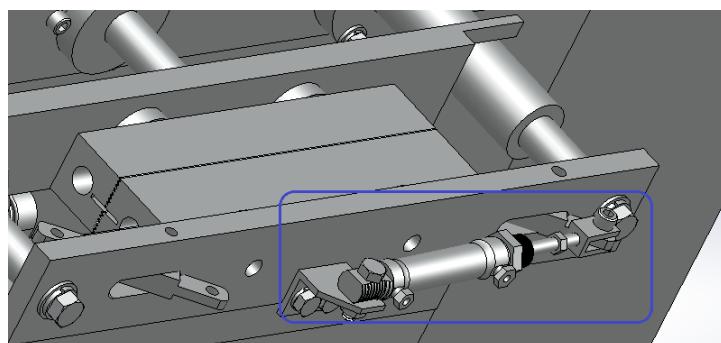


Fig. 4.22 Pistón acoplado al mecanismo de corte

4.1.4. SISTEMA DE SELLADO

4.1.4.1. Sellado Horizontal

La longitud de las mordazas horizontales depende principalmente del espacio que ocupa la niquelina la cual debe ser mayor al ancho de la funda requerida (Fig. 4.23).
Así tenemos:

$$L_{mordaza\ horizontal} > L_{niquielina} > A_F$$

$$L_{mordaza\ horizontal} > 180\ mm > 125\ mm$$

$$\therefore L_{mordaza\ horizontal} = 200\ mm$$

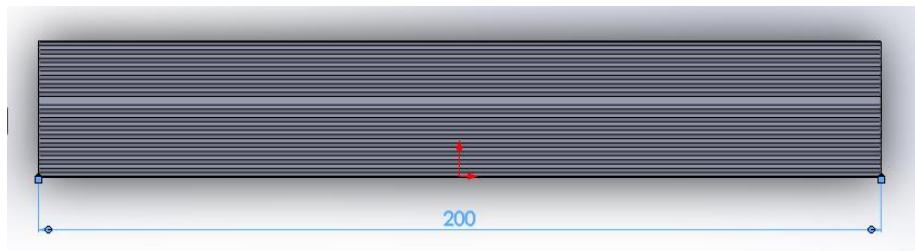


Fig. 4.23 Longitud de la mordaza horizontal

Nota: Se consideró 10 mm de variación a cada lado para la correcta colocación de las niquelinas.

Para el alto se toma en cuenta la distancia del sellado superior e inferior de la funda junto con la cavidad que permite el desplazamiento de la cuchilla de corte, cuyo espesor es de 2mm (Fig. 4.24).

Por lo tanto tenemos:

$$h_{MH} = S_S + S_I + C \quad (Ec.\ 4.14)$$

Donde:

h_{MH} = Altura de la mordaza horizontal

S_S = Superficie de sellado superior

S_I = Superficie de sellado inferior

Entonces:

$$h_{MH} = 17 + 13 + 2 = 32 \text{ mm}$$

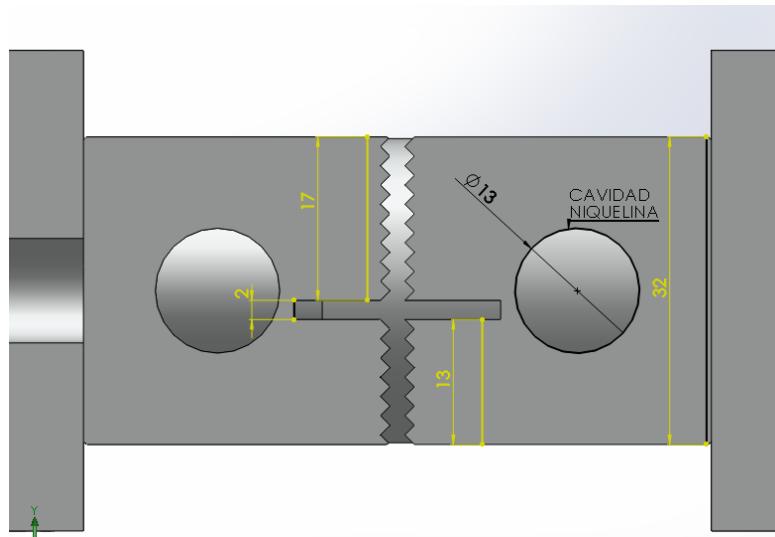


Fig. 4.24 Distribución de la altura de la mordaza horizontal

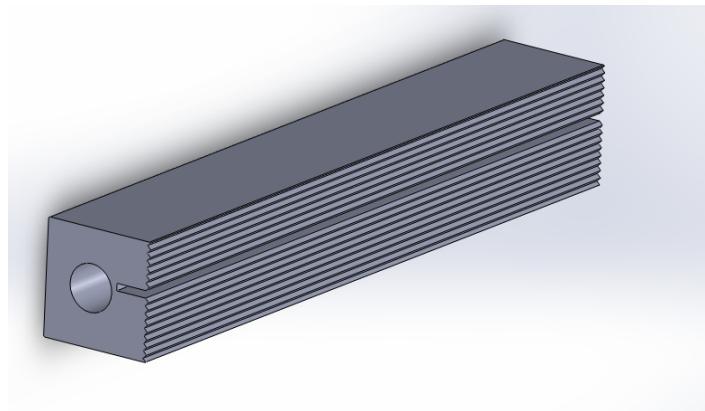


Fig. 4.25 Dibujo isométrico de la mordaza horizontal

4.1.4.1.2. Placa soporte mordaza exterior

La placa soporte además de proporcionar sostén a la mordaza y al sistema de corte, permite enlazar todo el sistema de sellado horizontal mediante dos ejes que estarán unidos a la placa soporte del pistón de accionamiento, que a su vez está unido a la placa soporte de la mordaza interior. Para el largo de la placa se considera el largo de la mordaza, un espacio para el recorrido del mecanismo de corte y un espacio de variación entre el borde de la placa y los ejes (Fig. 4.26).

$$L_{PE} = L_{MH} + 2 * r + 2 * X_B \quad (Ec. 4.15)$$

Donde:

L_{PE} = Longitud de la placa soporte de la mordaza exterior

X_B = Distancia de variación al borde

Entonces:

$$L_{PE} = 200 \text{ mm} + 2(75 \text{ mm}) + 2(17.5 \text{ mm}) = 385 \text{ mm}$$

El alto está definido únicamente por la altura de las mordazas e igualmente se coloca una variación a los extremos superior e inferior.

$$h_{PE} = h_{MH} + X_B \quad (Ec. 4.16)$$

Donde:

h_{PE} = Altura de la placa soporte de la mordaza exterior

Entonces:

$$h_{PE} = 32 \text{ mm} + 17.5 \text{ mm} = 49.5 \text{ mm} \approx 50 \text{ mm}$$

Además la placa contiene los agujeros para acoplar los ejes, así como las chavetas para los soportes de la cuchilla y el movimiento del sistema de corte, necesitando un espesor de 8 mm

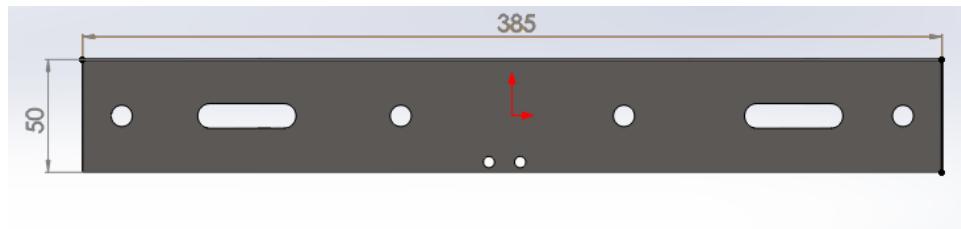


Fig. 4.26 Dimensionamiento de la placa soporte de la mordaza exterior

Análisis de cargas:

La placa soporte de la mordaza exterior está sometida a la fuerza ejercida por el pistón de sellado vertical (754 N), en el momento del cierre completo de las mordazas y se la representa como una carga lineal distribuida en el área de contacto con la placa (Fig. 4.27).

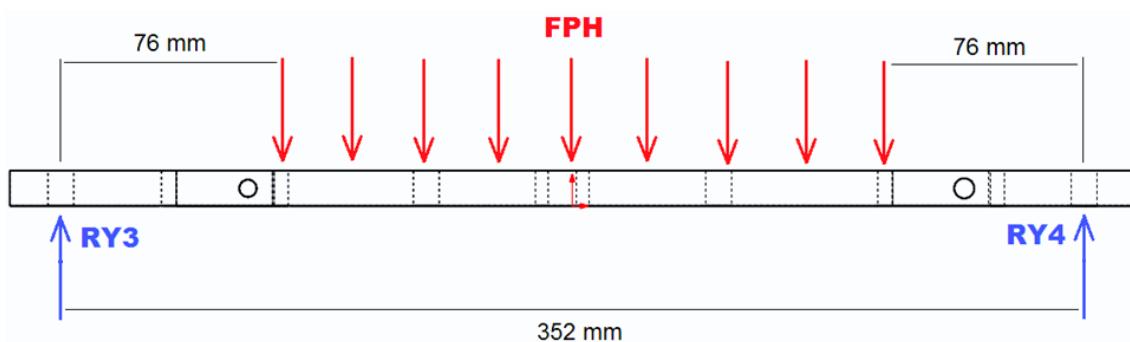


Fig. 4.27 Diagrama de fuerzas de la placa soporte de la mordaza exterior

Con la ayuda del software MDSolids obtenemos los valores máximos de la fuerza cortante y el momento flector (Fig. 4.28) producidos en la placa soporte de la mordaza exterior.

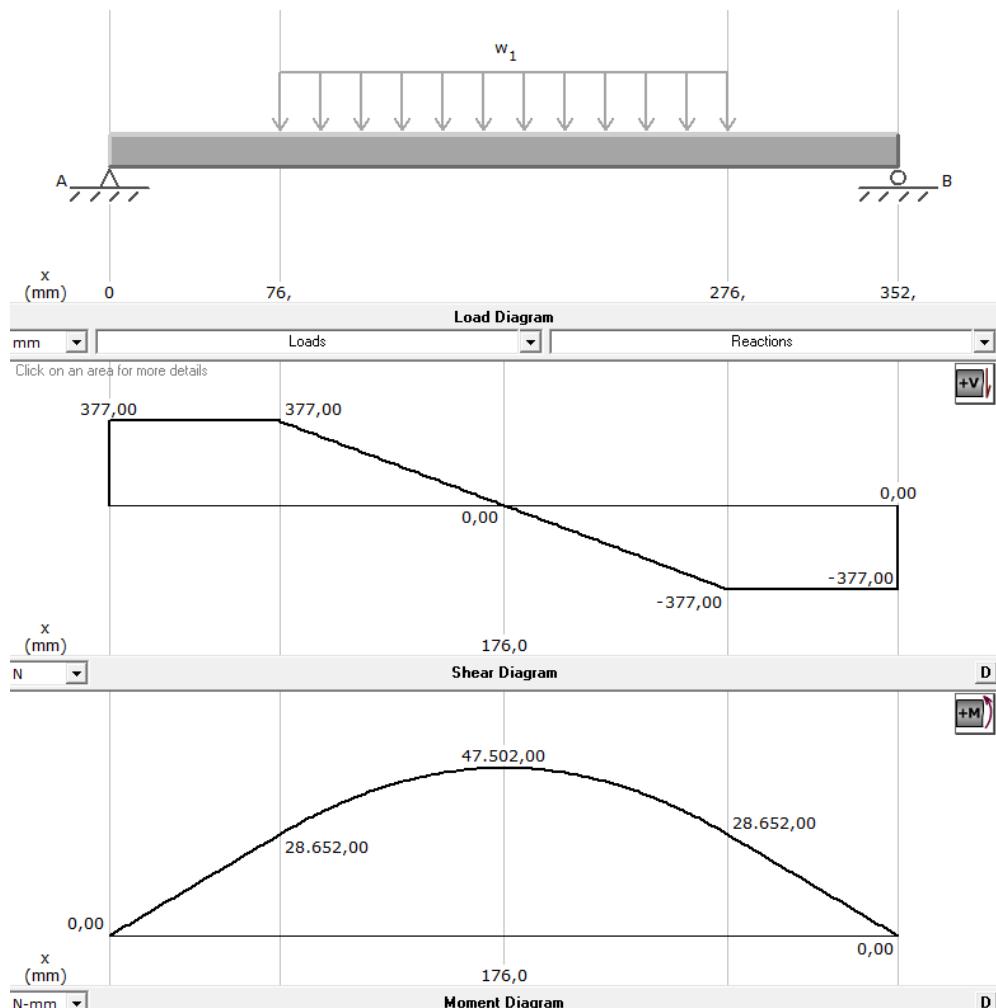


Fig. 4.28 Diagramas de fuerza cortante y momento flector de la placa soporte de la mordaza exterior²⁶

²⁶ Timothy A. Philpot, Software MDSolids V 3.5.0, 2009.

Obtenemos como resultado que la fuerza cortante máxima es de 377 N y el momento flector máximo es de 47502 N-mm.

El mayor esfuerzo que sufre la placa es debido a la flexión y por tanto tenemos:

$$\sigma_{Fme} = \frac{M_{me}}{S_{me}} \quad (Ec. 4.17)$$

Donde:

σ_{Fme} = Esfuerzo por flexión del soporte de la mordaza exterior

M_{me} = Momento de flexión máximo en el soporte de la mordaza exterior

S_{me} = Módulo de sección del soporte de la mordaza exterior

Del anexo A, obtenemos el módulo de sección de un rectángulo y para este caso tenemos:

$$S_{me} = \frac{h_{PE} * e_{me}^2}{6} = \frac{50 * 8^2}{6} = 533.33 \text{ mm}^3 \quad (Ec. 4.18)$$

Donde:

e_{me} = espesor del soporte de la mordaza exterior

Entonces:

$$\sigma_{Fme} = \frac{47502}{533.33} = 89.07 \text{ MPa}$$

El factor de seguridad se obtiene con referencia al límite elástico del acero AISI 304 ($\sigma_E = 206.607 \text{ MPa}$), por tanto:

$$FS = \frac{\sigma_E}{\sigma_{Fme}} = \frac{206.607}{89.07} = 2.32$$

Simulación:

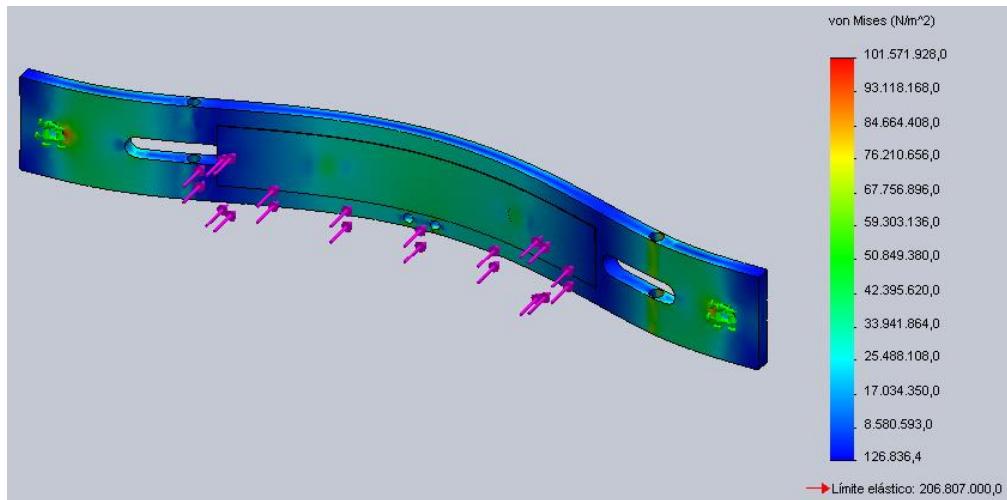


Fig. 4.29 Simulación del límite elástico de la placa soporte de la mordaza exterior²⁷

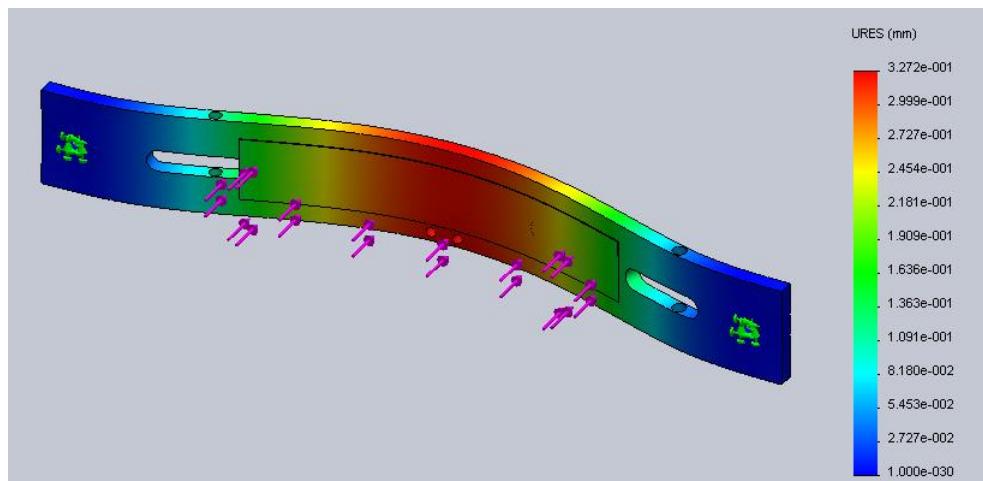


Fig. 4.30 Simulación del desplazamiento de la placa soporte de la mordaza exterior²⁸

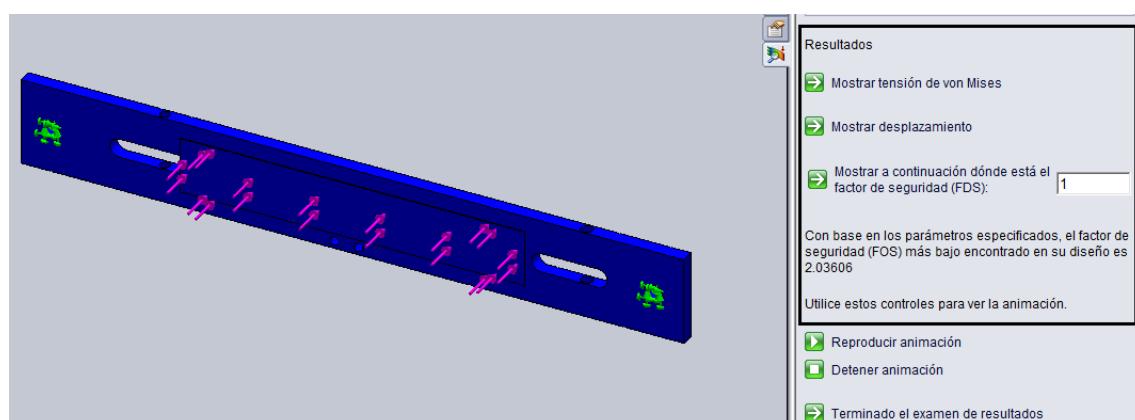


Fig. 4.31 Simulación del factor de seguridad de la placa soporte de la mordaza exterior²⁹

²⁷ SimulationXpress SoldWorks Dassault Systems 2012

²⁸ SimulationXpress SoldWorks Dassault Systems 2012

De la simulación CAD se obtuvo que con base a los parámetros especificados, el factor de seguridad más bajo encontrado en el diseño es de 2.04 (Fig. 4.31).

Resumen de los factores de seguridad:

Referencia	Análisis	Simulación	Error
2,0-2,5	2,32	2,04	3.11%

Tabla 4.4 Resumen factor de seguridad de la placa soporte de la mordaza exterior

El factor de seguridad obtenido de 2.04 está dentro de los parámetros de referencia establecidos. El porcentaje de error se debe a que los apoyos de la placa están únicamente en los dos agujeros de sujeción y no a lo largo de toda su altura como se consideró en el análisis.

4.1.4.1.3. Placa soporte mordaza interior

La placa se deslizará en el espacio comprendido entre ambos ejes anteriormente mencionados, por tanto su largo será las dimensiones de dicho espacio, tomando en cuenta una reducción que permita su libre desplazamiento. Además cuenta con un apoyo en cada extremo que garantiza que la mordaza se encuentre a nivel en todo instante (Fig. 4.32). El espesor igualmente es de 10 mm.

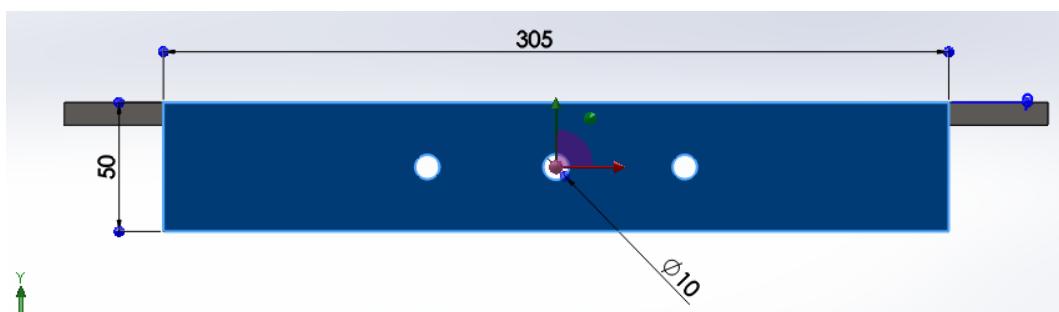


Fig. 4.32 Dimensionamiento de la placa soporte de la mordaza interior

Análisis de cargas:

Los apoyos de la placa soportan el peso de la mordaza interior (12.2N) mismo que se distribuye a los pernos de sujeción (Fig. 4.33).

²⁹ SimulationXpress SolidWorks Dassault Systems 2012

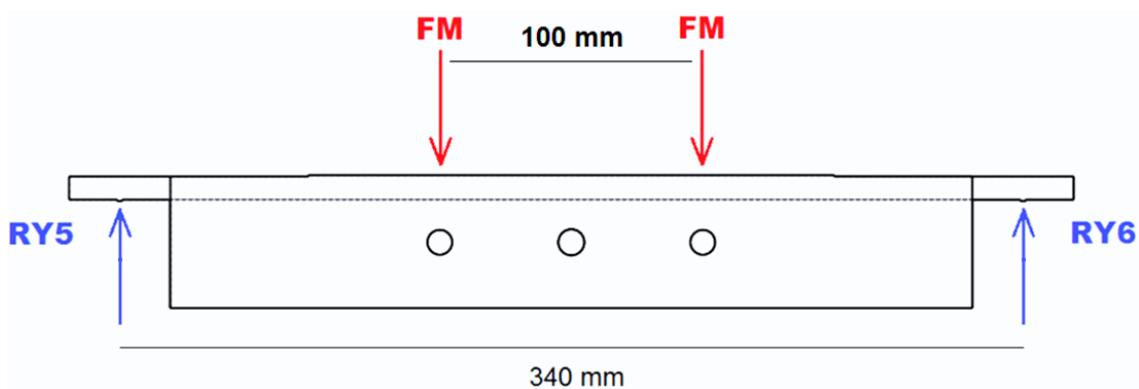


Fig. 4.33 Diagrama de fuerzas de la placa soporte de la mordaza interior

Con la ayuda del software MDSolids obtenemos los valores máximos de la fuerza cortante y el momento flector (Fig. 4.34) producidos en la placa soporte de la mordaza interior.

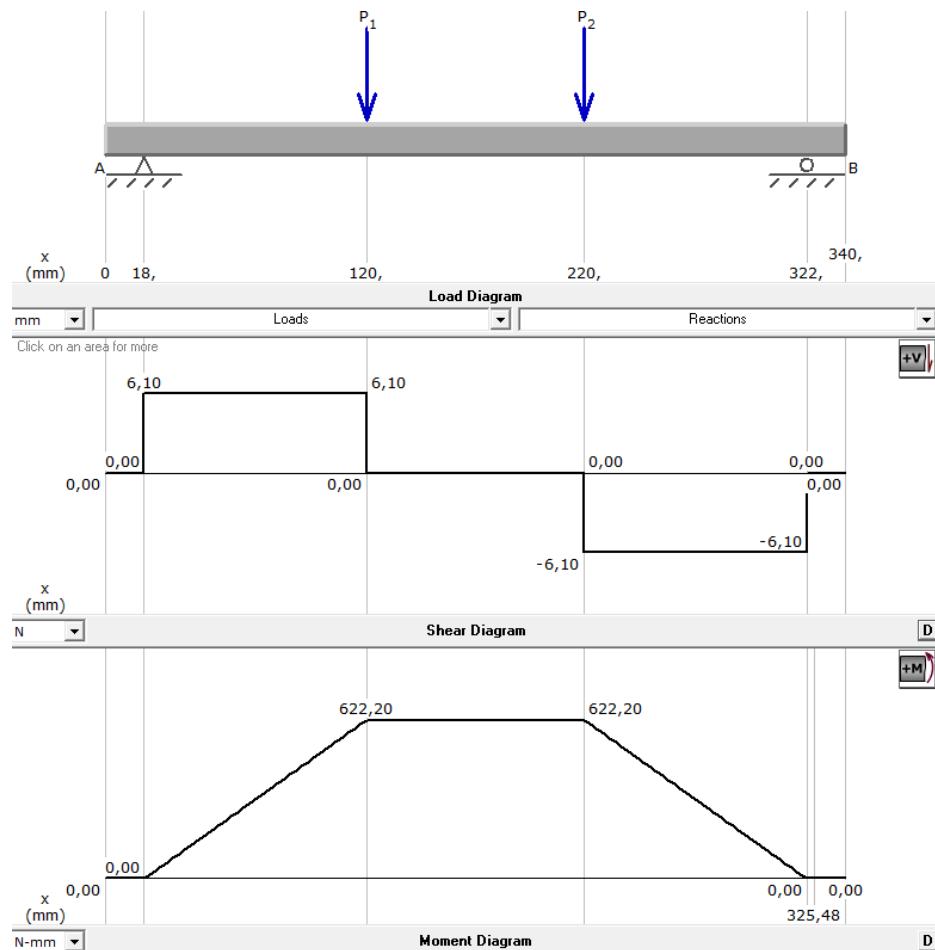


Fig. 4.34 Diagramas de fuerza cortante y momento flector de la placa soporte de la mordaza interior³⁰

³⁰ Timothy A. Philpot, Software MDSolids V 3.5.0, 2009.

Obtenemos como resultado que la fuerza cortante máxima es de 6.1 N y el momento flector máximo es de 622.2 N-mm.

El mayor esfuerzo que sufre la placa es debido a la flexión y por tanto tenemos:

$$\sigma_{Fmi} = \frac{M_{mi}}{S_{mi}} \quad (Ec. 4.19)$$

Donde:

σ_{Fmi} = Esfuerzo por flexión del soporte de la mordaza interior

M_{mi} = Momento de flexión máximo en el soporte de la mordaza interior

S_{mi} = Módulo de sección de los apoyos de la placa soporte

Del anexo A, obtenemos el módulo de sección de un rectángulo y para este caso tenemos:

$$S_{mi} = \frac{h_{ai} * b_{ai}^2}{6} = \frac{8.8 * 2.8^2}{6} = 11.5 \text{ mm}^3 \quad (Ec. 4.20)$$

Donde:

b_{ai} = Ancho de los apoyos de la placa soporte

h_{ai} = Altura de los apoyos de la placa soporte

Entonces:

$$\sigma_{Fmi} = \frac{622.2}{11.5} = 54.11 \text{ MPa}$$

El factor de seguridad se obtiene con referencia al límite elástico del acero AISI 304 ($\sigma_E = 206.607 \text{ MPa}$), por tanto:

$$FS = \frac{\sigma_E}{\sigma_{Fmi}} = \frac{206.607}{54.11} = 3.82$$

Simulación:

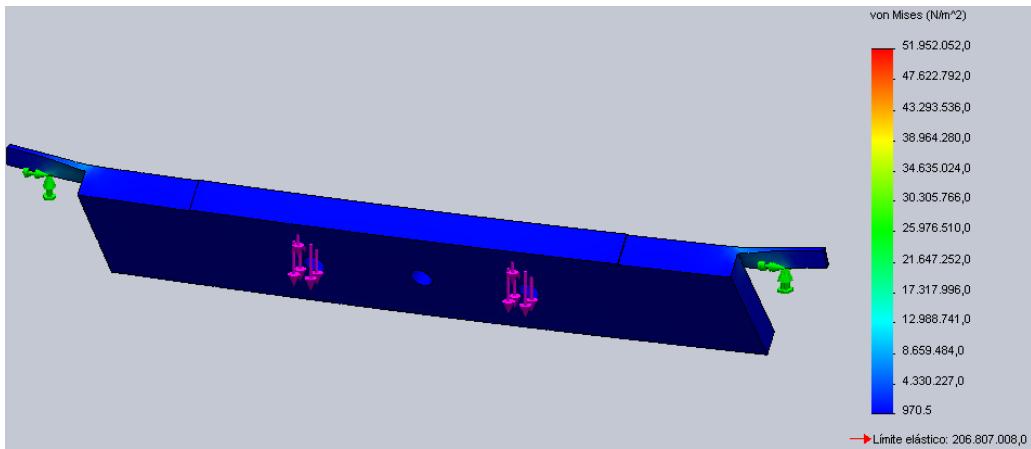


Fig. 4.35 Simulación del límite elástico de la placa soporte de la mordaza interior³¹

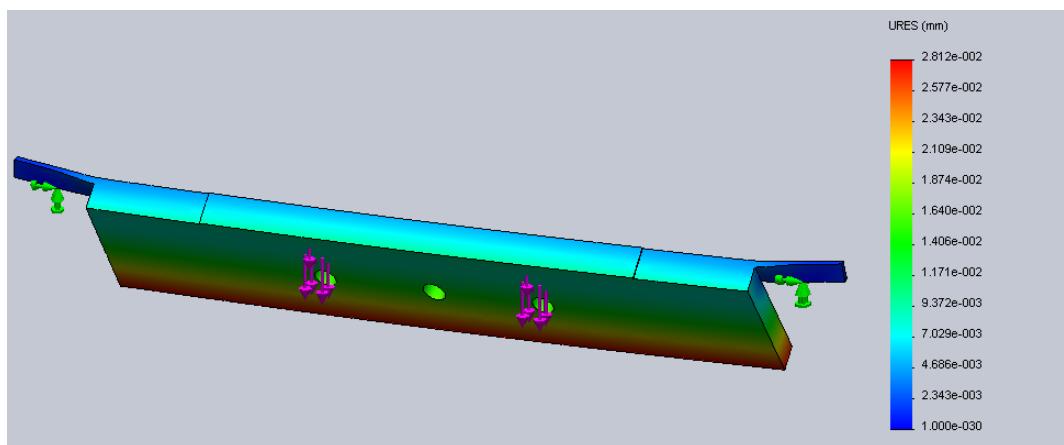


Fig. 4.36 Simulación del desplazamiento de la placa soporte de la mordaza interior³²

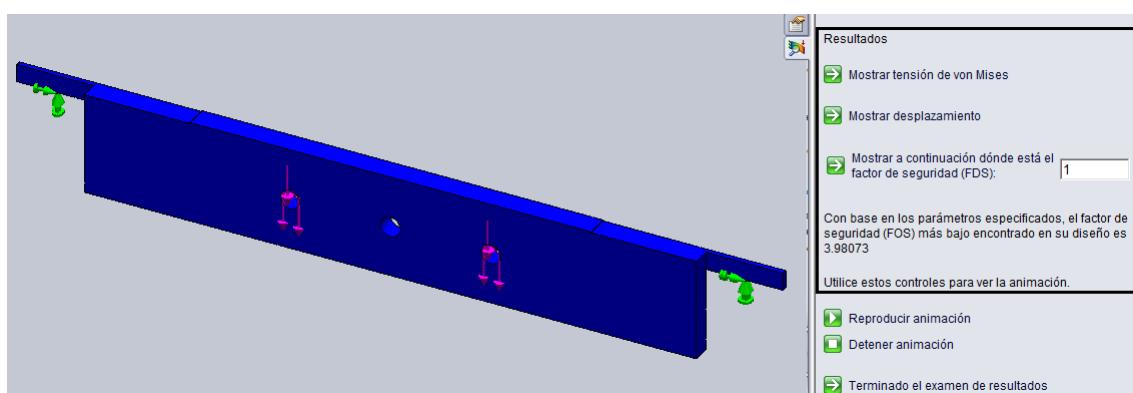


Fig. 4.37 Simulación del factor de seguridad de la placa soporte de la mordaza exterior³³

³¹ SimulationXpress SoldWorks Dassault Systems 2012

³² SimulationXpress SoldWorks Dassault Systems 2012

³³ SimulationXpress SoldWorks Dassault Systems 2012

De la simulación CAD se obtuvo que con base a los parámetros especificados, el factor de seguridad más bajo encontrado en el diseño es de 3.98 (Fig. 4.37).

Resumen de los factores de seguridad:

Referencia	Análisis	Simulación	Error
2,0-2,5	3,82	3,98	69.78%

Tabla 4.5 Resumen factor de seguridad de la placa soporte de la mordaza interior

El factor de seguridad para este caso es de 3.98 ya que los apoyos de la placa además de servir como soporte para la mordaza, sirven de guía para que esta se mantenga horizontal durante todo su recorrido y por tanto deben tener un espesor mayor al que se establecería con un factor de seguridad de 2.0-2.5.

4.1.4.1.4. Selección del pistón de sellado horizontal

En base al método seleccionado de accionamiento, cuyo principio es la apertura y cierre de mordazas mediante un solo pistón, se utiliza un mecanismo de polea con cadena, mismo que transmite el movimiento a las dos mordazas (Fig. 4.38).

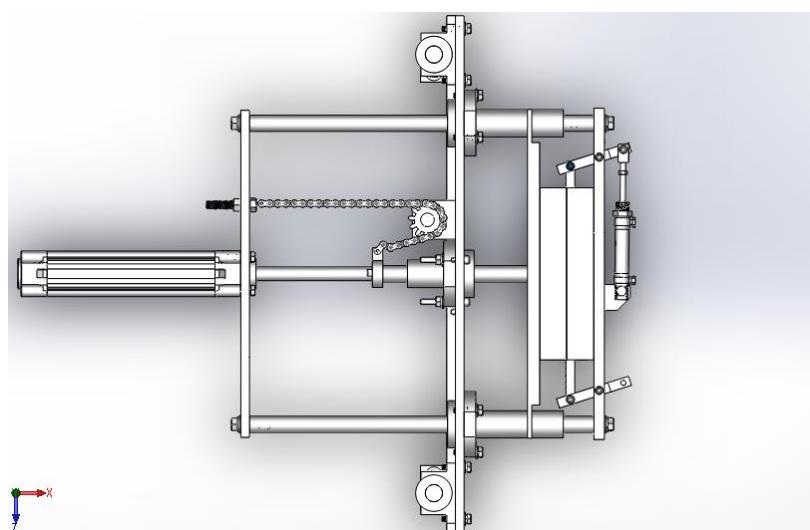


Fig. 4.38 Pistón acoplado al sistema de sellado horizontal

El funcionamiento del sistema se simplifica en el siguiente diagrama (Fig. 4.39).

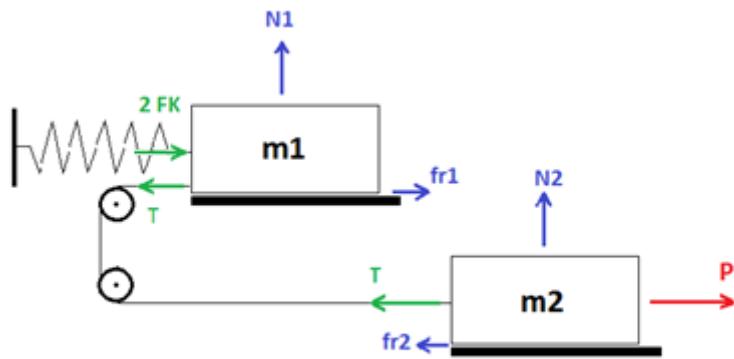


Fig. 4.39 Diagrama de bloques simplificado para el sistema de sellado horizontal

Análisis:

La máxima fuerza ejercida por el pistón ocurre en el instante en el que las mordazas se encuentran en la posición de apertura y los resortes están contraídos.

Primer bloque:

$$\begin{aligned} T &= 2FK + fr_1 \\ T &= 2k * x + \mu * N_1 \\ T &= 2k * x + \mu * m_1 * g \end{aligned}$$

Segundo bloque:

$$\begin{aligned} F_p &= T + fr_2 \\ F_p &= T + \mu * N_2 \\ F_p &= T + \mu * m_2 * g \end{aligned}$$

Reemplazando:

$$\begin{aligned} F_p &= 2k * x + \mu * m_1 * g + \mu * m_2 * g \\ F_p &= \mu * g * (m_1 + m_2) + 2k * x \\ F_p &= 0,74 * (9,8)(5,370) + 2 * (3,8)(75) \\ F_p &= 38,94 + 570 = 608,9 \text{ N} \end{aligned}$$

De los catálogos de FESTO se selecciona un cilindro neumático (DNC-40-80-PPV) con una carrera de 80 mm y un embolo de 40 mm de diámetro que proporcionan 633 N de fuerza de Retroceso con 6 bares de Presión.

En el anexo H se encuentra todas las características técnicas del cilindro seleccionado.

4.1.4.1.5. Placa soporte del pistón de sellado horizontal

Las dimensiones de esta placa son muy similares a la anterior, debido que están conectadas mediante dos ejes mismos que sirvan de guía para el movimiento horizontal del mecanismo de sellado.

Cuenta con un orificio central mismo que cumple la función de apoyo y acople para el borde del pistón, ubicando al eje del mismo de forma perpendicular, logrando que en el momento de su accionamiento se proceda al desplazamiento horizontal del embolo provocando el movimiento necesario para la apertura y cierre de mordazas (Fig. 4.40).

Adicionalmente cuenta con un orificio que sirve para regular la longitud de la cadena que se acopla al sistema. El espesor de la placa será de 10 mm.

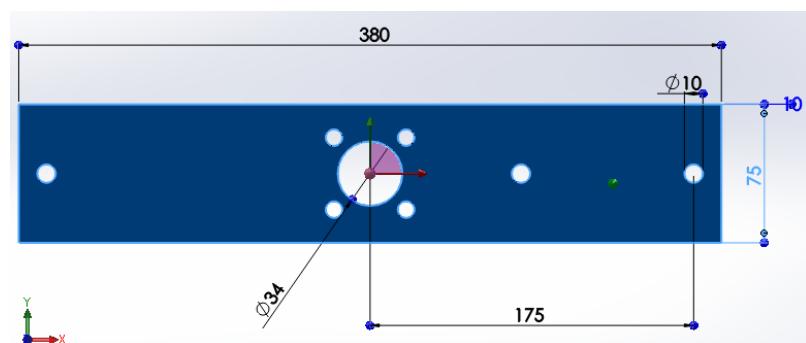


Fig. 4.40 Placa soporte del pistón de sellado horizontal

Análisis de Cargas:

La placa soporta la fuerza aplicada por el pistón de sellado horizontal (754N) que se transmite a través de una cadena cuyo punto de sujeción recae sobre el orificio de la Fig. 4.41.

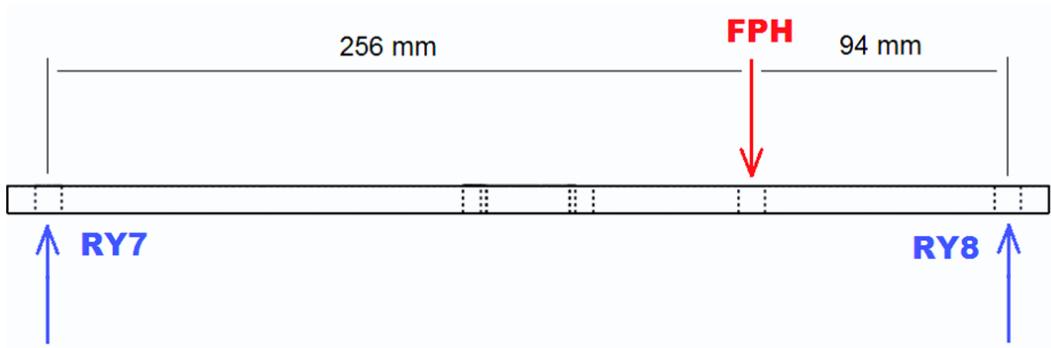


Fig. 4.41 Diagrama de fuerzas de la placa soporte del pistón de sellado horizontal

Con la ayuda del software MDSolids obtenemos los valores máximos de la fuerza cortante y el momento flector (Fig. 4.42) producidos en la placa soporte del pistón de sellado horizontal.

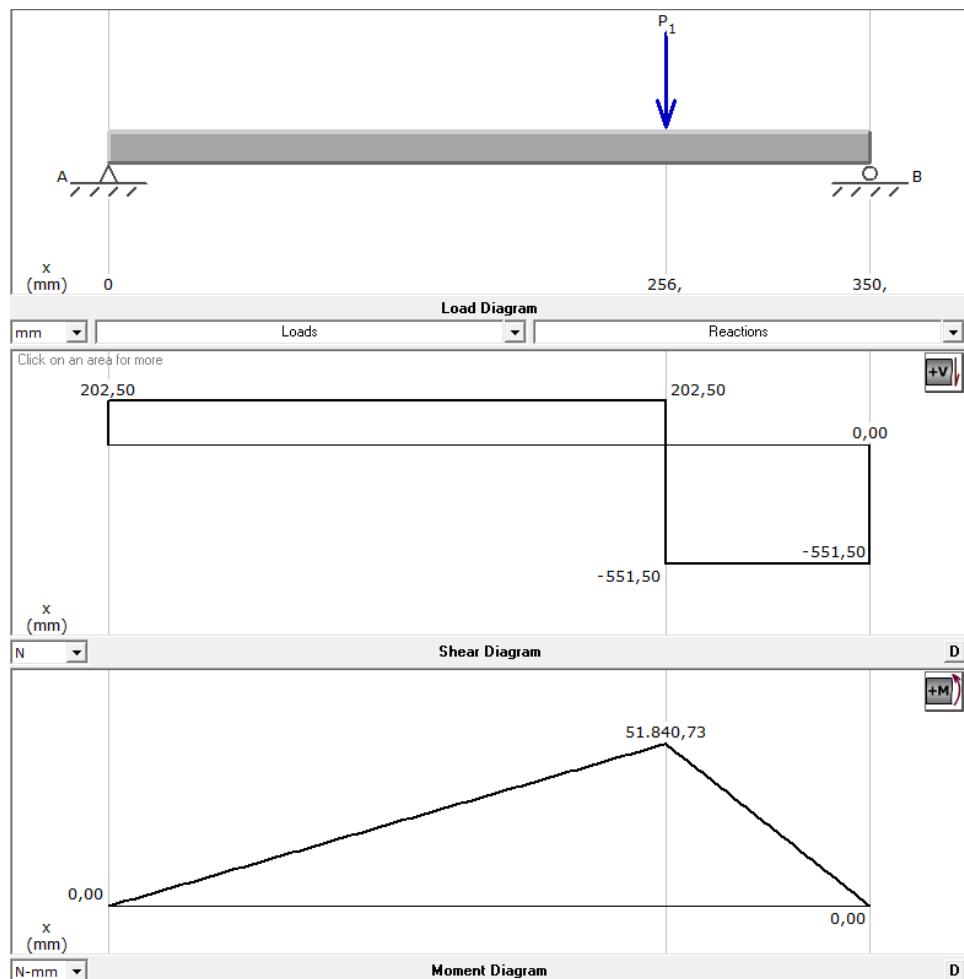


Fig. 4.42 Diagramas de fuerza cortante y momento flector de la placa soporte del pistón de sellado horizontal³⁴

³⁴ Timothy A. Philpot, Software MDSolids V 3.5.0, 2009.

Obtenemos como resultado que la fuerza cortante máxima es de 551.5 N y el momento flector máximo es de 51840.73 N-mm.

El mayor esfuerzo que sufre la placa es debido a la flexión y por tanto tenemos:

$$\sigma_{Fph} = \frac{M_{ph}}{S_{ph}} \quad (Ec. 4.21)$$

Donde:

σ_{Fph} = Esfuerzo por flexión del soporte de la mordaza interior

M_{ph} = Momento de flexión máximo en el soporte de la mordaza interior

S_{ph} = Módulo de sección de los apoyos de la placa soporte

Del anexo A, obtenemos el módulo de sección de un rectángulo y para este caso tenemos:

$$S_{ph} = \frac{h_{ph} * e_{ph}^2}{6} = \frac{75 * 7^2}{6} = 612.5 \text{ mm}^3 \quad (Ec. 4.22)$$

Donde:

h_{ph} = Altura de la placa soporte del pistón de sellado horizontal

e_{ph} = Espesor de la placa soporte del pistón de sellado horizontal

Entonces:

$$\sigma_{Fph} = \frac{51840.73}{612.5} = 84.64 \text{ MPa}$$

El factor de seguridad se obtiene con referencia al límite elástico del acero AISI 304 ($\sigma_E = 206.607 \text{ MPa}$), por tanto:

$$FS = \frac{\sigma_E}{\sigma_{Fph}} = \frac{206.607}{84.64} = 2.44$$

Simulación:

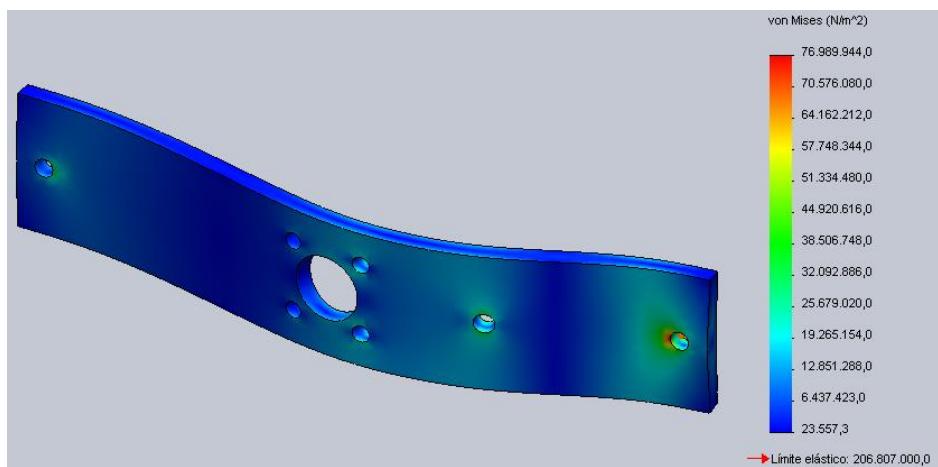


Fig. 4.43 Simulación del límite elástico de la placa soporte del pistón de sellado horizontal³⁵

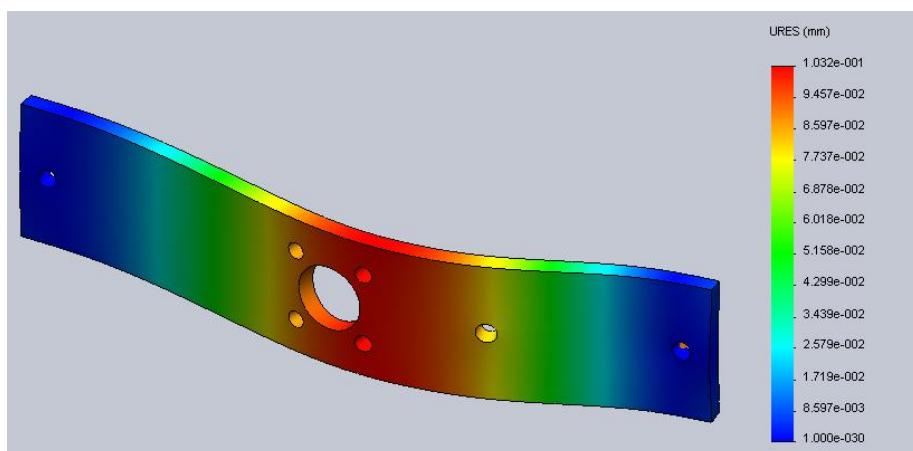


Fig. 4.44 Simulación del desplazamiento de la placa soporte del pistón de sellado horizontal³⁶

³⁵ SimulationXpress SoldWorks Dassault Systems 2012

³⁶ SimulationXpress SoldWorks Dassault Systems 2012

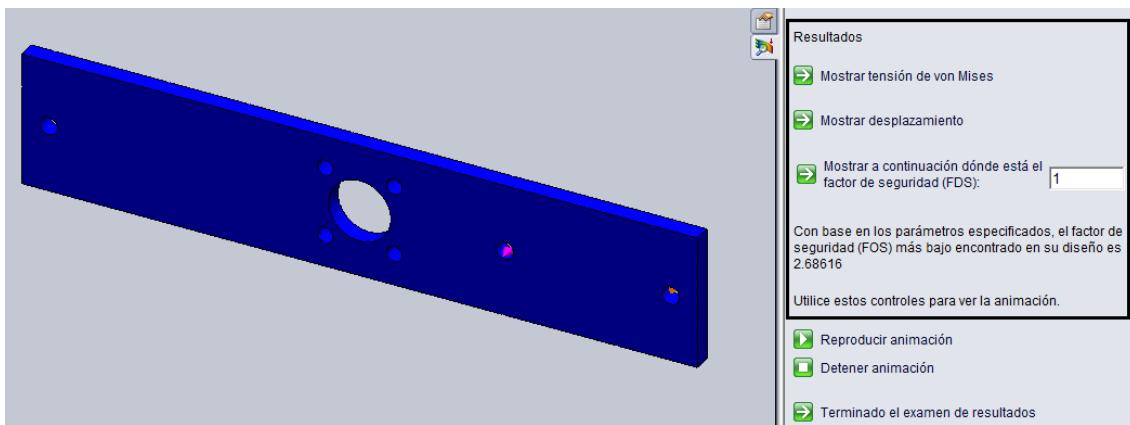


Fig. 4.45 Simulación del factor de seguridad de la placa soporte del pistón de sellado horizontal³⁷

De la simulación CAD se obtuvo que con base a los parámetros especificados, el factor de seguridad más bajo encontrado en el diseño es de 2.69 (Fig. 4.45).

Resumen de los factores de seguridad:

Referencia	Análisis	Simulación	Error
2,0-2,5	2,44	2,69	8.44%

Tabla 4.6 Resumen factor de seguridad de la placa soporte del pistón de sellado horizontal

El error obtenido se debe a que la fuerza aplicada en la placa se produce únicamente en el agujero de sujeción de la cadena.

4.1.4.1.6. Guías y Apoyos de Ejes Horizontales

Facilitan el movimiento de los ejes, manteniéndolos estables al momento de realizar el desplazamiento horizontal del sistema de sellado. El diámetro de la cavidad interior viene dado por el eje seleccionado de $\frac{3}{4}$ de pulgada.

³⁷ SimulationXpress SolidWorks Dassault Systems 2012

Mientras el eje se encuentre con mayor espacio de guiado el movimiento será más fluido, por lo cual se usó una distancia en cada apoyo, con el fin de no afectar a la apertura y cierra de las mordazas.

Adicionalmente tiene una base que permite acoplarse a la placa central del sistema (Fig. 4.46 y 4.47).

$$d_i = d_{eje} = \frac{3}{4} \text{ pulg}$$

$$l_{apoyo} = 10 \text{ cm}$$

$$d_e = 30 \text{ mm}$$

Donde:

d_i = diámetro interior del apoyo

l_{apoyo} = longitud de apoyo

d_e = diámetro exterior

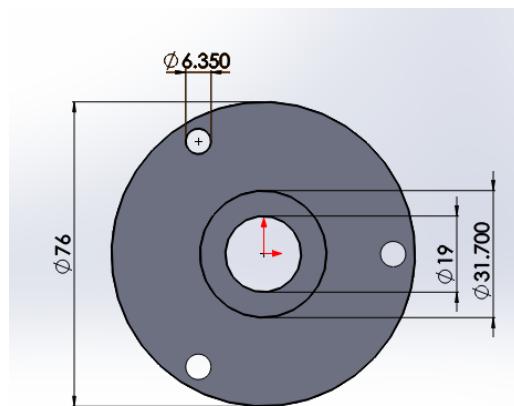


Fig. 4.46 Dimensionamiento del apoyo de ejes horizontales (vista frontal)

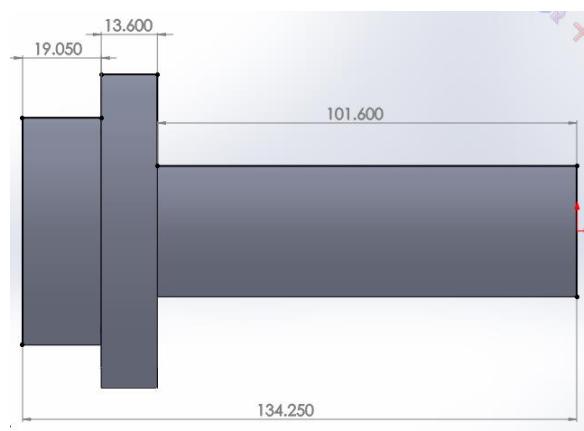


Fig. 4.47 Dimensionamiento del apoyo de ejes horizontales (vista lateral)

4.1.4.1.7. Placa Central

Esta placa sirve de guía para los ejes tanto horizontales como verticales, que corresponden al sellado horizontal como para el arrastre del polímero respectivamente.

Cuenta con cavidades para el empotramiento de las piezas guías de los ejes así como el orificio que permite conectar el embolo del pistón de sellado con la placa soporte de mordaza interior y en los extremos se ubicarán los bocines para la estabilización de los ejes verticales (Fig. 4.48).

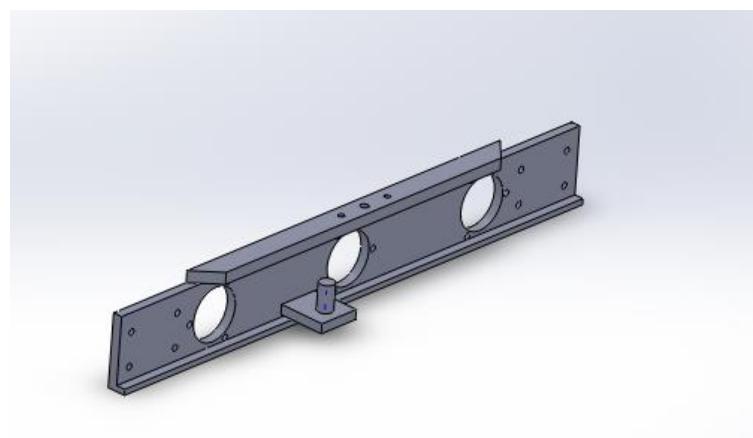


Fig. 4.48 Isometría de la placa central

Adicionalmente contiene un acople que sirve como eje al engranaje que permite que la cadena transmita el movimiento de la mordaza interior hacia la mordaza exterior.

En la parte superior de la placa se tiene un enganche mecánico que sirve como punto de apoyo para la tracción al momento de realizar el desplazamiento vertical del sistema de sellado y corte.

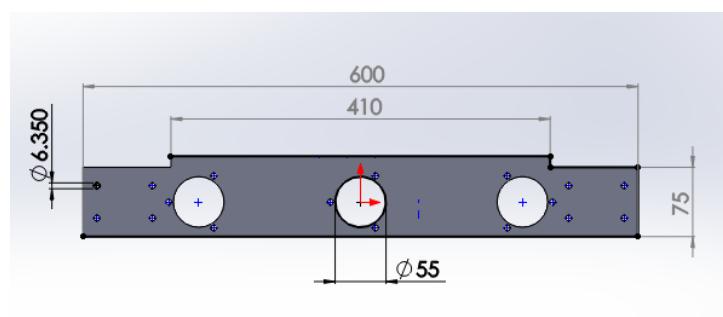


Fig. 4.49 Dimensionamiento de la placa central

4.1.4.2. Sellado Vertical

4.1.4.2.1. Mordaza de sellado vertical

Para el dimensionamiento de la altura de la mordaza vertical se toma en cuenta la máxima longitud de la funda la cual es 220 mm, así como también la longitud de la niquelina que va en su interior, además se considera 5 mm de variación a cada extremo para obtener un correcto sellado a lo largo de la funda.

$$L_{mordaza\ vertical} > h_{fu} > L_{niquelina}$$

$$L_{mordaza\ vertical} > 220\ mm > 180\ mm$$

$$\therefore L_{mordaza\ vertical} = 230\ mm$$

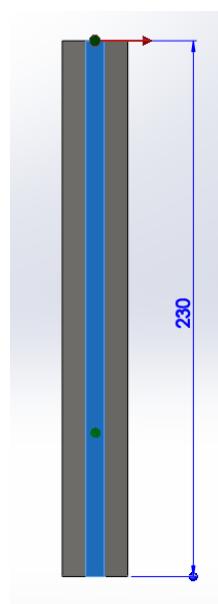


Fig. 4.50 Longitud de la mordaza vertical

La funda requiere un ancho de sellado de 7mm, por lo que nuestra mordaza tiene una sección transversal en forma de trapecio (Fig. 4.51), donde la dimensión de la base menor es del ancho requerido. Su base mayor es dimensionada tomando en cuenta el diámetro de la cavidad que contiene a la niquelina instalada en su interior igual a 13 mm.

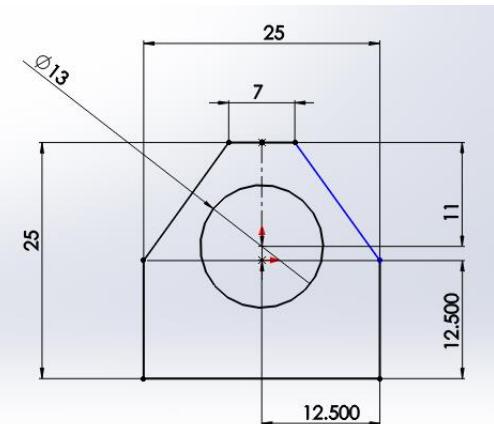


Fig. 4.51 Sección transversal de la mordaza vertical

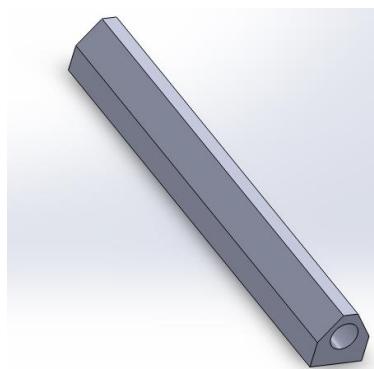


Fig. 4.52 Isometría de la mordaza vertical

4.1.4.2.2. Placa soporte mordaza de sellado vertical

Esta placa además de servir como soporte cumple la función de ejercer el desplazamiento de la mordaza hacia el tubo de alimentación para realizar el sello vertical. Por este motivo se acopla un mecanismo tipo bisagra que permita dicho trabajo.

La geometría en el tope de la placa depende de la ubicación y el tipo de acople que se incorpora en el pistón que genera el movimiento. La longitud total está dado por el largo de la placa soporte del formador más la geometría de acople para el accionamiento mediante el pistón (Fig. 4.53).

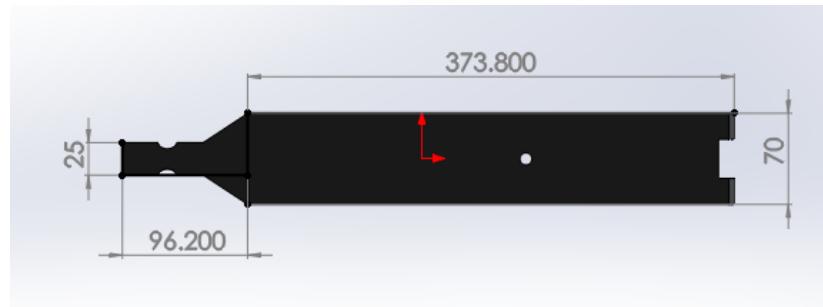


Fig. 4.53 Dimensionamiento de la placa soporte de la mordaza de sellado vertical

Análisis de Cargas:

La placa soporta la fuerza ejercida por el pistón de sellado vertical (120.6 N) en su extremo izquierdo como se muestra en la Fig. 4.54.

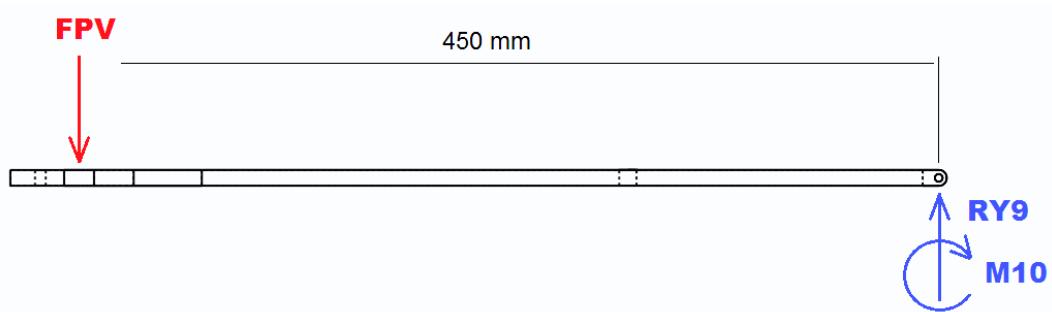


Fig. 4.54 Diagrama de fuerzas de la placa soporte de la mordaza de sellado vertical

Con la ayuda del software MDSolids obtenemos los valores máximos de la fuerza cortante y el momento flector (Fig. 4.55) producidos en la placa soporte del pistón de sellado vertical.

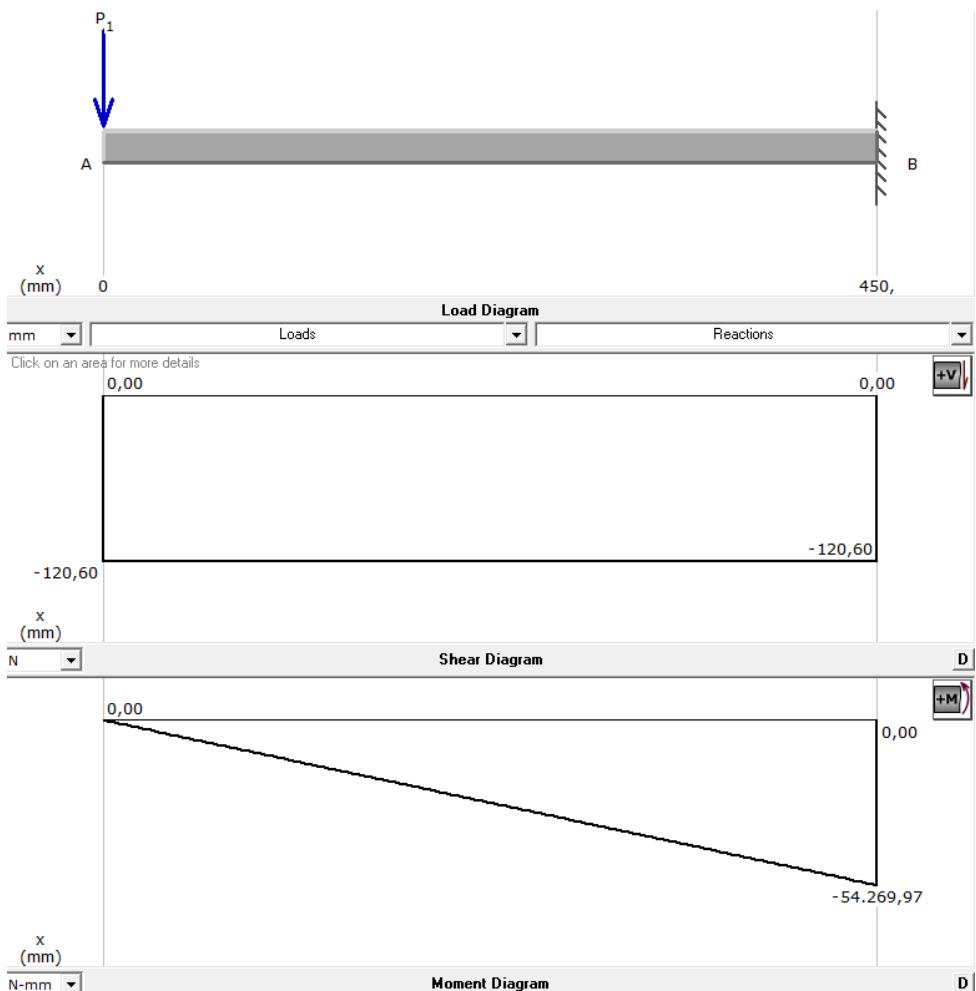


Fig. 4.55 Diagramas de fuerza cortante y momento flector de la placa soporte de la mordaza de sellado vertical³⁸

Obtenemos como resultado que la fuerza cortante máxima es de 120.6 N y el momento flector máximo es de 54269.97 N-mm.

El mayor esfuerzo que sufre la placa es debido a la flexión y por tanto tenemos:

$$\sigma_{Fmv} = \frac{M_{mv}}{S_{mv}} \quad (Ec. 4.24)$$

Donde:

σ_{Fmv} = Esfuerzo por flexión del soporte de la mordaza de sellado vertical

M_{mv} = Momento de flexión máximo en el soporte de sellado vertical

S_{mv} = Módulo de sección del soporte de la mordaza de sellado vertical

³⁸ Timothy A. Philpot, Software MDSolids V 3.5.0, 2009.

Del anexo A, obtenemos el módulo de sección de un rectángulo y para este caso tenemos:

$$S_{mv} = \frac{h_{mv} * e_{mv}^2}{6} = \frac{70 * 7^2}{6} = 571.67 \text{ mm}^3 \quad (\text{Ec. 4.25})$$

Donde:

h_{mv} = Altura de la placa soporte de la mordaza de sellado vertical

e_{mv} = Espesor de la placa soporte de la mordaza de sellado vertical

Entonces:

$$\sigma_{Fmv} = \frac{54269.97}{571.67} = 94.93 \text{ MPa}$$

El factor de seguridad se obtiene con referencia al límite elástico del acero AISI 304 ($\sigma_E = 206.607 \text{ MPa}$), por tanto:

$$FS = \frac{\sigma_E}{\sigma_{Fmv}} = \frac{206.607}{94.93} = 2.18$$

Simulación:

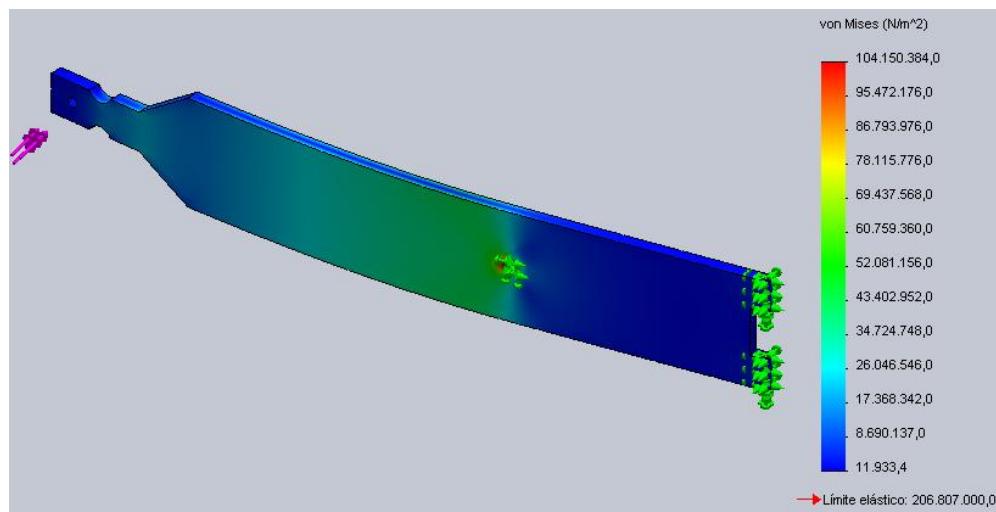


Fig. 4.56 Simulación del límite elástico de la placa soporte de la mordaza de sellado vertical³⁹

³⁹ SimulationXpress SolidWorks Dassault Systems 2012

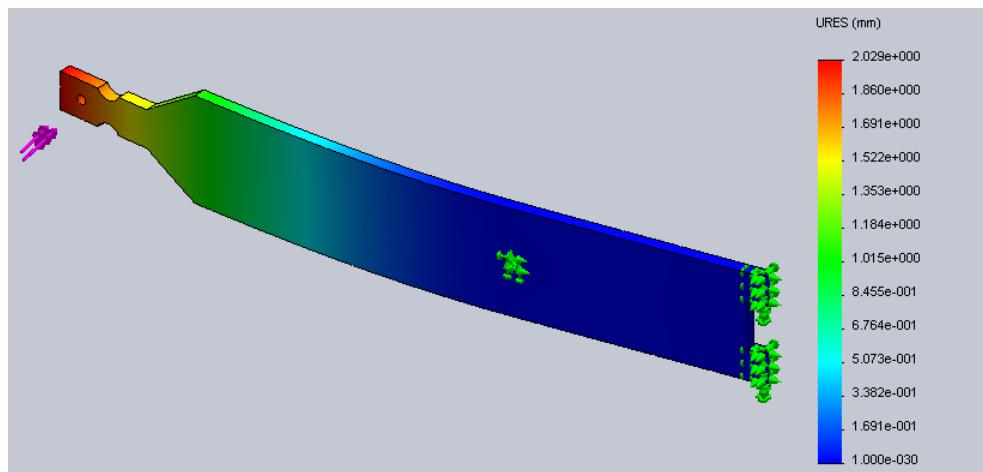


Fig. 4.57 Simulación del desplazamiento de la placa soporte de la mordaza de sellado vertical⁴⁰

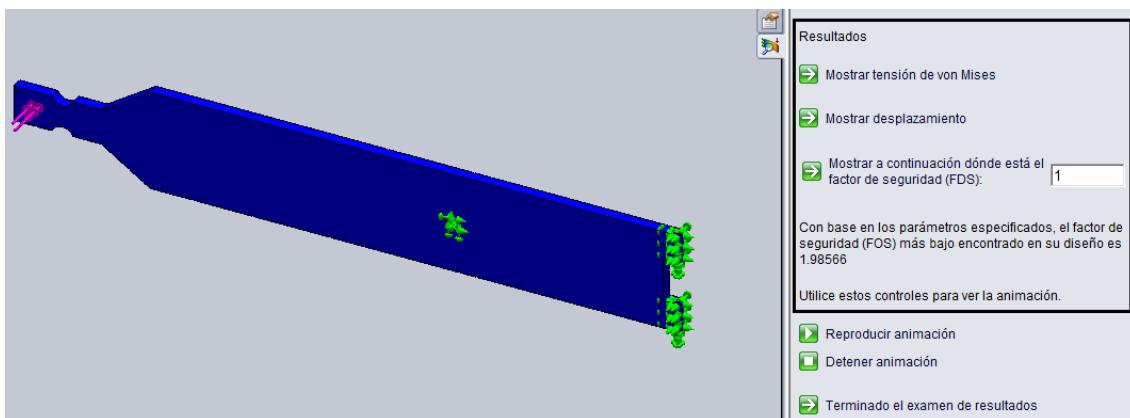


Fig. 4.58 Simulación del factor de seguridad de la placa soporte de la mordaza de sellado vertical⁴¹

De la simulación CAD se obtuvo que con base a los parámetros especificados, el factor de seguridad más bajo encontrado en el diseño es de 1.99 (Fig. 4.58).

Resumen de los factores de seguridad:

Referencia	Análisis	Simulación	Error
2,0-2,5	2,18	1,99	3.11%

Tabla 4.7 Resumen factor de seguridad de la placa soporte de la mordaza de sellado vertical

⁴⁰ SimulationXpress SoldWorks Dassault Systems 2012

⁴¹ SimulationXpress SoldWorks Dassault Systems 2012

El factor de seguridad obtenido de 1.99, está dentro de los parámetros de referencia establecidos. El porcentaje de error existente se debe a que no se consideró en el análisis el cambio de la sección transversal a lo largo de la placa específicamente en la parte del acople del pistón.

4.1.4.2.3. Selección del pistón de sellado vertical

La fuerza no es un parámetro crítico dentro del diseño, puesto que basta la carrera para seleccionar el cilindro neumático. De los catálogos de FESTO se selecciona un cilindro normalizado DSNU-16-25-P-A, en unidades métricas con un diámetro de émbolo de 16 mm y una carrera de 25 mm. En el anexo H se encuentra todas las características técnicas del cilindro seleccionado.

Adicionalmente como extensión del vástagos se acopla una placa metálica de 100mm de largo para poder enlazar el pistón empotrado en la estructura con la geometría de la placa soporte del sellado vertical (Fig. 4.59).

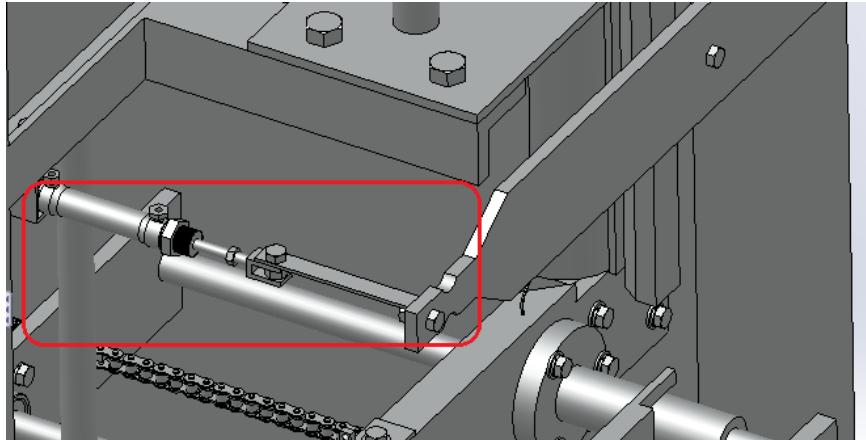


Fig. 4.59 Pistón de sellado vertical

4.1.4.3. Diseño del Aislante Térmico para el Sellado

En el interior de las mordazas actúan las niquelinas encargadas de entregar la energía calorífica necesaria para el proceso de sellado de la funda, durante el proceso existe transferencia de calor por conducción mismo que debe ser transferido hacia un material que permita disipar la mayor cantidad de

energía posible, con el fin de mantener una temperatura estable y constante en el sistema de sellado (Fig. 4.60).

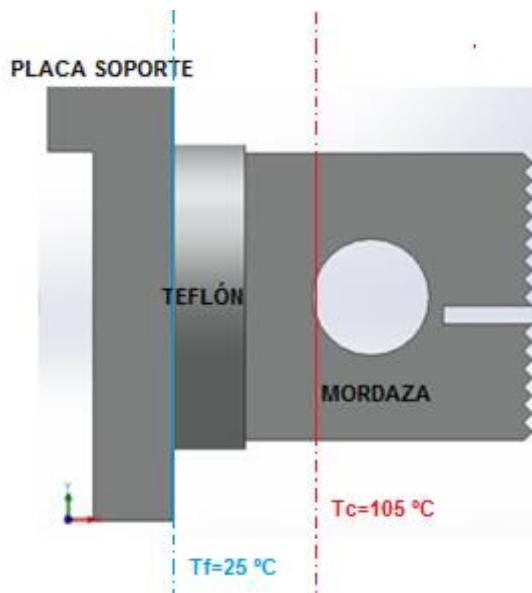


Fig. 4.60 Aislamiento térmico para el sellado

En áreas donde un termoaislante se vea sometido a cargas o abuso mecánico que lo deformen se debe utilizar materiales rígidos, en el mercado encontramos Teflón industrial mismo que cuenta con las siguientes propiedades.

Nota: En el mercado se encontró Teflón industrial cuyas propiedades son:

Coeficiente de conductividad Térmica:⁴²

$$K_{Teflón} = 0.28 \frac{W}{m^{\circ}C}$$

El cálculo de transferencia de calor para la transferencia de calor viene dado por:

$$Q = \frac{T_{op} - T_a}{E/K + 1/f} \quad (Ec. 4.26)^{43}$$

Donde:

$$Q = \text{transferencia de Calor } [W/m^2]$$

$$T_{op} = \text{Temperatura de Operación } [{}^{\circ}K]$$

⁴² <http://www.general-aislante.com.ar/nylon.htm>

⁴³ www.pemex.com/files/content/NRF_034-PEMEX-2004.pdf

T_a = Temperatura Ambiente [°K]

E = espesor termoaislante [m]

K = conductividad térmica [$W/m^{\circ}C$]

$$f = h_r + h_c \quad (Ec. 4.27)$$

Donde:

h_r = coeficiente de disipación de calor por radiación $\left[m^2 \text{ °K}/W\right]$

h_c = coeficiente de disipación de calor por convección $\left[m^2 \text{ °K}/W\right]$

$\frac{1}{f}$ = resistencia térmica de la película del aire

Así tenemos:

$$h_c = 3.0075 * C * \left(\frac{1.11}{T_s + T_a - 510.44}\right)^{0.181} * [1.8 * (T_s - T_a)]^{0.266}$$

$$* (1 + 7.9366E^{-4} * v)^{0.5}$$

$$h_r = 0.9824E^{-8} * \xi * \frac{T_a^4 - T_s^4}{T_s - T_a} \quad (Ec. 4.28)^{44}$$

Donde:

ξ = emisividad de la superficie aislada [adimensional]

C = Coeficiente de forma

v = velocidad del aire $[m/h]$

Si sabemos que:

$$T_{op} = 105 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

$$T_a = 25 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

$$T_s = 30 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

$$v = 10000 \text{ } m/h$$

$$\xi = 0.4$$

$$C = 1.79 \text{ (para superficies planas)}$$

Entonces:

$$h_r = -0.046 \frac{m^2 \text{ °K}}{W}$$

⁴⁴ www.pemex.com/files/content/NRF_034-PEMEX-2004.pdf

$$h_c = 18.305 \frac{m^2 \Omega K}{W}$$

$$f = 18.259 \frac{m^2 \Omega K}{W}$$

$$1/f = 0.055 \frac{m^2 \Omega K}{W}$$

$$Q = \frac{105 - 25}{E/0.28 + 0.055}$$

Según la tabla de máxima transferencia de calor permisible del anexo C, para una temperatura máxima de 150º C de operación en superficies planas obtenemos un valor de:

$$Q = 958.33 \frac{W}{m^2}$$

Por lo tanto:

$$E = 7.97mm \approx 8mm$$

4.1.5. SISTEMA DE GUIADO Y ARRASTRE

La lámina de plástico recorre un trayecto a través de un conjunto de rodillos guía cuya terminación desemboca en el formador donde adquiere la forma tubular.

El instante en que se efectúa el cierre de las mordazas horizontales y el desplazamiento vertical del carrete, se produce el deslizamiento del plástico y al mismo tiempo se mueve el conjunto regulador de tensión hacia arriba.

La banda de frenado libera la polea solidaria al eje de la porta bobina permitiendo que el rollo de plástico gire. Cuando dejan de actuar las bandas de arrastre, el conjunto regulador de tensión baja por su propio peso, haciendo que el porta bobinas deje de girar y asegura que la lámina de plástico se mantenga tensa.

4.1.5.1. Guiado del Plástico

El sistema de guiado debe garantizar el direccionamiento del material de empaque trasladado desde el rollo montado sobre la porta bobinas ubicadas en la parte posterior de la máquina hacia el formador (Fig. 4.61). La disposición de los rodillos es indistinta, más bien depende básicamente de los complementos y accesorios que la máquina vaya a usar como codificadoras, impresoras de marca, fecha, sensores de marca, etc. Para el presente diseño se adoptó la siguiente disposición:

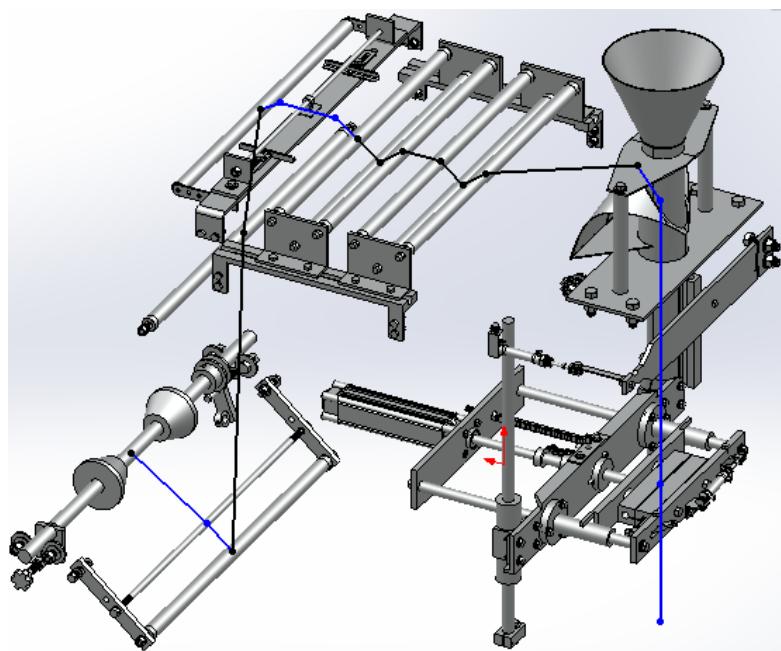


Fig. 4.61 Trayectoria de guiado del plástico

4.1.5.2. Mecanismo de Freno ⁴⁵

El dispositivo más sencillo de frenado es el Freno de Banda (Fig. 4.62), cuyo funcionamiento se basa en el principio de fricción que ocurre cuando la fuerza aplicada en la banda genera mayor contacto de fricción con el tambor.

⁴⁵ Robert Mott, Diseño de Elementos de Maquinas, 4ta. edición, Editorial PARSON, Pág. 860

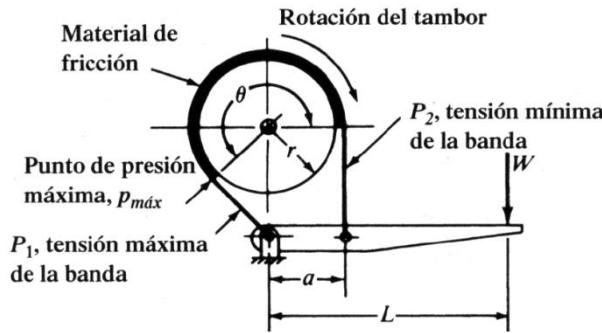


Fig. 4.62 Freno por Banda

La relación entre la tensión mínima y la tensión máxima de la banda es una función logarítmica que varía dependiendo del sentido de giro del tambor, para este caso en particular el giro es contrario al mostrado en la figura, por lo cual:

$$P_1 = \frac{P_2}{e^{f\theta}} \quad (\text{Ec. 4.29})$$

Donde:

θ = ángulo total abarcado por la banda (rad)

f = coeficiente de rozamiento entre la banda y el tambor.

El punto de máxima fricción sobre el material de fricción está en el extremo más cercano a la máxima tensión P_i , por lo cual:

$$P_i = P_{MAX} * r * w \quad (\text{Ec. 4.30})$$

Donde:

P_{MAX} = Presión máxima del material de fricción [$N * m^2$]

P_i = Mayor tensión en la banda de frenado

w = ancho de la banda

r = radio del tambor.

Mediante el diagrama del cuerpo libre del sistema de guiado (Fig. 4.63) se determina las tensiones P_2 y P_1 a partir de la Fuerza F_1 necesaria para la activación del frenado.

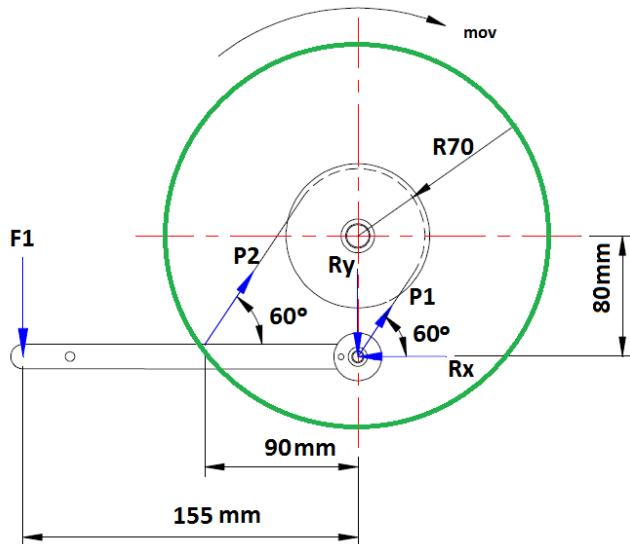


Fig. 4.63 Diagrama de cuerpo libre del mecanismo de frenado

$$\sum M = 0$$

$$F_1 * 155 = P_2 * \sin(60) * 90$$

Para determinar la fuerza F1 necesaria para el frenado se toma en cuenta la fuerza producida por el carrete de las mordazas para tensionar el plástico, como se muestra continuación:

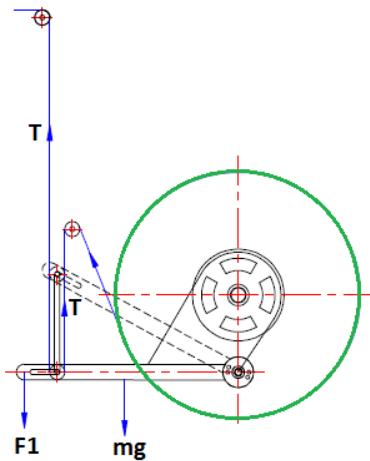


Fig. 4.64 Diagrama de cuerpo libre de la palanca de freno

$$\sum F_y = 0$$

$$2T = F_1 + mg$$

La tensión T viene dada por el peso del carro de las mordazas que es: 85 N.

Por tanto tenemos:

$$F_1 = 2 * 85 - 1.5 = 168.5 \text{ N}$$

Entonces:

$$P_2 = \frac{168.5 * 155}{\operatorname{sen}(60) * 90} = 335.09 \text{ N}$$

El material para la banda de freno debe facilitar su acople respecto a la forma simétrica del tambor, por tanto se considera un material tejido con un coeficiente a la fricción de 0.25 al contacto con el acero y una presión máxima de 100 psi (690 KPa).

$$P_1 = \frac{335.09}{e^{0.25*\pi}} = 152.7 \text{ N}$$

$$P_2 > P_1 \text{ entonces } i = 2$$

Por tanto el espesor que tiene la banda de frenado es:

$$w = \frac{P_2}{P_{MAX} * r} = \frac{335.09}{690000 * 0.07} = 7,35 \text{ mm} \approx 7,5 \text{ mm}$$

4.1.5.3. Soporte Porta Bobinas

La porta bobinas esta soportado sobre rodamientos en cada extremo y estos a su vez sobre dos placas soldadas al armazón de la máquina (Fig. 4.65).

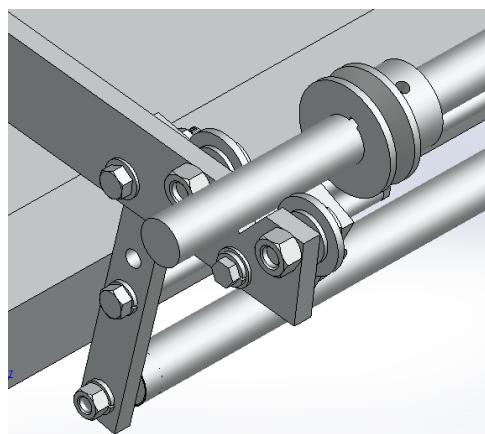


Fig. 4.65 Detalle soporte porta bobinas

Las placas de soporte están sujetas a la flexión generada por el peso del porta bobina y el rollo de papel (490N) como se muestra en la figura 4.66. Para

determinar el espesor de dichas placas se realiza un diseño en base a su sección transversal asumiendo un ancho de 50 mm.

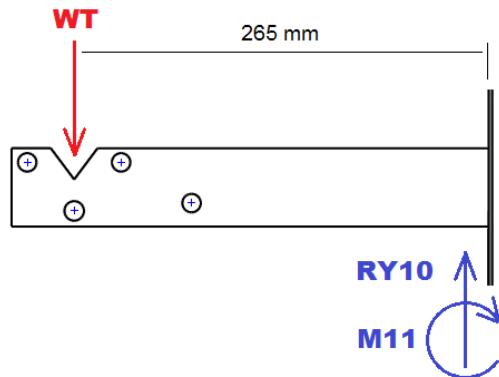


Fig. 4.66 Diagrama de fuerzas del soporte porta bobinas

Con la ayuda del software MDSolids obtenemos los valores máximos de la fuerza cortante y el momento flector (Fig. 4.67) producidos en el soporte porta bobinas.

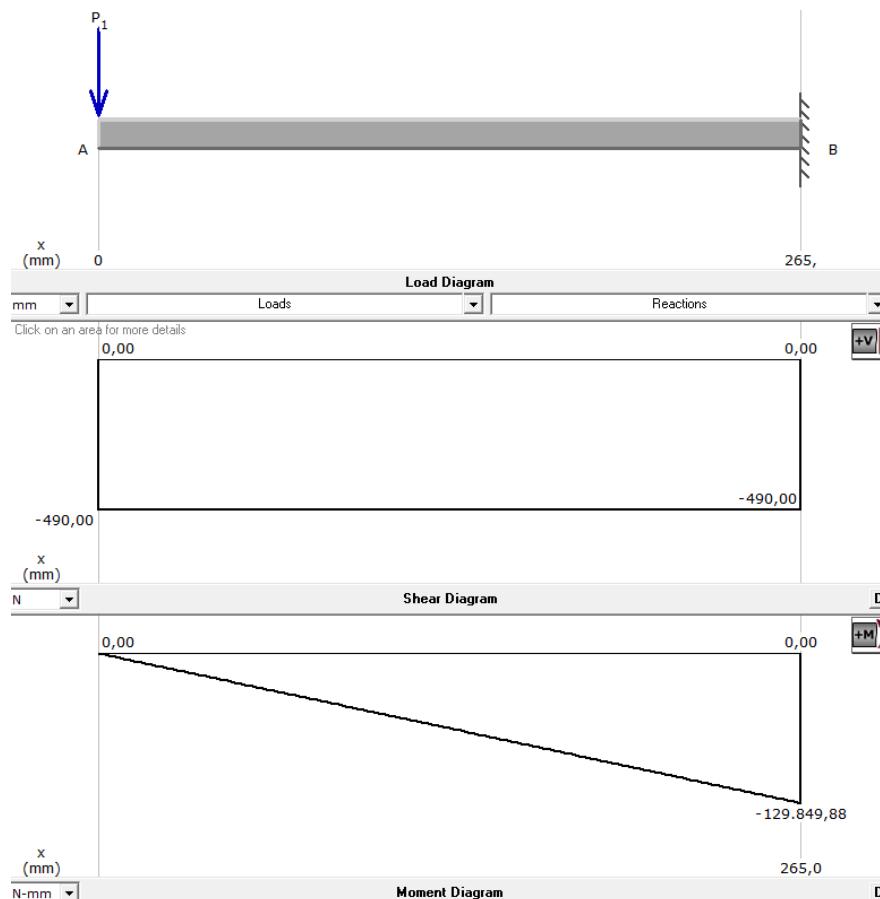


Fig. 4.67 Diagramas de fuerza cortante y momento flector del soporte porta bobinas⁴⁶

⁴⁶ Timothy A. Philpot, Software MDSolids V 3.5.0, 2009.

Obtenemos como resultado que la fuerza cortante máxima es de 490 N y el momento flector máximo es de 129849.88 N-mm.

El esfuerzo debido a la flexión está dado por:

$$\sigma_{Fpb} = \frac{M_{pb}}{S_{pb}} \quad (Ec. 4.31)$$

Donde:

σ_{Fpb} = Esfuerzo por flexión del soporte porta bobinas

M_{pb} = Momento de flexión máximo en el soporte porta bobinas

S_{pb} = Módulo de sección del soporte porta bobinas

Del anexo A, obtenemos el módulo de sección de un rectángulo y para este caso tenemos:

$$S_{pb} = \frac{e_{pb} * a_{pb}^2}{6} \quad (Ec. 4.32)$$

Donde:

e_{pb} = Espesor del soporte porta bobinas

a_{pb} = Ancho del soporte porta bobinas

Si reemplazamos en el esfuerzo debido a la flexión y despejamos el espesor del soporte porta bobinas tenemos:

$$e_{pb} = \frac{6 * M_{pb}}{\sigma_{Fpb} * a_{pb}^2} \quad (Ec. 4.33)$$

El esfuerzo máximo que puede sufrir el soporte debido a la flexión se obtiene del factor de seguridad aplicado al límite elástico del material de dicho componente ($\sigma_E = 206.607 \text{ MPa}$), en este caso se utiliza un factor de 4 debido a que los soportes pueden sufrir golpes y a su vez deformaciones en el momento de cada cambio de las bobinas de papel. Por lo tanto:

$$F_S = \frac{\sigma_E}{\sigma_{Fpb}}$$

$$\sigma_{Fpb} = \frac{\sigma_E}{F_S} = \frac{206.607}{4} = 51.65 \text{ MPa}$$

Entonces:

$$e_{pb} = \frac{6 * 129849.88}{51.65 * 50^2} = 6.03 \text{ mm}$$

Simulación:

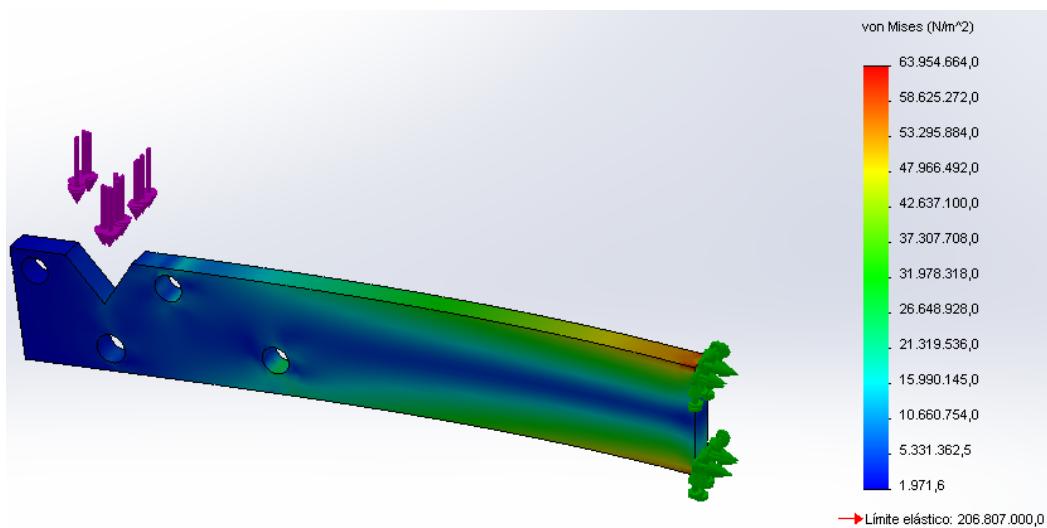


Fig. 4.68 Simulación del límite elástico del soporte porta bobinas⁴⁷

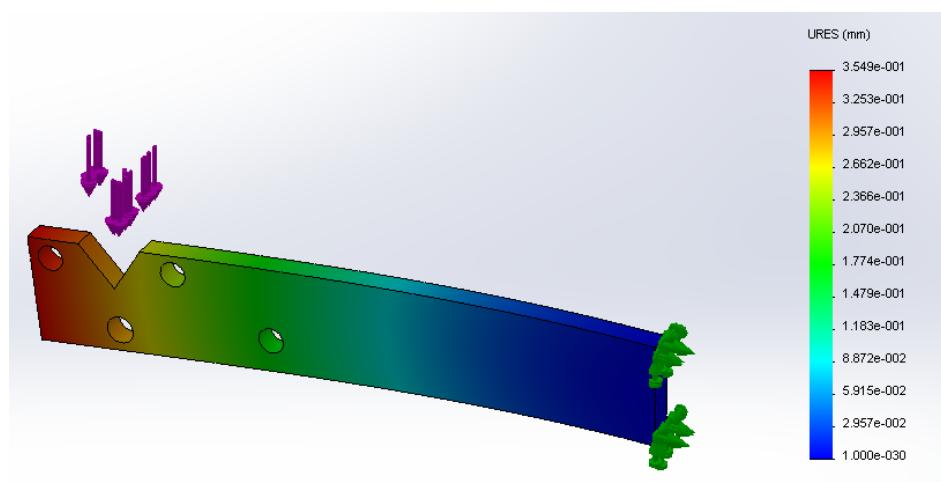


Fig. 4.69 Simulación del desplazamiento del soporte porta bobinas⁴⁸

⁴⁷ SimulationXpress SoldWorks Dassault Systems 2012

⁴⁸ SimulationXpress SoldWorks Dassault Systems 2012

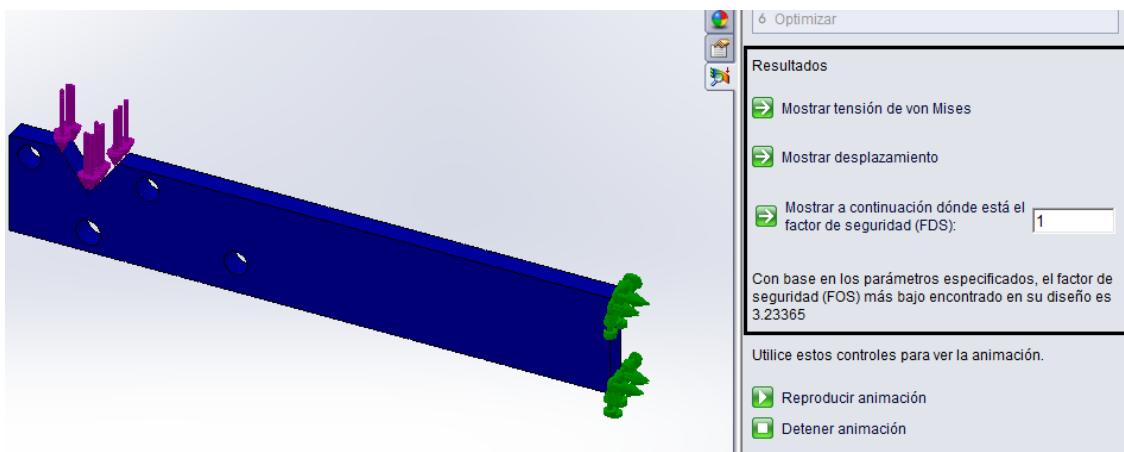


Fig. 4.70 Simulación del factor de seguridad del soporte porta bobinas⁴⁹

De la simulación CAD se obtuvo que con base a los parámetros especificados, el factor de seguridad más bajo encontrado en el diseño es de 3.23 (Fig. 4.70).

Resumen de los factores de seguridad:

Referencia	Análisis	Simulación	Error
2,5-4,0	4	3,23	23.08%

Tabla 4.8 Resumen factor de seguridad del soporte porta bobinas

El factor de seguridad obtenido de 1.99, está dentro de los parámetros de referencia establecidos. El porcentaje de error resultante es un poco grande, debido a que el soporte posee un canal en forma de v donde se asiente la bobina de papel, que no fue considerado en el análisis de cargas.

4.1.5.4. Mecanismo Transformador

Para el proceso de arrastre de las fundas es necesario que el carrete de las mordazas oscile verticalmente en un ciclo continuo de trabajo para lo cual se diseña un mecanismo transformador de movimiento en la parte inferior de la máquina.

⁴⁹ SimulationXpress SolidWorks Dassault Systems 2012

El mecanismo está compuesto por un eslabón de entrada que esta acoplado al eje impulsor, un rodamiento acoplador y un eslabón de salida que genera el movimiento (Fig. 4.71 y Fig. 4.72).

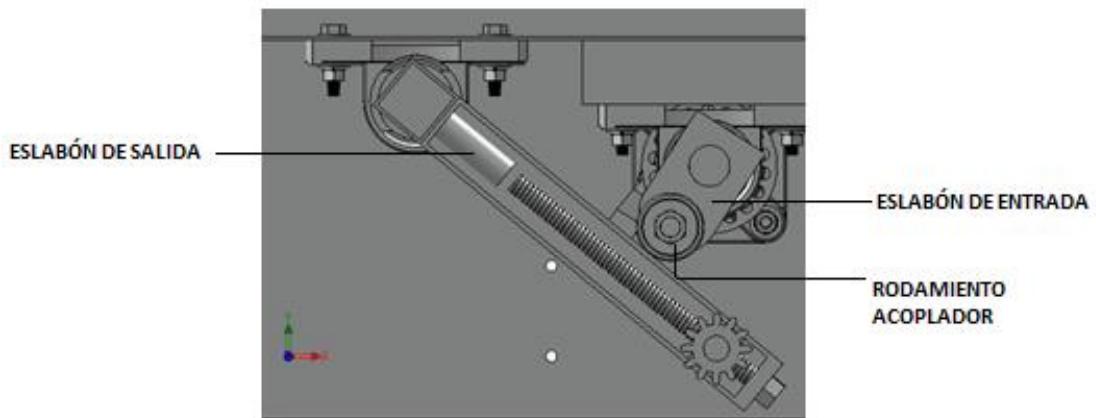


Fig. 4.71 Mecanismo transformador

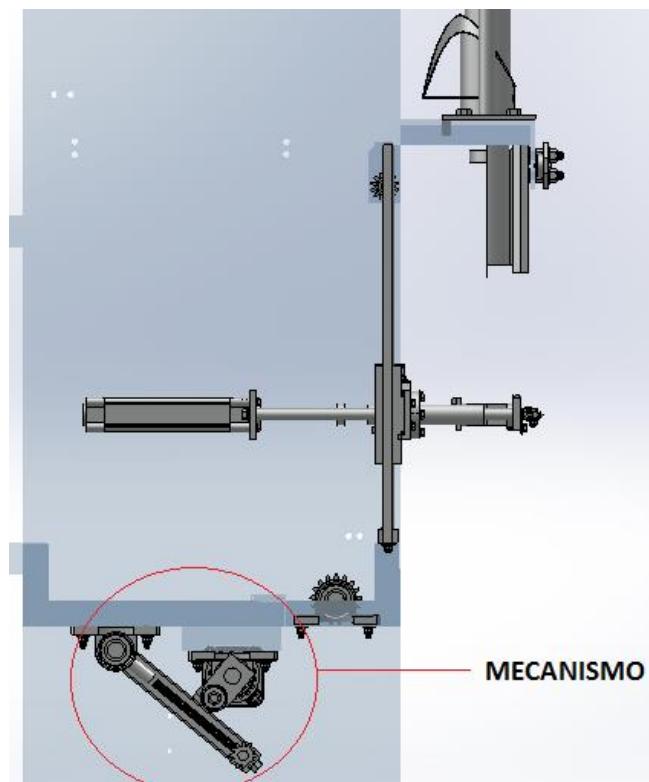


Fig. 4.72 Ubicación del mecanismo transformador

Análisis del mecanismo:⁵⁰

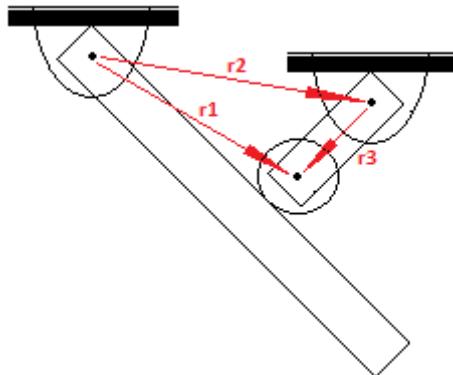


Fig. 4.73 Diagrama vectorial del mecanismo transformador

$$r_1 e^{i\theta_1} = r_2 e^{i\theta_2} + r_3 e^{i\theta_3} \quad (\text{Ec. 4.34})$$

$$r_1(\cos\theta_1 + i\sin\theta_1) = r_2(\cos\theta_2 + i\sin\theta_2) + r_3(\cos\theta_3 + i\sin\theta_3)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} r_1(\cos\theta_1) = r_2(\cos\theta_2) + r_3(\cos\theta_3) \\ r_1(i\sin\theta_1) = r_2(i\sin\theta_2) + r_3(i\sin\theta_3) \end{array} \right.$$

Elevando ambas ecuaciones al cuadrado y sumando tenemos:

$$r_1^2 = r_2^2 + r_3^2 + 2r_2r_3\cos(\theta_2)\cos(\theta_3) + 2r_2r_3\sin(\theta_2)\sin(\theta_3) \quad \text{Ec. 4.35}$$

Si conocemos los valores de r_2 , r_3 y θ_3 podemos conocer la variación de r_1 y a su vez su ángulo θ_1 en función del ángulo de giro del eslabón de entrada θ_2 .

Una vez obtenido las ecuaciones que rigen el movimiento del mecanismo se procede a hacer un análisis mediante el software Mathcad.

⁵⁰ Teoría de máquinas y mecanismos asistida con computador, Fernando Olmedo, ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

$$r2 := 40$$

$$r3 := 186.25$$

$$\theta3 := 347.6 \cdot \frac{\pi}{180}$$

$$\theta2 := 0, .1 .. 2\pi$$

$$r1(\theta2) := \sqrt{r2^2 + r3^2 + 2r2r3 \cdot \cos(\theta2) \cos(\theta3) + 2 \cdot r2 \cdot r3 \cdot \sin(\theta2) \cdot \sin(\theta3)}$$

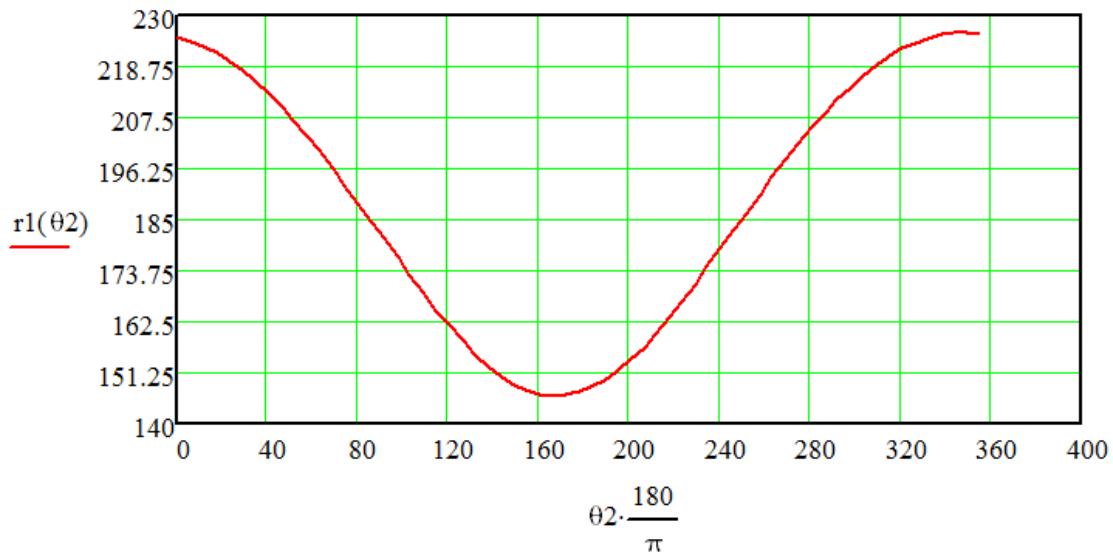


Fig. 4.74 Desplazamiento del eslabón de salida en función del ángulo de entrada⁵¹

$$\theta1(\theta2) := \arcsin \left[\frac{(r2 \cdot \sin(\theta2) + r3 \cdot \sin(\theta3))}{r1(\theta2)} \right]$$

⁵¹ Mathcad 14.0.0.163 Parametric Technology Corporation 2007

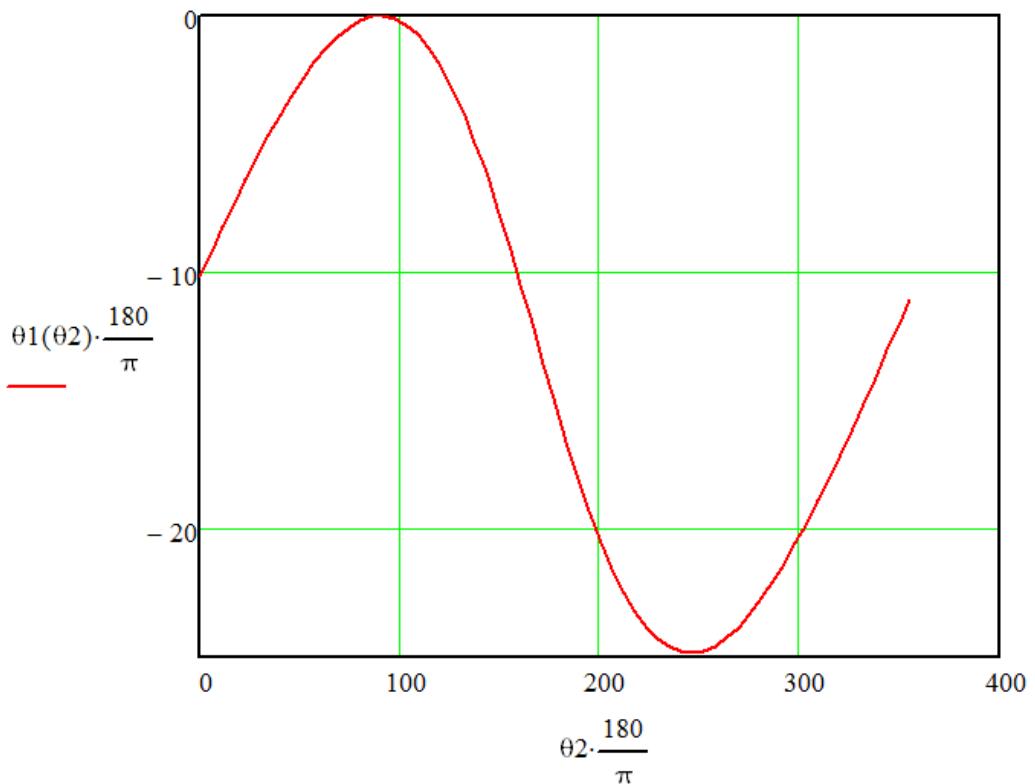


Fig. 4.75 Ángulo del eslabón de salida en función del ángulo de entrada⁵²

Como observamos en la figura 4.75 del ángulo del eslabón de salida, la variación que existe con respecto a una revolución del eslabón de entrada es aproximadamente 25 grados. Este valor nos sirve para dimensionar el desplazamiento total del eslabón de salida el cual entrega el recorrido máximo del carro de mordazas y por ende la altura de las fundas (Fig. 4.76).

Con el fin de disminuir la fuerza de empuje y aumentar el desplazamiento transmitido por el eslabón de salida se acopla un engranaje que cumplirá la función de polea móvil en el mecanismo.

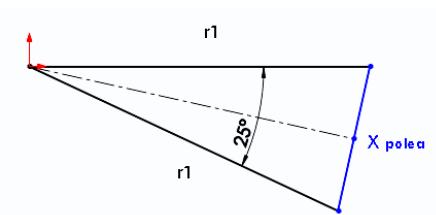


Fig. 4.76 Geometría del desplazamiento del eslabón de salida

⁵² Mathcad 14.0.0.163 Parametric Technology Corporation 2007

$$r_1 \operatorname{sen}\left(\frac{25}{2}\right) = \frac{X_{polea}}{2} \quad (\text{Ec. 4.36})$$

$$r_1 = \frac{X_{polea}}{2 * \operatorname{sen}(12.5)}$$

De acuerdo con la teoría de polea móvil, el desplazamiento total de la cuerda es 2 veces el desplazamiento de la polea, por lo tanto:

$$h_{fu} = 2 * X_{polea} \quad (\text{Ec. 4.37})$$

$$X_{polea} = \frac{220}{2} = 110 \text{ mm}$$

$$\therefore r_1 = 254,11 \approx 255 \text{ mm}$$

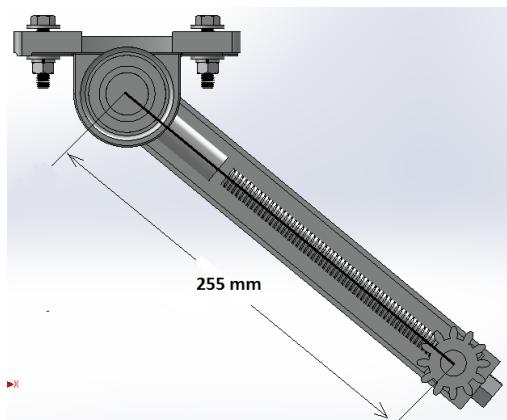


Fig. 4.77 Dimensionamiento del eslabón de salida

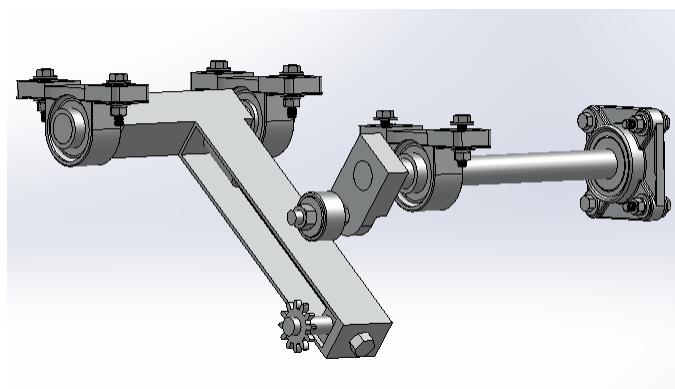


Fig. 4.78 Ensamble del mecanismo transformador

4.1.5.5. Selección de Motor

En este caso se selecciona el motor con respecto al valor del torque máximo necesario para realizar el desplazamiento vertical del carrete de las mordazas.

Tomando en cuenta que el mecanismo transformador utiliza una polea móvil que reduce a la mitad la fuerza para el funcionamiento del sistema. El torque máximo está dado por la distancia tomada desde el eje accionado por el motor hasta el eje del rodamiento, por tanto tenemos:

$$T = F * d \quad (\text{Ec. 4.38})$$

$$T = \frac{W_{CARRETE}}{2} * X \quad (\text{Ec. 4.39})$$

$$T = \frac{85N}{2} * 0,04 = 1.7 \text{ Nm}$$

De los catálogos de ABB mostrados en el Anexo B, se encontró un motor trifásico de tipo jaula de ardilla de dos polos a 3600 rpm totalmente cerrado y autoventilado que tiene por torque máximo de 2.2 Nm con una potencia de 1HP y frecuencia de 60 Hz (Fig. 4.75).



Fig. 4.79 Motor jaula de ardilla⁵³

⁵³ www.agp.com

4.1.5.6. Sistema de Transmisión

Una vez seleccionado el motor que cuenta 1200 rev/min se determina la transmisión que se va a usar dependiendo del tipo de trabajo a desarrollarse, para este caso en la cual la maquina cumplirá con un ciclo continuo de trabajo durante varias horas del día la mejor opción es la transmisión por cadena ya que reduce la sobrecarga en los ejes, asegurando una correcta sujeción y garantizando buena resistencia en el instante de la transmisión.

4.1.5.6.1. Caja de reducción

A partir de la frecuencia máxima de trabajo solicitada por la empresa (40 fundas/minuto) se debe acoplar una caja de reducción que viene dada por:

$$V_{motor} = 1200 \text{ rev/min}$$

$$f_{trabajo} = 40 \text{ rev/min}$$

$$R = \frac{1200}{40} = \frac{30}{1} = 30:1 \quad (\text{Ec. 4.40})$$

Donde:

R = relación de reducción



Fig. 4.80 Caja de reducción⁵⁴

⁵⁴ www.gearboxinchina.es

4.1.5.6.2. Diseño de la cadena de trasmisión

Para el diseño de la cadena de transmisión se calcula la potencia de diseño a partir del Factor de servicio. De la tabla Factores de servicio para transmisiones por cadena del anexo D se obtiene un factor de servicio de 1.3 para motor eléctrico de choque moderado.

Para la potencia de diseño tenemos:

$$P_d = F_s * P \quad (\text{Ec. 4.40})$$

Donde:

P_d = Potencia de diseño

F_s = Factor de servicio

P = Potencia a transmitir

Por tanto:

$$P_d = 1.3 * 1 = 1.3 \text{ hp}$$

Mediante el uso de las tablas que relacionan la capacidad de potencia en caballos de fuerza con el paso de la cadena mostradas en el anexo D se determina una cadena simple de rodillos número 60 conjuntamente con una Catarina de 32 dientes con 0.75 plg de paso.

La relación de transmisión deseada es 1:1 por lo que las dos Catarinas tienen el mismo diámetro.

Para el diámetro de paso de las Catarinas tenemos:

$$D_p = \frac{p}{\operatorname{sen}(180^\circ/N)} \quad (\text{Ec. 4.41})$$

Donde:

D_p = diámetro de paso de la catarina [mm]

p = paso de la cadena [mm]

N = número de dientes de la rueda

Por lo tanto:

$$D_P = \frac{19.05}{\operatorname{sen}(180^\circ/32)} = 194.35 \text{ mm} \approx 194 \text{ mm}$$

Distancia entre centros de los ejes de las Catarinas debe ser de 30 a 50 pasos de la cadena, para este caso consideramos 40 veces, por lo que:

$$C = 0.75 * 40 = 30 \text{ plg} = 762 \text{ mm}$$

Donde:

$$C = \text{distancia entre centros de las catarinas}$$

La longitud de la cadena viene determinada por:

$$\frac{L}{p} = 2C + \frac{N_2 + N_1}{2} + \frac{(N_2 - N_1)^2}{4 * \pi^2 * C} \quad (\text{Ec. 4.42})$$

Donde:

$$L = \text{longitud de la cadena}$$

Por lo tanto:

$$\frac{L}{p} = 2(20) + \frac{27 + 27}{2}$$

$$L = 0.5 * (67) = 33.5 \text{ plg} = 850.9 \text{ mm} \approx 850 \text{ mm}$$

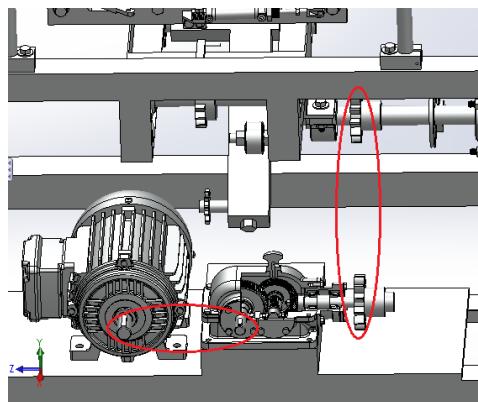


Fig. 4.81 Sistema de transmisión

4.1.6. SISTEMA DE DOSIFICACIÓN

Este sistema se encarga de proporcionar la cantidad adecuada a ser envasada, para lo cual se ha diseñado armazones móviles que contendrán ambos sistemas que posteriormente se acoplen al armazón principal permitiendo aprovechar la máxima productividad de la máquina.

4.1.6.1. Dosificación por Volumen

El sistema de dosificación por volumen consta de una tolva de alimentación que entrega el producto almacenado, una bandeja de vibración, dos platos giratorios uno superior y el otro inferior mismo que contienen 6 vasos telescópicos de volumen regulables cuya rotación se produce mediante un motor reductor ubicado en la parte inferior y un mecanismo tipo brocha que regula la cantidad a Empacar en cada uno de los vasos (Fig. 4.82).

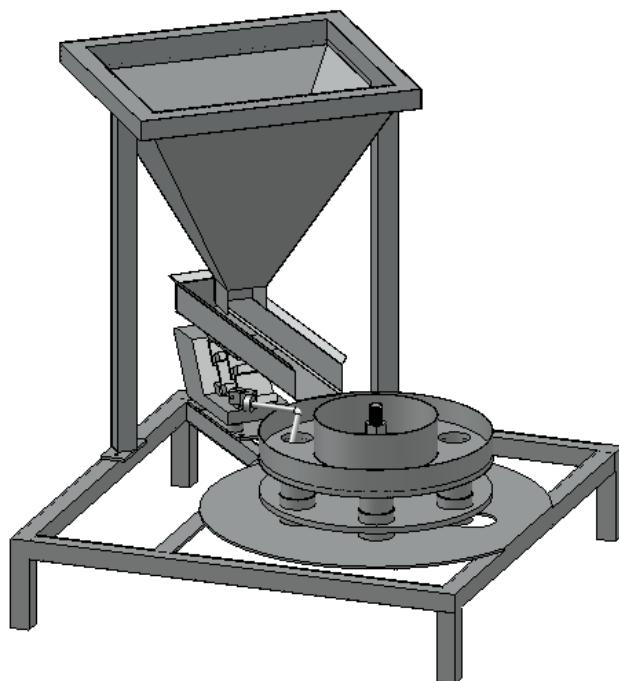


Fig. 4.82 Sistema de dosificación por volumen

4.1.6.1.1. Tolva de Alimentación

Partiendo de un almacenamiento del producto de 4000g (snacks), requerimiento sugerido por ECUAMEX S.A, se diseña una tolva con las siguientes dimensiones y especificaciones.

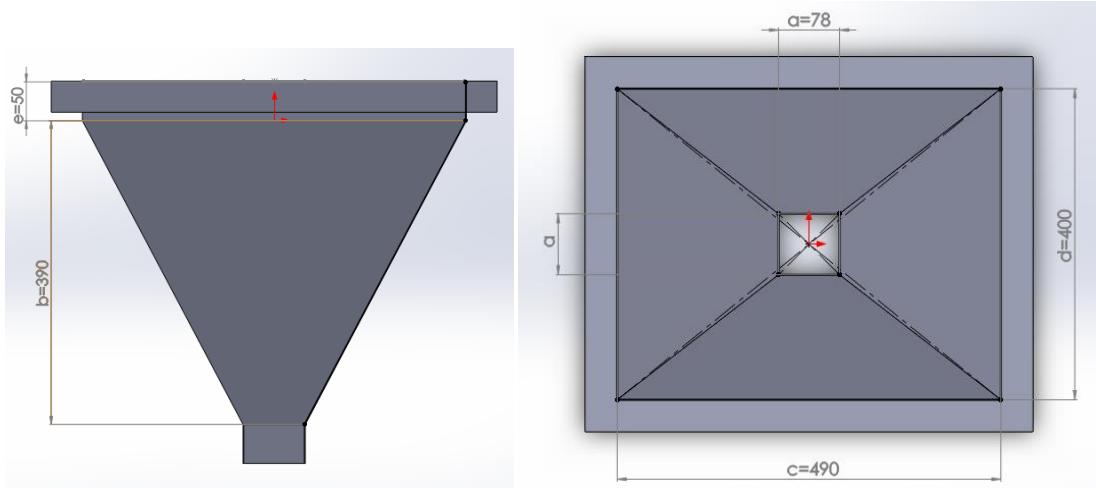


Fig. 4.83 Dimensionamiento de la tolva de alimentación

$$V_T = \frac{b}{3} (c * d - a^2) + c * d * e \quad (\text{Ec. 4.43})$$

Donde:

$$V_T = \text{volumen de la tolva}$$

Entonces:

$$V_T = \frac{390}{3} (490 * 400 - 78^2) + 490 * 400 * 50 = 34489080 \text{ mm}^3$$

Tomando referencia las medidas de una funda de 30 g del producto se obtuvo que su volumen es de 234000 mm³ y por tanto su densidad es de 1,28E-4 g/mm³

Si sabemos que:

$$m_T = d_p * V_T \quad (\text{Ec. 4.44})$$

Donde:

$$m_T = \text{masa total almacenada}$$

$$d_p = \text{densidad del producto}$$

Entonces:

$$m_T = 1,28 \times 10^{-4} * 34489080 = 4421,67 \text{ gr}$$

Dado que la capacidad máxima de la tolva diseñada es de 4442,67 g se asegura un almacenamiento mínimo de 4000 g de producto, cumpliendo con el requerimiento de la empresa.

4.1.6.1.2. Vasos Telescópicos

Son los encargados de dosificar la cantidad deseada en cada una de las fundas. Su volumen es regulable mediante el posicionamiento del plato superior con respecto al inferior a través de una tuerca que permite el desplazamiento vertical del mismo.

Partiendo de la cantidad máxima de producto con menor densidad a ser empacado (60 g) se calcula el volumen máximo que contendrá cada vaso:

$$V_v = \frac{m_m}{d_p} = \frac{60}{1,28 \times 10^{-4}} = 468000 \text{ mm}^3 \quad (\text{Ec. 4.45})$$

Donde:

V_v = Volumen del vaso telescópico

m_m = Peso maximo a empacar

Dado que los platos giratorios contienen 6 vasos telescópicos (Fig. 4.84), de diámetro 70 mm, la altura final del vaso telescópico comprendida por ambos platos se define:

$$h_f = \frac{V_v}{\pi * r_v^2} \quad (\text{Ec. 4.46})$$

Donde:

h_f = altura final del vaso telescópico

r_v = radio del vaso telescópico

Entonces:

$$h_f = \frac{468000}{\pi * 35^2} = 121,61 \text{ mm} \approx 12 \text{ cm}$$

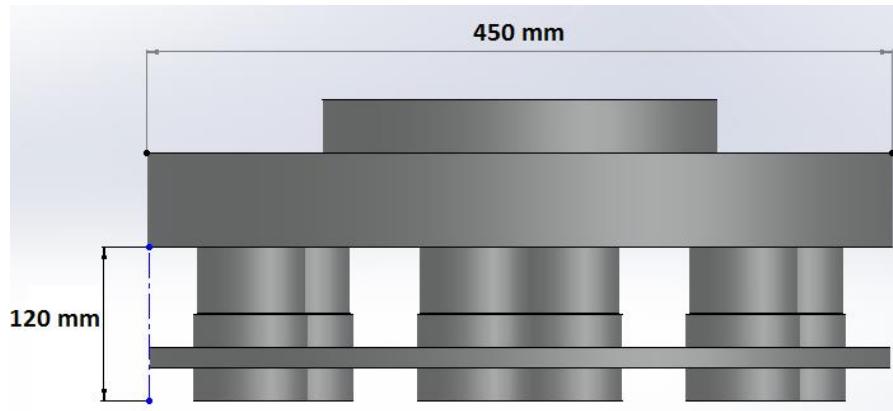


Fig. 4.84 Dimensionamiento de la altura de los vasos telescopicos

4.1.6.2. Dosificación por Peso

El sistema consta de dos balanzas con compuertas accionadas electro neumáticamente que son alimentadas a través de dos bandejas vibratorias mismas que reciben el producto de dos tolvas de alimentación con capacidad de 4kg cada una (Fig. 4.85).

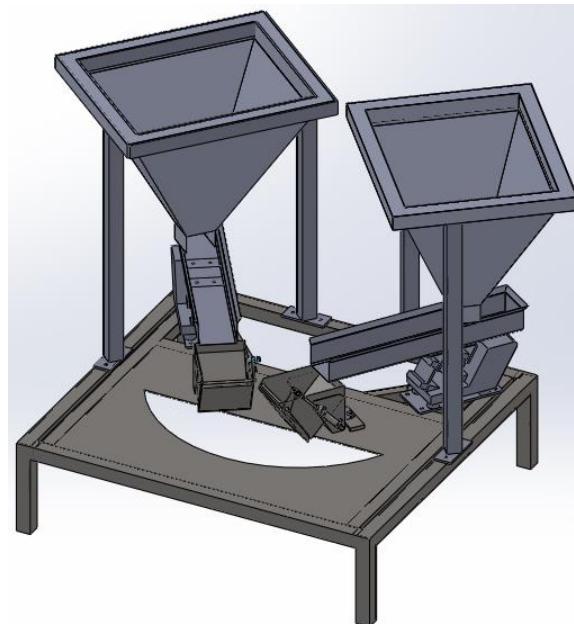


Fig. 4.85 Sistema de dosificación por peso

4.1.6.2.1. Balanza

Se la construye en acero inoxidable debido al contacto directo con el producto a empacar, su capacidad se la diseña en base a la cantidad máxima a pesar (120gr). Se debe tener en cuenta que tiene una compuerta por donde se suelta el producto ya pesado y una base que sirve de acople para la celda de carga (Fig. 4.86)

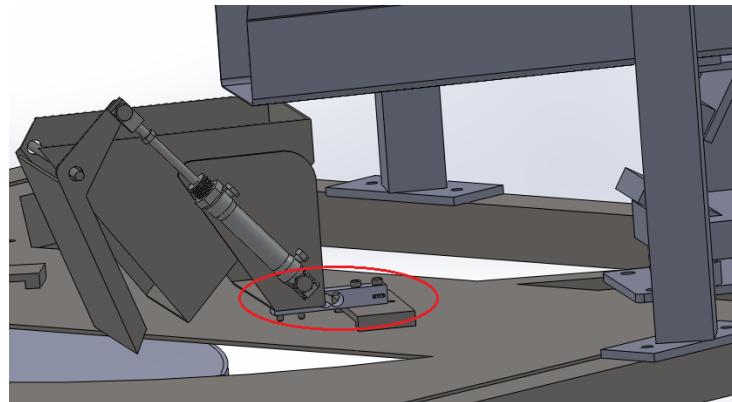


Fig. 4.86 Balanza ensamblada a la celda de carga

Para obtener la capacidad total de producto en la balanza partimos de su volumen que viene dado por:

$$V_b = \frac{B_b * H_b}{2} * P_b \quad (\text{Ec. 4.47})$$

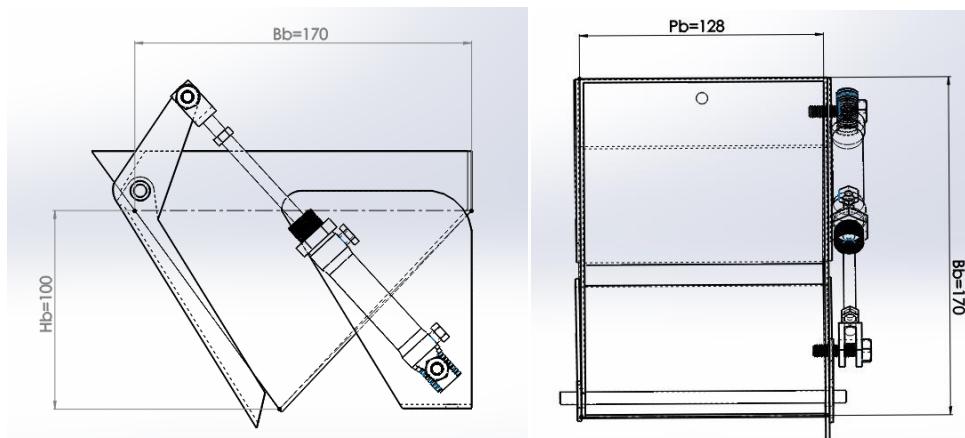


Fig. 4.87 Dimensionamiento de la balanza

Entonces:

$$V_b = \frac{100 * 170}{2} * 128 = 1088000 \text{ mm}^3$$

Si sabemos que:

$$m_b = d_p * V_b \quad (\text{Ec. 4.48})$$

Entonces:

$$m_b = 1.28 * 10^{-4} * 1088000 = 139.26 \approx 140 \text{ gr}$$

La capacidad de 140 gr asegura un correcto almacenamiento y posterior pesaje de la cantidad máxima a empacar (120 gr).

4.1.6.2.2. Selección del pistón de apertura de la balanza

La fuerza no es un parámetro crítico dentro del diseño, puesto que basta la carrera para seleccionar el cilindro neumático. De los catálogos de FESTO se selecciona un cilindro normalizado DSNU-16-25-P-A, en unidades métricas con un diámetro de émbolo de 16 mm y una carrera de 25 mm. En el anexo se encuentran todas las características técnicas del cilindro seleccionado.

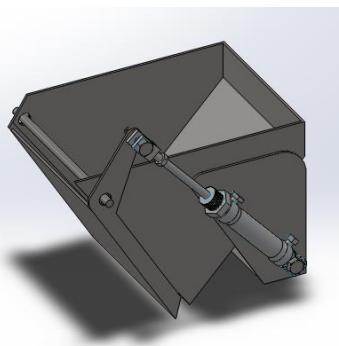


Fig. 4.88 Ubicación del pistón de apertura de la balanza

4.1.7. DISEÑO DEL BASTIDOR

Con el fin de albergar todos los sistemas con lo que cuenta la máquina para realizar el proceso de empacado, las consideraciones tomadas para el diseño y construcción del bastidor han sido estudiadas y analizadas para obtener el mejor resultado y máximo aprovechamiento de recursos físicos, materia prima y tiempo de construcción, así como su mutua comunicación ya

sean estas mecánicas, electrónicas o eléctricas con el fin de operar bajo un objetivo común.

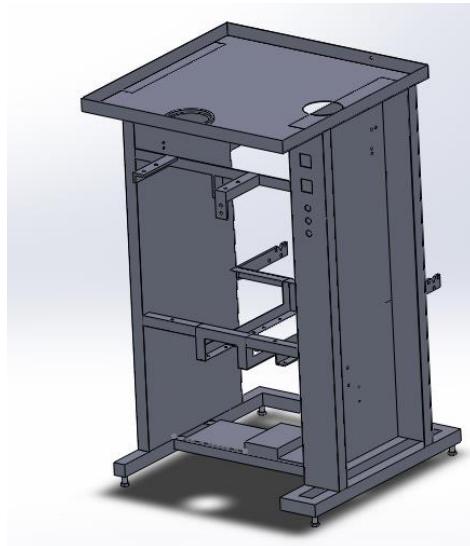


Fig. 4.89 Esquema de la estructura metálica

Existe diversos tipos de materiales para construir una estructura como esta, entre ellos se encuentran perfiles, ángulos, planchas de acero, etc.

Antes que analizar la resistencia necesaria en las paredes y perfiles es más importante considerar las uniones soldadas de la estructura. Las soldaduras deben cumplir con los requisitos y normas para poder estar dentro de las condiciones necesarias de seguridad. A continuación presentamos una tabla con los tamaños mínimos de cordón de soldadura para placas gruesas.

Espesor de la Placa (pulg)	Tamaño mínimo del lado, para soldaduras de chaflán (pulg)
$\leq 1/2$	3/16
$> 1/2 - 3/4$	1/4
$> 3/4 - 1 1/2$	5/16
$> 1 1/2 - 2 1/4$	3/8
$> 2 1/4 - 6$	1/2
> 6	5/16

Tabla 4.9 Cordón de soldadura para placas gruesas

4.1.7.1. Apoyos de la Estructura

Se optó por la utilización de apoyos prefabricados ya que ofrecen grandes ventajas en las características mecánicas como la alta capacidad de soportar, fácil regulación de altura mediante rosca para que la máquina pueda acoplarse a la superficie de asiento y así eliminar algún tipo de imperfección en la superficie (Fig. 4.90)

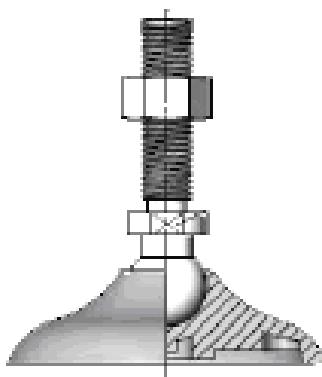


Fig. 4.90 Detalle del pie de apoyo.⁵⁵

Para la selección del tamaño adecuado del apoyo es indispensable determinar la carga total que debe soportar el apoyo, para lo cual mediante la ayuda SolidWorks obtenemos los valores de cada uno de los sistemas que intervienen en la máquina.

SISTEMAS SOPORTADOS	PESO APROX (Kg)
Sistema de Guiado y Arrastre	29.514
Sistema de Formación de la Funda	7.774
Sistema de Sellado	8.673
Sistema de Dosificación (Por Peso)	82.237
Armario de Control	20
Armazón (Estructura)	171.351
TOTAL	319.85
PESO (N)	3134.52

Tabla 4.10 Peso de los sistemas de la máquina empacadora

⁵⁵ Diseño de una máquina empacadora, dosificadora y selladora de fundas para arroz. Eduardo Moreno EPN 2010

El peso aproximado total de la máquina se divide para los 4 apoyos por lo tanto:

$$F = \frac{W}{4} = 803.11 \text{ N} \quad (\text{Ec. 4.49})$$

Donde:

W = Peso total de la envasadora

F = Carga sobre cada apoyo [N]

Como los apoyos tienen el vástago roscado para la nivelación de la máquina es necesario analizar los esfuerzos en la rosca para determinar el diámetro de rosca adecuado, usando la expresión

$$\sigma = \frac{F}{A_t} \quad (\text{Ec. 4.50})$$

Donde:

σ = Esfuerzo de Tensión [MPa]

A_t = Área de esfuerzo de tensión para una rosca M12X1,75

$$A_t = (0.7854)(D - (0.9382)p)^2$$

$$A_t = (0.7854)(12 - (0.9382)1.75)^2 = 84.27 \text{ mm}^2$$

$$\sigma = \frac{803.11}{84.27} = 9.53 \text{ MPa}$$

Según la tabla del anexo E la resistencia de prueba para un perno M12x1.75 de grado 4.6 es 225 MPa, por lo tanto el perno de apoyo de la empacadora es seguro para resistir la carga.

4.1.8. ELABORACIÓN DE PLANOS

Los planos de la máquina empacadora se presentan en el Anexo J (Planos de Construcción)

4.2. SISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO

4.2.1. SELECCIÓN DE ELEMENTOS ELÉCTRICOS

Para el sellado horizontal y vertical se selecciona la resistencia eléctrica en base a la temperatura de operación (máx 150 °C) y la facilidad de montaje con las mordazas, para lo cual se utiliza la Resistencia Tipo Cartucho de alta Concentración (figura 4.91), mismas que son ideales en aplicaciones como estampado en caliente, equipos de empaque, selladoras de bolsas y permiten operar a una máxima temperatura de 820 °C (1500 °F) ver anexo I



Fig. 4.91 Resistencia tipo cartucho de alta concentración⁵⁶

Para el control de temperatura en las niquelinas de los sistemas de sellado vertical y horizontal, se emplea Controles de Temperatura Digitales ON/OFF (Fig. 4.92) que permiten estabilizar la temperatura previamente ingresada según el material de empaque. Para lo cual se adquirió un Temperature Controller REX C100, mismo que utiliza termocuplas tipo J para la lectura de la temperatura, permitiendo que el sistema de sellado se encuentre oscilando entre los 85 y 120 °C, ver anexo I.

⁵⁶ www.tempco.com/bodypages/products.pdf



Fig. 4.92 Control de Temperatura⁵⁷

Para obtener buena precisión en el control de la temperatura a través de cargas resistivas. El Relé de estado sólido monofásico lineal (figura 4.93), entrada lineal de 4-20mA DC es la elección correcta, Este relé actúa sobre la carga de modo proporcional atenuando o incrementando la potencia de la carga en relación a la necesidad del proceso. Este relé cuenta con capacidad de Corriente de 25 Amp, para cargas con suministro de poder desde: 90 a 250 VAC, alternativa ideal para aplicaciones en el control de Temperatura. Ver anexo I.



Fig. 4.93 Relé de estado sólido⁵⁸

⁵⁷ www.miniinthebox.com

⁵⁸ www.alltronicsperu.com

4.2.2. ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA

La empacadora cuenta con alimentación 220 V AC para el funcionamiento del Motor trifásico 1 Hp ABB necesario para el accionamiento del mecanismo transformador.

Alimentación 120 V AC para el funcionamiento del motor de la dosificación volumétrica, energía de alimentación del PLC (MITSUBISHI), accionamiento de las Electroválvulas y para el transformador de 120 AC / 24 VDC, mismo con el que operan los Controles de Temperatura (REX -C100), relés de estado sólido, y principalmente como fuente de alimentación para la celda de carga y su tarjeta de acondicionamiento de señal y elementos electrónicos.

A continuación se detalla cada uno de los elementos y su voltaje de funcionamiento.

Cantidad	Componente	Voltaje de Funcionamiento		
		110 V AC	220 V AC	24 V DC
1	PLC Mitsubishi	X		X
1	Variador de Velocidad EMERSON	X		
2	Controles de Temperatura REX C-100			X
2	Relés de Estado Sólido			X
1	Electroválvula 5/2 Neumática			X
2	Electroválvula 5/2 Neumática	X		
2	Motor		X	
2	Sensor de Proximidad Inductivo			X
1	Tarjeta Electrónica de la Celda de Carga			X
1	Fuente de Alimentación DC	X		
8	Relés	X		X
4	Fusibles de Protección	X	X	

Tabla 4.11 Alimentación eléctrica de los componentes

4.2.3. DISTRIBUCIÓN DEL ARMARIO ELÉCTRICO

El diseño y ubicación del armario eléctrico que se utiliza para la distribución y posicionamiento de cada uno de los elementos eléctricos y electrónicos, se considera que debe ser parte integral dentro del bastidor, por lo que se localiza en la parte lateral derecha de la empacadora. Permitiendo una optimización del espacio físico donde va a operar la máquina.

A continuación se observa cada una de las zonas que conforman el armario eléctrico.

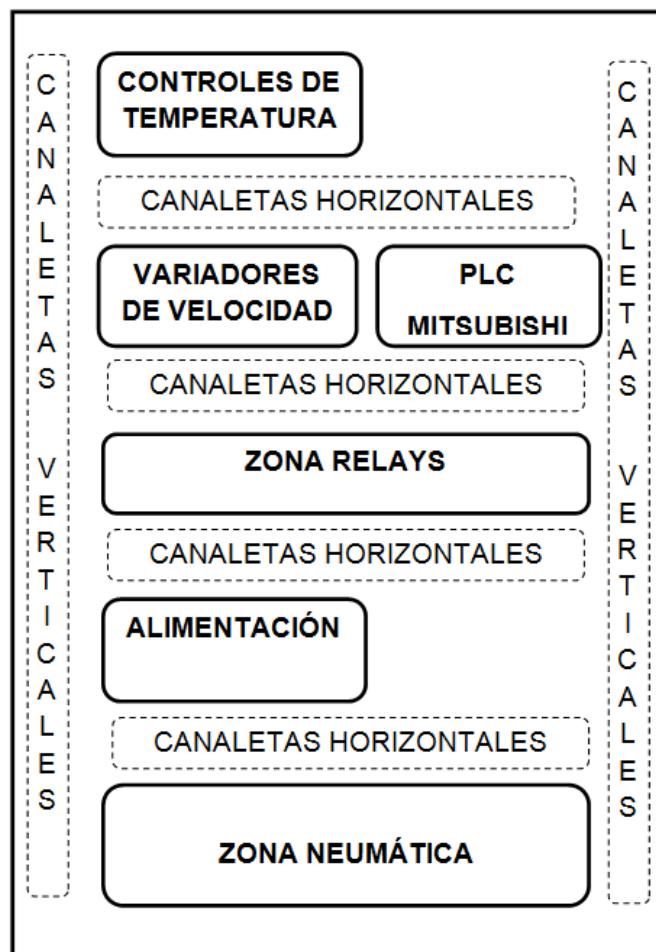


Fig. 4.94 Distribución del Tablero Eléctrico

4.2.3.1. Planos Eléctricos

Las conexiones detalladas de cada uno de los elementos eléctricos y electrónicos que componen la máquina empacadora se encuentran plasmadas en los planos eléctricos mostrados en el anexo F.

4.2.4. DISEÑO ELECTRÓNICO PARA DOSIFICACIÓN POR PESO.

4.2.4.1. Descripción

Para realizar la dosificación por Peso es necesaria la utilización de celdas de cargas ubicadas en la parte inferior de cada una de las balanzas del sistema, que al sufrir deformación causada por el peso previamente ingresado por teclado, envía una señal análoga misma que es acondicionada a través de un circuito amplificador de señal y transformada en señal digital a través del PIC 16F877A. Posteriormente es direccionada hacia las entradas del PLC para realizar las acciones de control correspondientes (Fig. 4.95).

4.2.4.2. Diseño de Acondicionamiento de Señal.

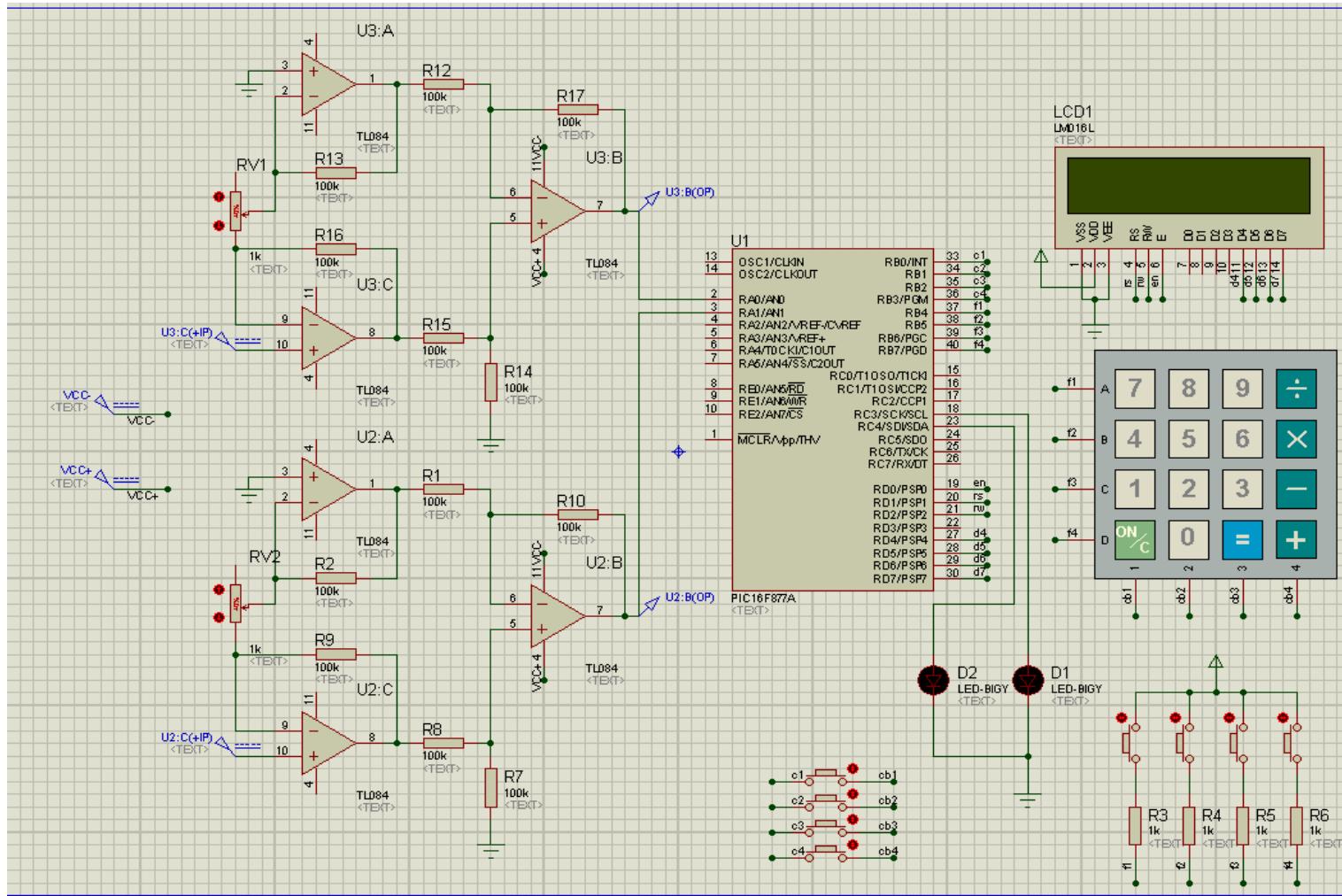


Fig. 4.95 Diseño Electrónico Dosificación por Peso

4.2.4.3. Programa PIC

La señal amplificada es leída a través de los pines AN0 Y AN1 del Microcontrolador. Internamente se realiza la transformación mediante el ADC del PIC, relacionándolo con la cantidad de Peso censado y comparándolo con el número ingresado por teclado, determinando así el momento de la activación o desactivación de la compuerta de la balanza.

El peso deseado es ingresado mediante teclado y se lo visualiza en un display de 15 segmentos, donde se identifica el peso establecido durante el proceso. La señal de salida o respuesta es enviada a través de los Pines C3 Y C4, que posteriormente serán direccionados hacia las entradas del PLC para realizar las acciones de control necesarias.

```
#include <16f877A.h>
#device ADC=10
#fuses XT,NOWDT,NOPROTECT,NOLVP,PUT,BROWNOUT
#use delay(clock=2000000)
#use standard_io(b)
#include <STDLIB.H>
#include <LCD.C>
#include <kbd_lib.c>
float AD1_Leido=0;
float AD2_Leido=0;
float aux=0;
float aux2=0;
char k,tecla;
int16 unidad=0;
int16 decena=0;
int16 p;
int16 conttec=0;

void Inicio(void)
{
    set_tris_a(0xFF);
    setup_adc_ports(ALL_ANALOG);
    setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL);
```

```

lcd_init();
kbd_init();
}
void lecturateclado()
{
    conttec=0;
    do
    {
        tecla=kbd_getc();
        if ((tecla!=0)&(conttec==0))
        {
            lcd_gotoxy(9,2);
            printf(lcd_putc,"%c",tecla);
            if((tecla!='*')&(tecla]!='#')
                decena=tecla-48;
            conttec=1;
        }
        else if ((tecla!=0)&(conttec==1))
        {
            lcd_gotoxy(10,2);
            printf(lcd_putc,"%c",tecla);
            if((tecla!='*')&(tecla]!='#')
                unidad=tecla-48;
            conttec=2;
        }
    }while(tecla!='*');
}
Igualar()
{
malingreso:
printf(lcd_putc,"\\fIngrese peso gr:");
lecturateclado();
p=decena*10+unidad;
if (p>=91){
printf(lcd_putc,"\\fPeso de 0-90 gr");
delay_ms(4000);
goto malingreso;
}
k=kbd_getc();

```

```

}

void main()
{
    Inicio();
    Igualar();
    sigue:
    lcd_putc("\fPeso:");
    lcd_gotoxy(8,1);
    printf(lcd_putc,"%02lu gr",p);
    lcd_gotoxy(1,2);
    printf(lcd_putc,"Cambiar Peso (B)");
    do {k=kbd_getc();
        set_adc_channel(0);
        AD1_leido=read_adc();
        aux=(AD1_leido*5/1024*1000+2.57)-2000+12.13;
        set_adc_channel(1);
        if (aux>=p)
            output_high(PIN_C3);
        else
            output_low(PIN_C3);
        AD2_leido=read_adc();
        aux2=(AD2_leido*5/1024*1000+2.57)-2000+12.13;
        if (aux2>=p)
            output_high(PIN_C4);
        else
            output_low(PIN_C4);
    }
    while(k!='B');
    Igualar();
    goto sigue;
}

```

4.3. SISTEMA NEUMÁTICO

La empacadora cuenta con 3 pistones neumáticos que son los encargados del corte y sellado tanto horizontal como vertical de la funda y 2 pistones adicionales en el caso de la dosificación por peso para efectuar el cierre y la apertura de las balanzas.

Es indispensable contar con electroválvulas, un filtro de aire, mangueras neumáticas y un distribuidor con regulador de fuljo para el correcto funcionamiento de los actuadores.

4.3.1. DISTRIBUIDOR REGULADOR DE FLUJO

Lo recomendable es usar un distribuidor con un regulador 1/3 neumático (Fig. 4.96) con manómetros independientes en cada una de las líneas de salida del aire, permitiendo regular el flujo y la presión para cada uno de los pistones.

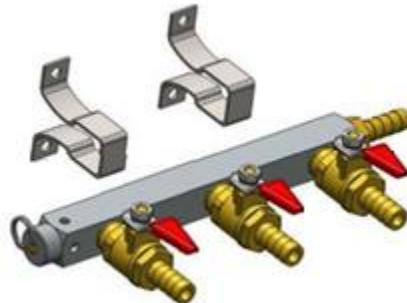


Fig. 4.96 Distribuidor de Aire⁵⁹

4.3.2. ELECTROVÁLVULAS

Son las encargadas de controlar la dirección de flujo de aire hacia los pistones, mediante una señal eléctrica. Para este caso se utilizan electroválvulas 5/2 monoestables con retorno de muelle (Fig. 4.97) que facilitan el control para la salida y retorno de los actuadores.

⁵⁹ www.alibaba.com



Fig. 4.97 Electroválvula monoestable (AIRTAC) 5/2 con retorno de muelle⁶⁰

4.3.3. SILENCIADOR

Se utiliza silenciador neumático de $\frac{1}{4}$ pulgada a la salida del Pistón de sellado horizontal con el fin de reducir el sonido producido por el desfogue de aire, en cada pulso de sellado.

4.3.4. FILTRO DE AIRE

Tiene la misión de extraer del aire comprimido circulante todas las impurezas y el agua condensada garantizando el perfecto funcionamiento de cada uno de los elementos neumáticos que contiene la empacadora como electroválvulas, manómetros y actuadores neumáticos (Fig. 4.98).



Fig. 4.98 Filtro de Aire⁶¹

4.3.5. MANÓMETROS

La presión con la que trabaja cada sistema debe ser visualizada en manómetros (Fig. 4.99) ubicados a la salida de cada ramificación del distribuidor regulador, garantizando la fuerza necesaria en cada pistón.

⁶⁰ es.airtac.com

⁶¹ Spanish.alibaba.com



Fig. 4.99 Manómetro Neumático⁶²

4.3.6. DIAGRAMAS DE DISTRIBUCIÓN NEUMÁTICA.

4.3.6.1. Sistema Dosificación Volumétrica

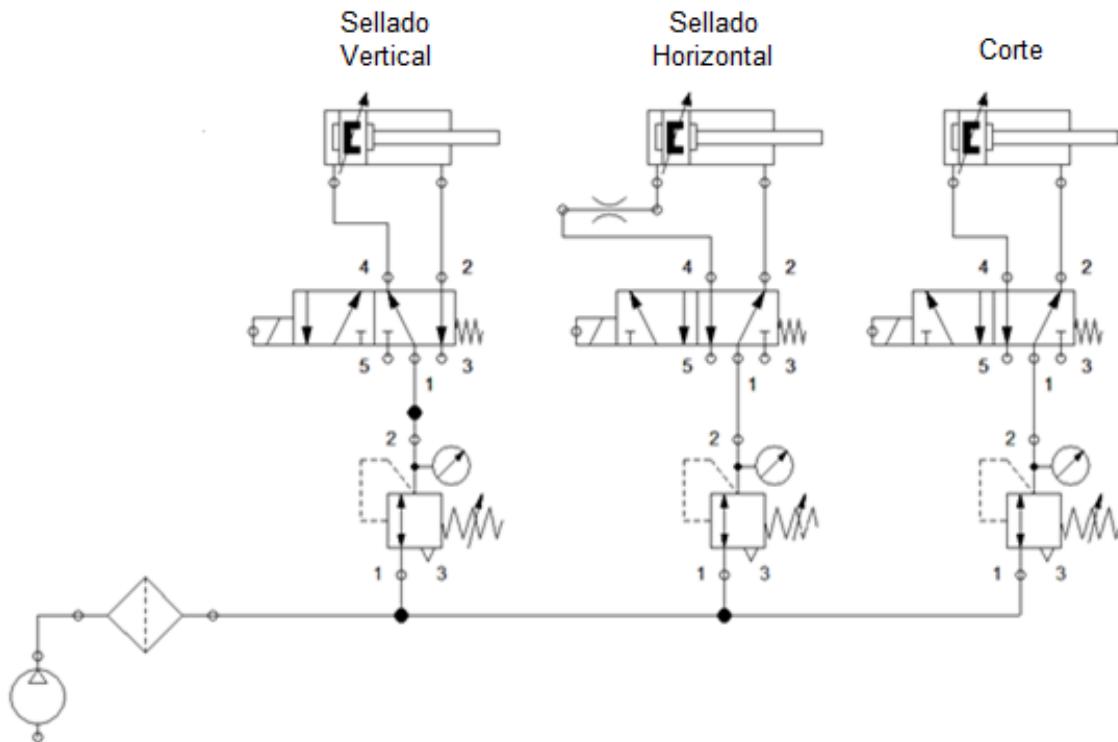


Fig.4.100 Diagrama de Distribución Neumática Dosificación Volumétrica

⁶² Neumática-es.timmer-pneumatik.de

4.3.6.2. Sistema de Dosificación por Peso.

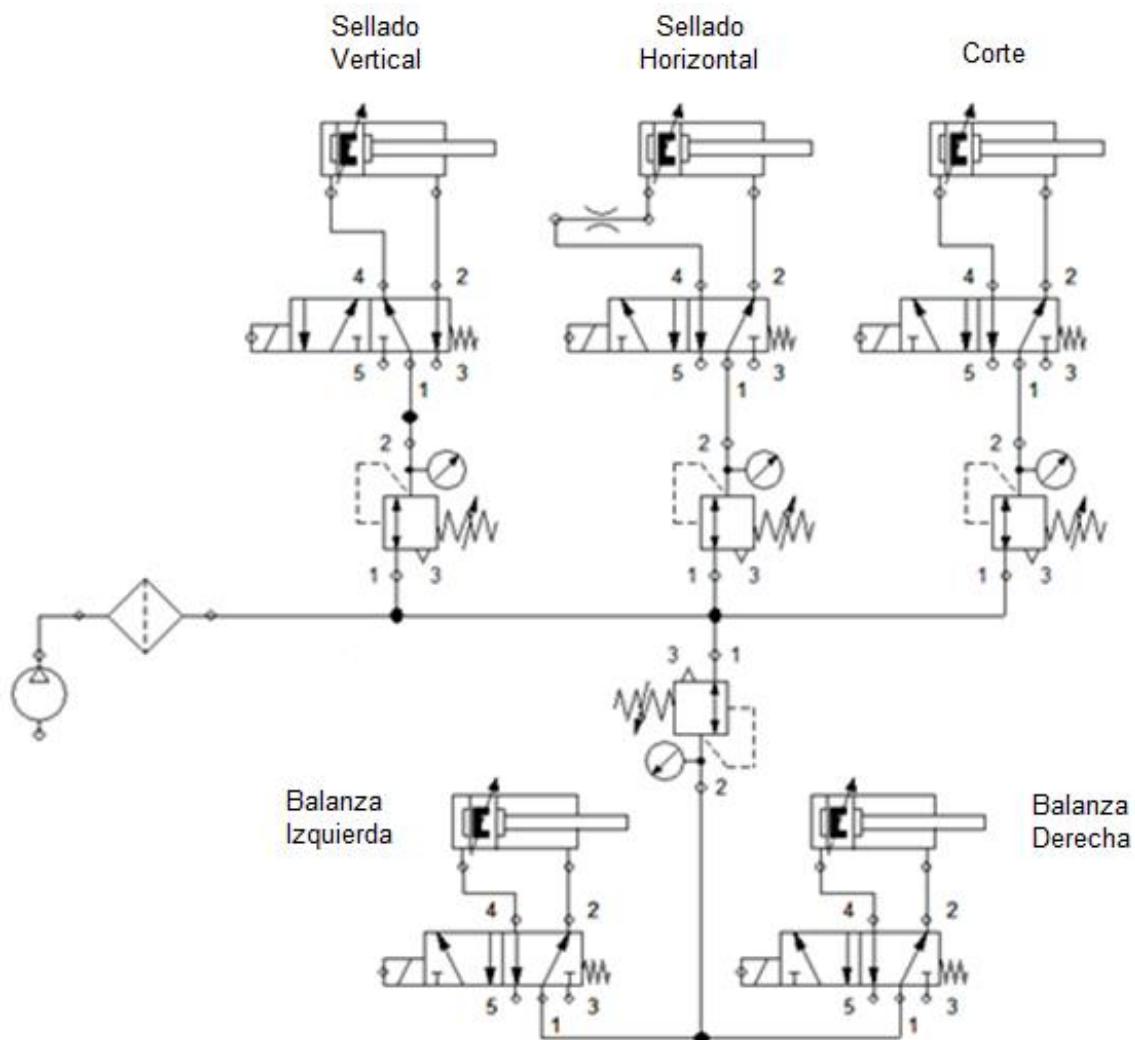


Fig. 4.101 Diagrama de Distribución Neumática Dosificación por Peso

4.4. SISTEMA DE CONTROL

4.4.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

La empacadora debe realizar la dosificación de dos maneras, por peso y por volumen, por tanto el proceso queda dividido en dos subprocesos.

El primero consiste en la dosificación por volumen, donde el producto que está almacenado en la tolva acoplada a la bandeja, cae al plato giratorio con seis vasos volumétricos mediante el vibrador que regula la velocidad de alimentación. Posteriormente el producto cae en cantidades iguales hacia el tubo de papel ya formado para el posterior sellado vertical, horizontal y corte de la funda.

El segundo subproceso es el de la dosificación por peso, donde el producto que igualmente está almacenado en tolvas desemboca en dos bandejas acopladas a balanzas mismas que pesan el producto y que posteriormente alimentan el tubo de papel formado en cantidades exactas para su inmediato sellado y corte.

4.4.2. SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE CONTROL

4.4.2.1. Sensores

El sistema de control de una máquina se basa en la correcta información recibida de los sensores seleccionados en función del tipo de trabajo a realizar.

Para este proceso de empacado donde el sellado tanto horizontal como vertical y el corte, es indispensable conocer el posicionamiento del carrete de las mordazas en cada instante de tiempo, para lo cual se acopla un Encoder compuesto de un sensor inductivo y una rueda metálica de 18 agujeros en el eje principal de movimiento (Fig. 4.102).

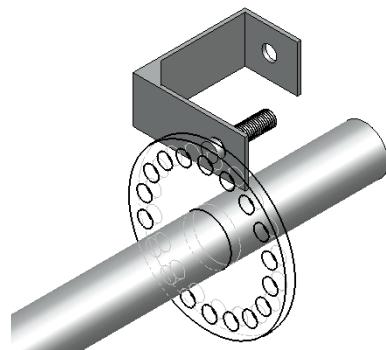


Fig. 4.102 Acople sensor inductivo

Para la dosificación volumétrica se utiliza un sensor de proximidad (inductivo) (Fig. 4.103) para el correcto posicionamiento de los vasos telescopicos con respecto al centro del ducto de la alimentación.



Fig. 4.103 Sensor inductivo de proximidad industrial⁶³

En la dosificación por peso se emplea una celda de carga (Fig. 4.104) ubicada en la parte inferior de cada balanza. La señal de salida obtenida se acopla a un circuito amplificador que está conectado a las entradas del PLC para el control de la apertura y cierre de las compuertas de cada balanza.

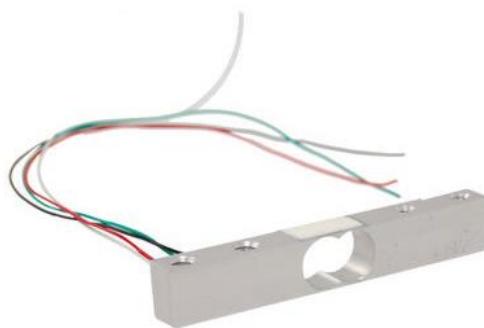


Fig. 4.104 Celda de carga⁶⁴

⁶³ www.automatizando.com.co

⁶⁴ www.basculasmoresco.com

Para detectar la temperatura se utiliza termocuplas tipo J (figura 4.105), que están elaboradas con un alambre de hierro y otro de Constantan (cobre – níquel), utilizadas en industrias de plásticos, gomas y fundición de metales a bajas temperaturas, permitiendo su operación en rangos de temperatura comprendidos entre (-180 a 750 °C). ver anexo J



*Fig. 4.105 Celda de carga*⁶⁵

4.4.2.2. Controlador Lógico Programable

Para la selección del PLC se toma en cuenta la cantidad y el tipo de variables a controlar tanto de entrada como de salida. En el proceso de empacado se tiene 8 entradas entre sensores y accionamientos, y 12 salidas para actuadores y electroválvulas.

Usando catálogos MITSUBISHI (Fig. 4.102) se determina:

Table 1.1: AC Power, Relay Output Units

MODEL	INPUT		OUTPUT		POWER SUPPLY	DIMENSIONS mm (inches)			MASS (WEIGHT) kg (lbs)
	QTY	TYPE	QTY	TYPE		60 (2.37)	90 (3.55)	75 (2.96)	
FX1s-10MR-ES/UL	6	24V DC Sink / Source	4	Relay	85 - 264 VAC	60 (2.37)	90 (3.55)	75 (2.96)	0.30 (0.66)
FX1s-14MR-ES/UL	8		6			75 (2.96)			0.40 (0.88)
FX1s-20MR-ES/UL	12		8			100 (3.94)			0.45 (0.99)
FX1s-30MR-ES/UL	16		14						

*Fig. 4.106 Selección del PLC*⁶⁶

⁶⁵ www.olinsa.cl

⁶⁶ www.mitsubishielectric.com

El PLC que se adapta a las necesidades de nuestro sistema es el PLC MITSUBISHI FX1S-30MR mostrado en la figura 4.107, que cuenta con 12 entradas y 14 salidas.

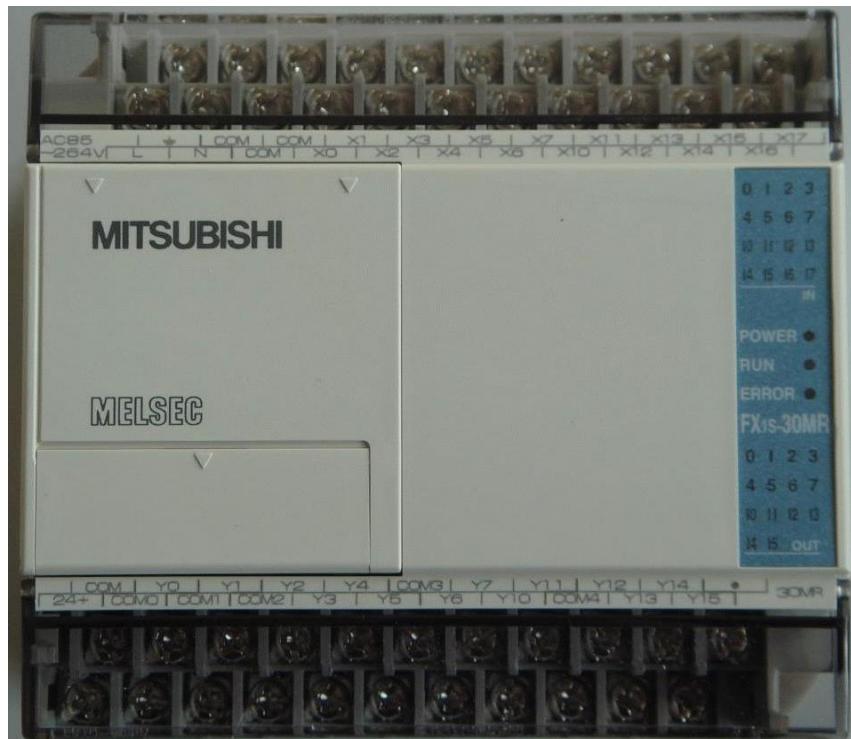


Fig. 4.107 PLC MITSUBISHI FX1S-30MR

4.4.2.3. Variador de Frecuencia

Es el encargado de manipular la velocidad del motor a través de la variación de su frecuencia de alimentación.

Para la selección del variador se considera el tipo de motor, el rango de velocidad a variar y la aplicación a desempeñar, en nuestro caso tenemos un motor trifásico ABB de 1 Hp de potencia con un torque máximo de 2.2 Nm y una frecuencia de alimentación de 60 Hz.

200 / 240 V CA +/- 10% trifásico	Carga normal			Alta sobrecarga		
	Intensidad continua máxima (A)	Salida típica (kW)	Potencia del motor (CV)	Intensidad continua máxima (A)	Salida típica (kW)	Potencia del motor (CV)
Código de pedido						
SKBD200110				5,2	1,1	1,5
SKBD200150				7	1,5	2
SKCD200220				9,6	2,2	3
SK2202	22	5,5	7,5	17	4	5,0
SK2203	28	7,5	10	25	5,5	7,5
SK3201	42	11	15	31	7,5	10
SK3202	54	15	20	42	11	15
SK4201	68	18,5	25	56	15	20
SK4202	80	22	30	68	18,5	25
SK4203	104	30	40	80	22	30
SK5201	130	37	50	105	30	40
SK5202	154	45	60	130	37	50

Fig. 4.108 Selección del Variador de Frecuencia⁶⁷

En el mercado se adquirió un Variador de Frecuencia EMERSON COMMANDER SK TIPO A (Fig. 4.108), mismo que cuenta con las siguientes especificaciones:

- Frecuencia de salida de 0 a 1500 Hz
- Rampas de aceleración y desaceleración lineales o de tipo S
- Temperatura ambiente de -10 °C a 40 °C
- Disponibilidad de 8 velocidades predefinidas.

Las características se encuentran detalladas en el anexo G.

⁶⁷ www.redeselectricas.com/archivos/emerson/CommanderSK-bro_espanol.pdf

4.4.3. PROGRAMACIÓN DEL PLC

4.4.3.1. Secuencia de Funcionamiento de la Máquina

4.4.3.1.1. Empacadora con dosificación volumétrica

Mediante un switch se selecciona el método de dosificación, se encienden los controles de temperatura del sellado tanto vertical como horizontal y se espera que lleguen a la temperatura asignada.

Se enciende el motor del carrete de las mordazas para que oscile verticalmente, posteriormente se activan los sistemas de sellado y corte, que mediante un sensor de posicionamiento del motor determina el momento exacto para activar y desactivar cada uno de los sistemas previamente mencionados.

El sellado vertical se activa el momento en el que el carrete de las mordazas se encuentra iniciando su recorrido vertical ascendente. Las mordazas de sellado horizontal se activan es decir se cierran y arrastran el papel en la parte más alta de la trayectoria del carrete y se desactivan en la parte más baja, finalmente el corte de la funda se produce poco antes de que se desactive el sellado horizontal.

La dosificación se enciende luego de haber previamente activado los sistemas de sellado y corte. Un sensor inductivo debe sincronizar la posición de los vasos telescopicos con el ducto de alimentación, en la finalización de cada ciclo de trabajo.

4.4.3.1.2. Empacadora con dosificación por peso

Mediante un switch se selecciona el método de dosificación, se encienden los controles de temperatura del sellado tanto vertical como horizontal y se espera que lleguen a la temperatura asignada.

Se ingresa por teclado el peso de la funda a empacar, que se muestra en un display. Se enciende el motor del carrete de las mordazas para que

oscile verticalmente, posteriormente se activan los sistemas de sellado y corte, que mediante un sensor de posicionamiento del motor determina el momento exacto para activar y desactivar cada uno de los sistemas previamente mencionados.

Los sistemas de sellado y corte se activan únicamente cuando una de las dos balanzas indique que contiene el peso establecido, si ambas contiene el peso se da prioridad a la que primero se llene, mientras la otra se encuentra en espera hasta que finalice el ciclo. El momento en que se alcanza el peso asignado automáticamente se para el funcionamiento del vibrador correspondiente a esa balanza.

El sellado vertical se activa el momento en el que el carrete de las mordazas se encuentra iniciando su recorrido vertical ascendente. Las mordazas de sellado horizontal se activan es decir se cierran y arrastran el papel en la parte más alta de la trayectoria del carrete y se desactivan en la parte más baja, finalmente el corte de la funda se produce poco antes de que se desactive el sellado horizontal.

La dosificación se enciende a través de los vibradores luego de haber previamente activado los sistemas de sellado y corte.

4.4.3.2. Asignación de Variables de Control

Asignación de Variables de Control		
Nombre	Dirección	Comentario
Entradas		
Encoder	X0	Sensor de posicionamiento del motor
Fotocelda	X1	Sensor de marca de las fundas
Sw_Mordazas	X2	Switch de activación de las mordazas
Sw_Motor	X3	Encendido y apagado del motor
SB_izquierda	X4	Sensor de peso de la balanza izquierda
SB_derecha	X5	Sensor de peso de la balanza derecha

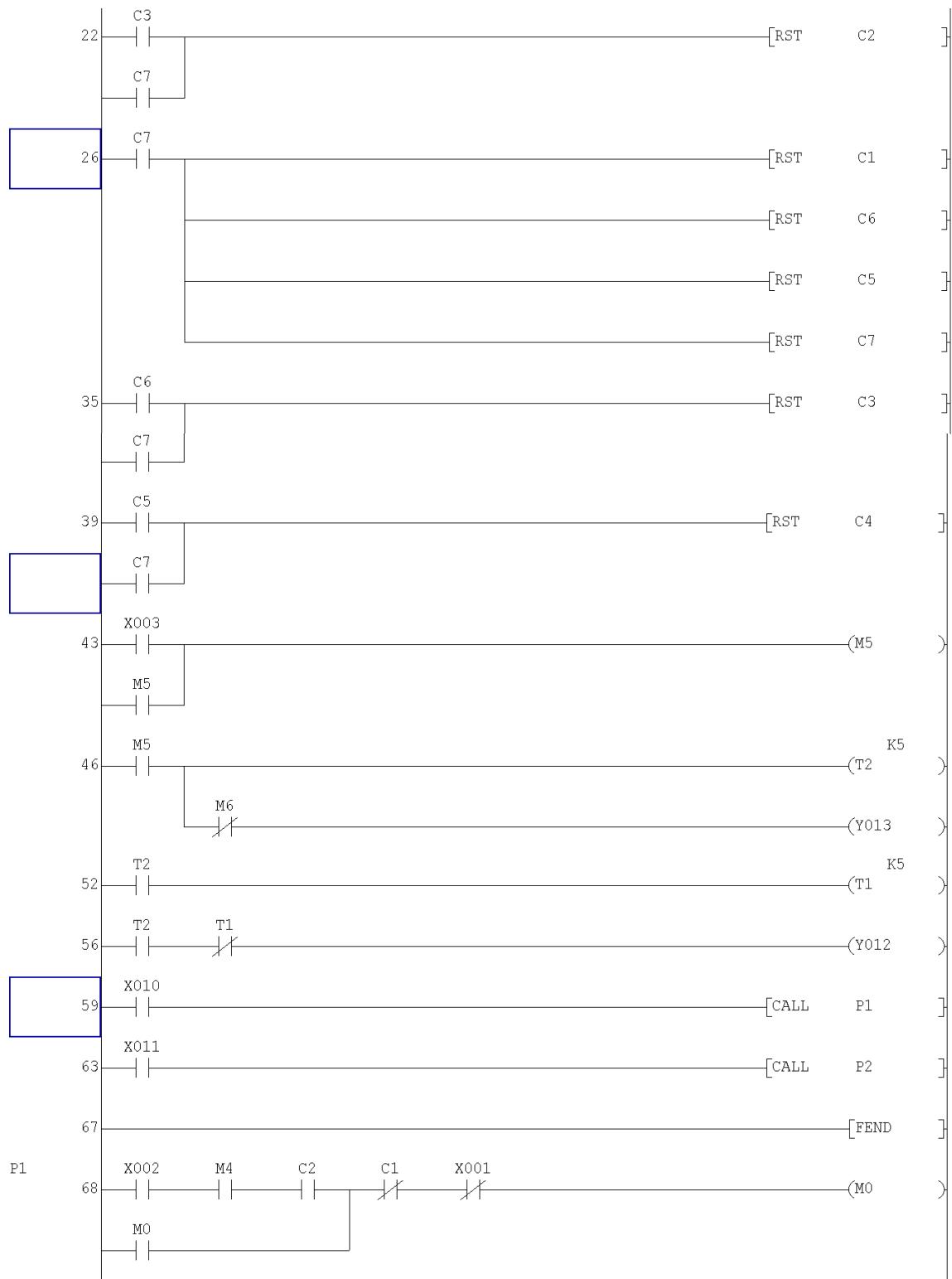
Asignación de Variables de Control (Continuación)		
Dosificación_vol	X6	Plato giratorio de dosificación
Dosificación_peso	X7	Comienzo de la dosificación por peso
Sw_Sel_Vol	X10	Selección de dosificación volumétrica
Sw_Sel_Peso	X11	Selección de dosificación por peso
Posición_Dosf	X12	Posición final de la dosificación
Salidas		
Mordazas	Y0	Mordazas de sellado horizontal
Corte	Y1	Corte de las fundas
Sello_Vertical	Y2	Sellado vertical
Compuerta_Izq	Y3	Compuerta de la balanza izquierda
Compuerta_Der	Y4	Compuerta de la balanza derecha
Vibrador_Izq	Y5	Vibrador de la bandeja izquierda
Vibrador_Der	Y6	Vibrador de la bandeja derecha
Fecha	Y7	Colocación de la fecha en las fundas
Start_Motor	Y12	Start para el variador de frecuencia del motor
Stop Motor	Y13	Stop para el variador de frecuencia del motor
Start_Dosificación	Y14	Start para el variador de frecuencia de la dosificación
Stop_Dosificación	Y15	Stop para el variador de frecuencia de la dosificación
Memorias		
Mem_Mordazas	M0	Memoria para el accionamiento de las mordazas
Memoria_CI	M1	Memoria para la compuerta izquierda
Memoria_CD	M2	Memoria para la compuerta derecha
Producto	M3	Memoria de verificación de producto
Comp_SV	M4	Memoria de comprobación de sellado vertical
M_On_Motor	M5	Memoria de encendido del motor
M_Off_Motor	M6	Memoria para el apagado del motor
M_On_Dosf	M7	Memoria de encendido de la dosificación
M_Off_Dosf	M8	Memoria para el apagado de la dosificación
Contadores		
Pos_Baja	C1	Posición baja del carro de las mordazas

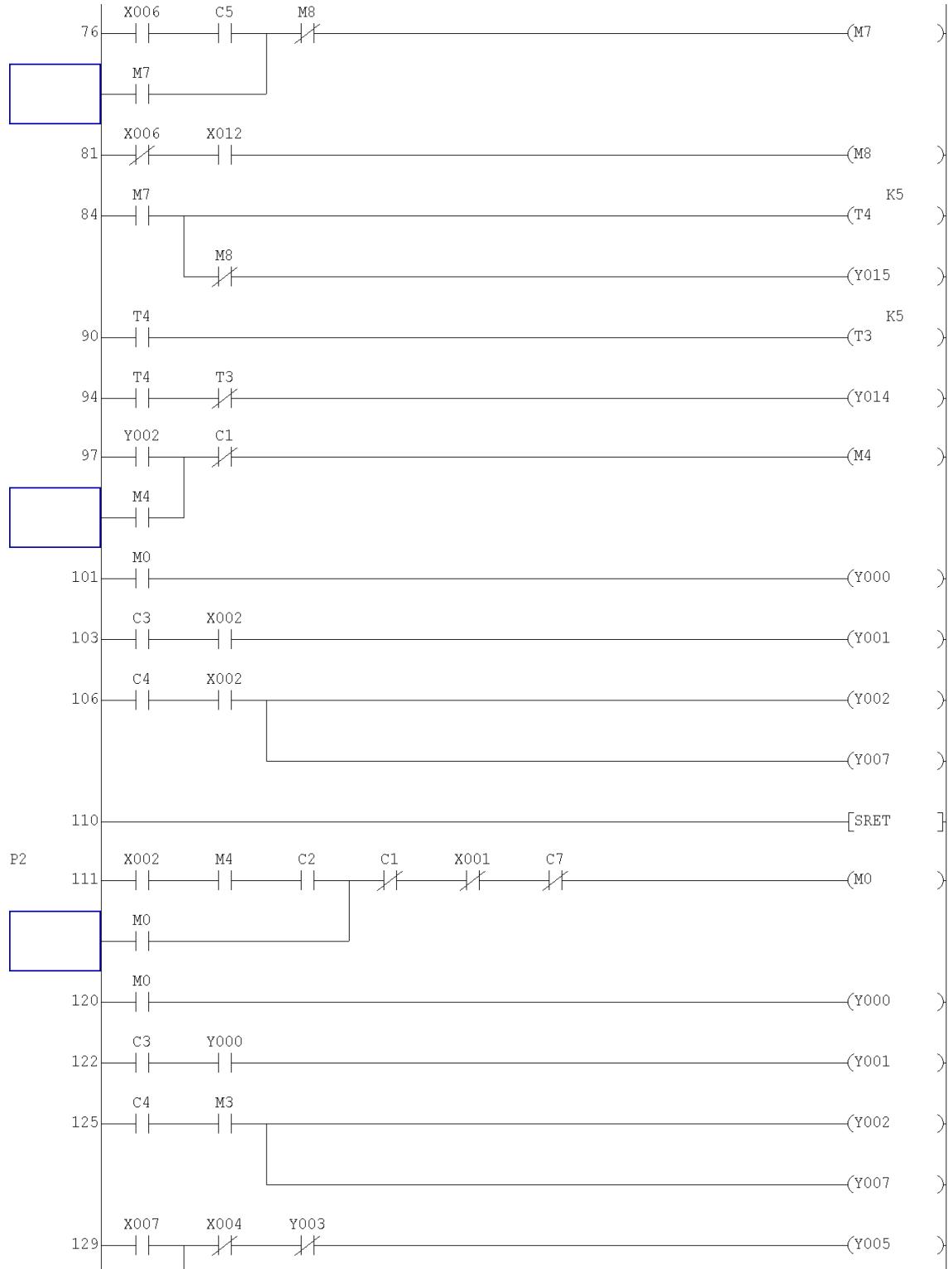
Asignación de Variables de Control (Continuación)		
Pos_Alta	C2	Posición alta del carro de las mordazas
Pos_Corte	C3	Posición para el corte las fundas
Pos_Sello_V	C4	Posición para el sellado vertical
Parada_SV	C5	Detención del sellado vertical
Parada_Corte	C6	Detención del corte de las fundas
C_Reset	C7	Contador de reseteo
Temporizadores		
T_Start_Motor	T1	Simulador de pulsación de start motor
T_Stop_Motor	T2	Simulador de pulsación de stop motor
T_Start_Dosf	T3	Simulador de pulsación de start dosificación
T_Stop_Dosf	T4	Simulador de pulsación de stop dosificación
T_Producto	T5	Tiempo de dosificación de producto

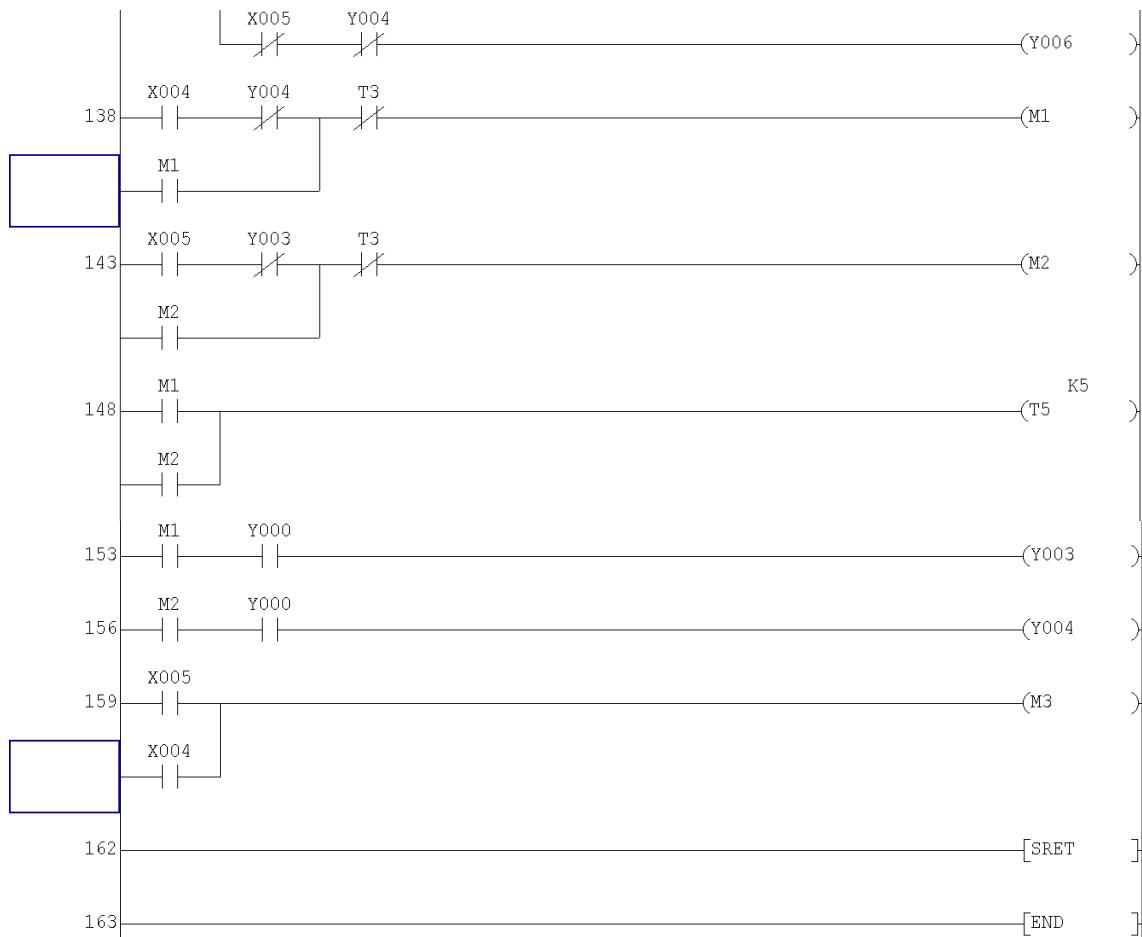
Tabla 4.12 Asignación de las Variables de Control para el PLC

4.4.3.3. Programa Ladder









4.5. TIEMPOS TOTALES DE INGENIERÍA Y DISEÑO

Tiempos Totales de Diseño (h)		
Sistema	Parámetro	Tiempo
MECÁNICO	Formación de la Funda	40
	Sellado y Corte	32
	Guiado y Arrastre	32
	Dosificación	48
	Bastidor	16
ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO	Selección Motores	16
	Tipos de Sensores	24
	Distribución tablero de Control	40
NEUMÁTICO	Selección Electroválvulas	16
	Selección de Pistones	24
	Distribución Neumática	32
Total		320

Tabla 4.13 Tiempos Totales de Diseño

Tiempos Totales de Programación y Control (min)			
Sistema	Programación PLC	Tablero de Control	Total
Formación de la Funda	0	0	0
Sellado y Corte	850	480	1330
Guiado y Arrastre	250	360	610
Dosificación	340	120	460
Bastidor	0	0	0
TOTAL (h)	24	16	40

Tabla 4.14 Tiempos Totales de Programación y Control

CAPÍTULO V

CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

5.1. PROCESOS DE FABRICACIÓN

Los procesos de fabricación se refieren al conjunto sistemático de operaciones necesarias para modificar las materias primas con el objeto de obtener piezas finales con mayor valor adquisitivo.

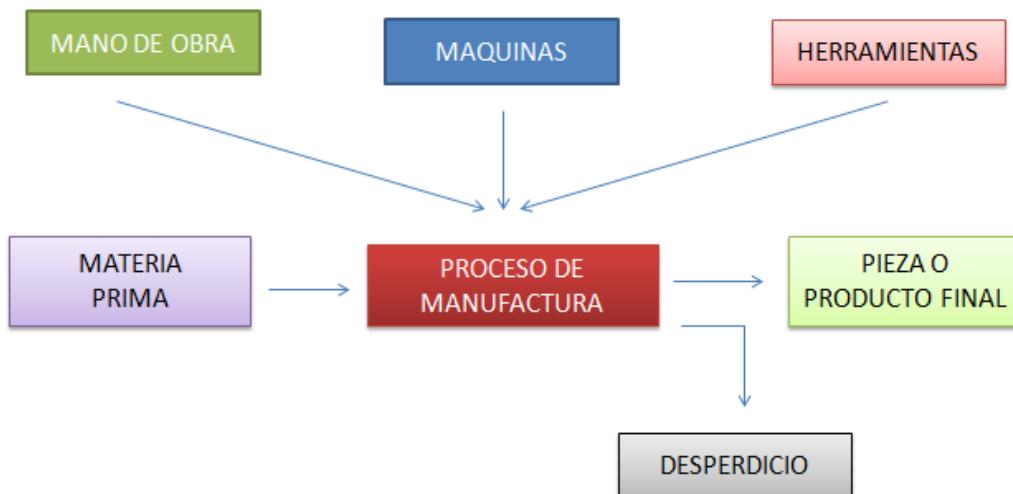


Fig. 5.1 Esquema Básico de un Proceso de Fabricación⁶⁸

Un correcto proceso de fabricación garantiza optimización de recursos económicos, laborales y en materia prima. Además permite distribuir de mejor manera los tiempos para la fabricación de los componentes.

⁶⁸ Diseño de una máquina empacadora, dosificadora y selladora de fundas para arroz. Eduardo Moreno EPN 2010 pag 161

5.1.1. DIAGRAMAS DE PROCESOS DE FABRICACIÓN

Los diagramas de procesos de fabricación de cada una de las piezas más representativas que componen la máquina empacadora, se detallan a continuación.

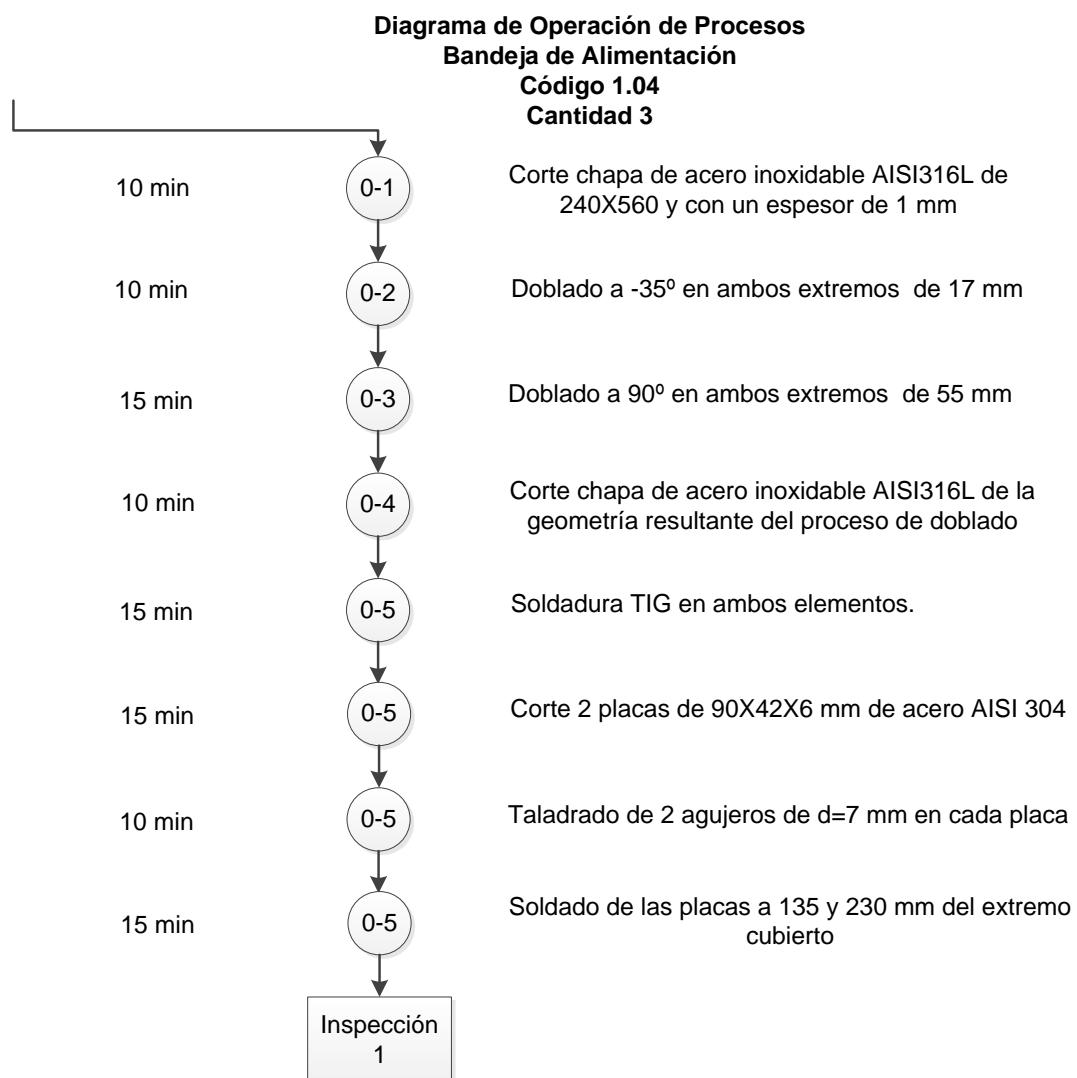


Diagrama de Operación de Procesos

Formador

Código 2.01

Cantidad 1

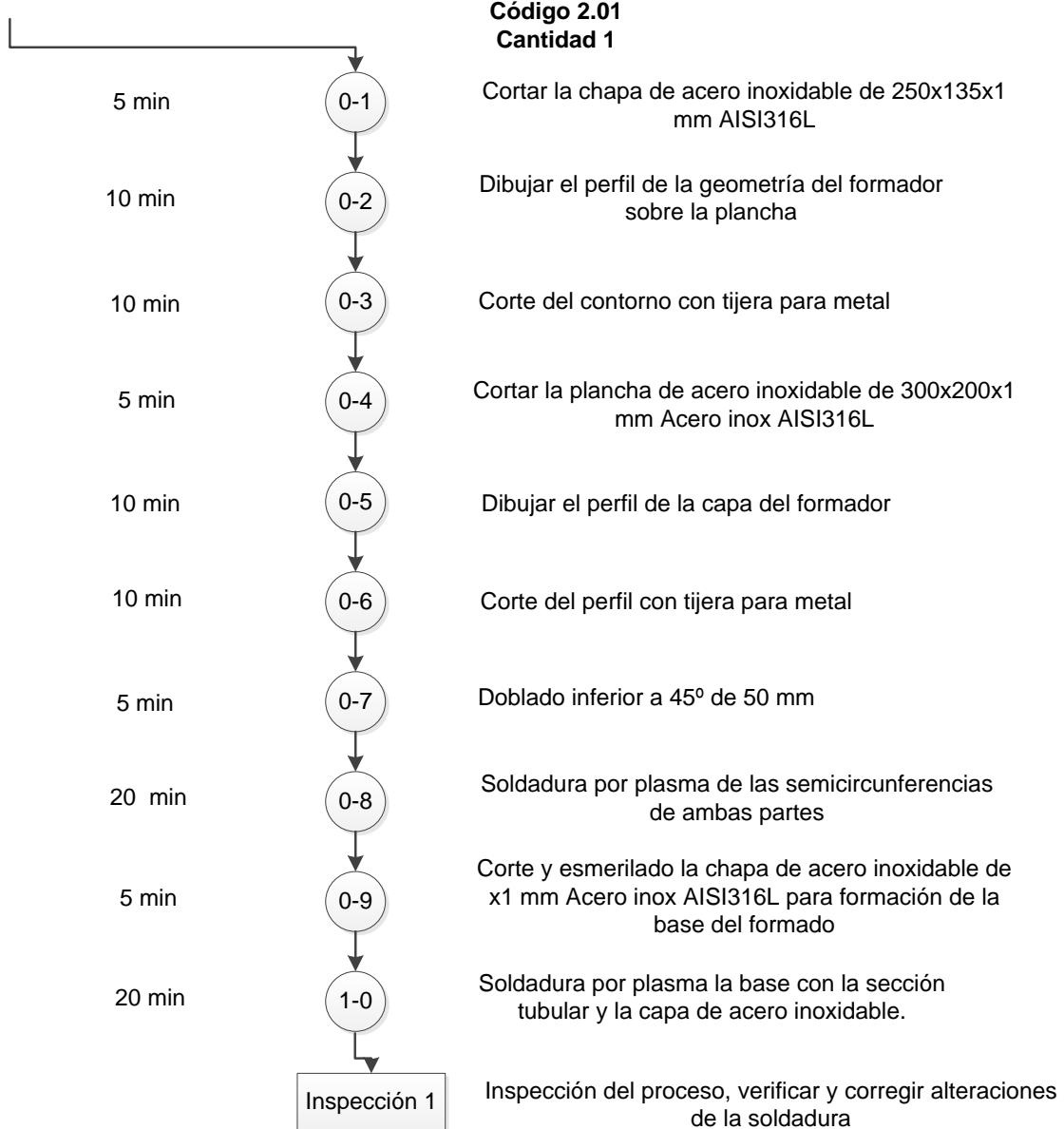


Diagrama de Operación de Procesos

Tubo de alimentación

Código 2.02

Cantidad 1

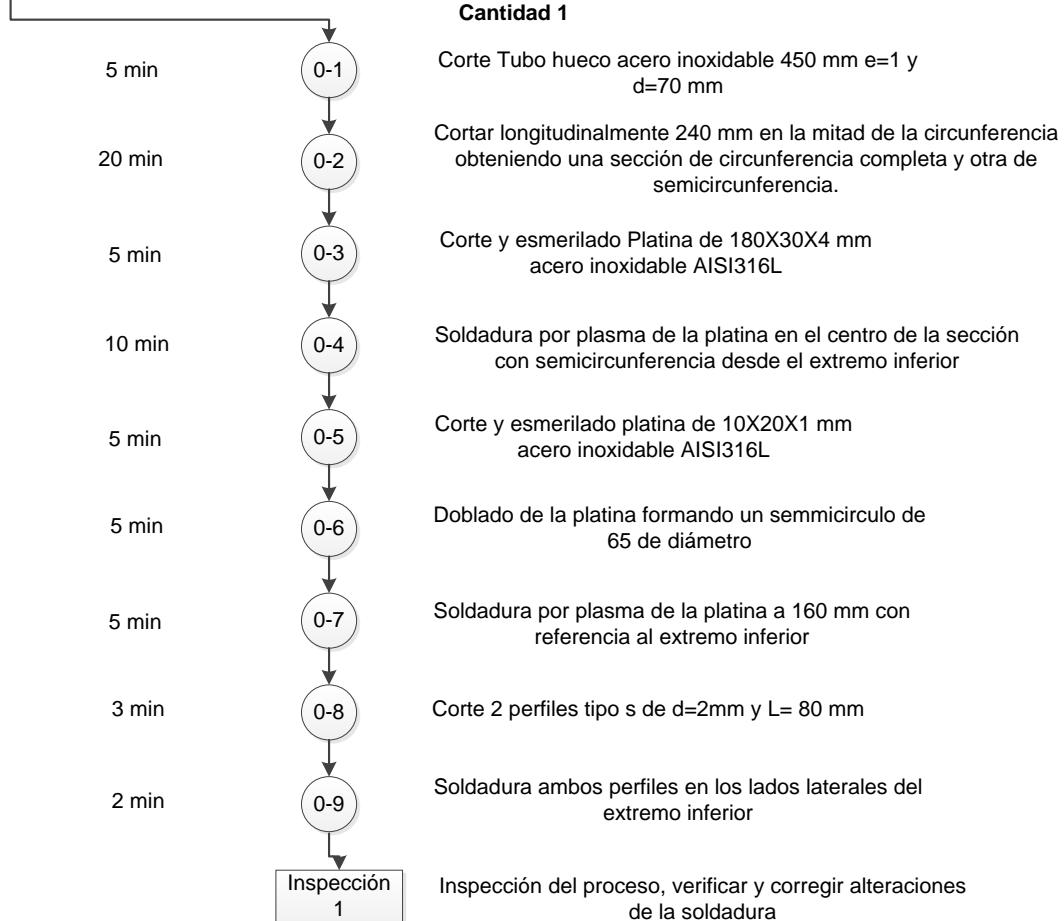


Diagrama de Operación de Procesos

Mordaza Vertical

Código 3.01

Cantidad 1

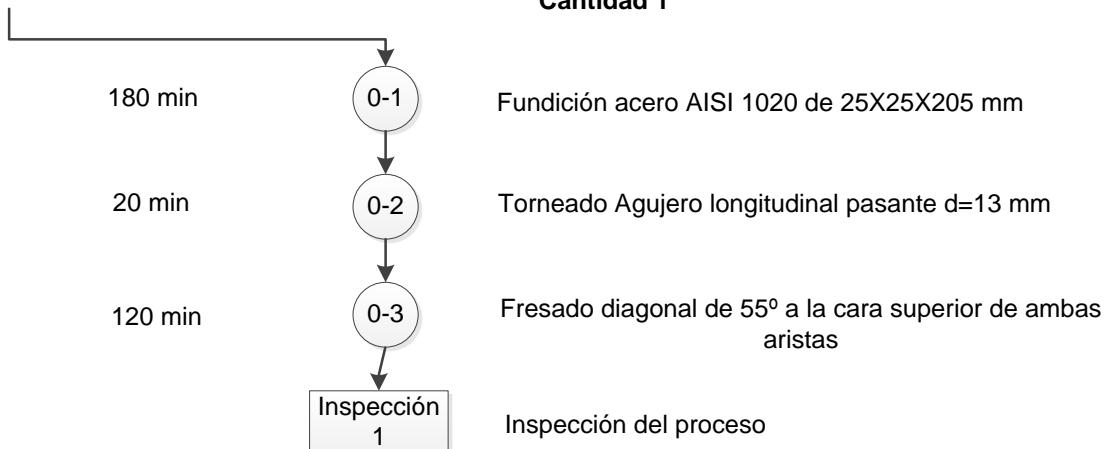


Diagrama de Operación de Procesos

Mordaza Horizontal Exterior

Código 3.04

Cantidad 1

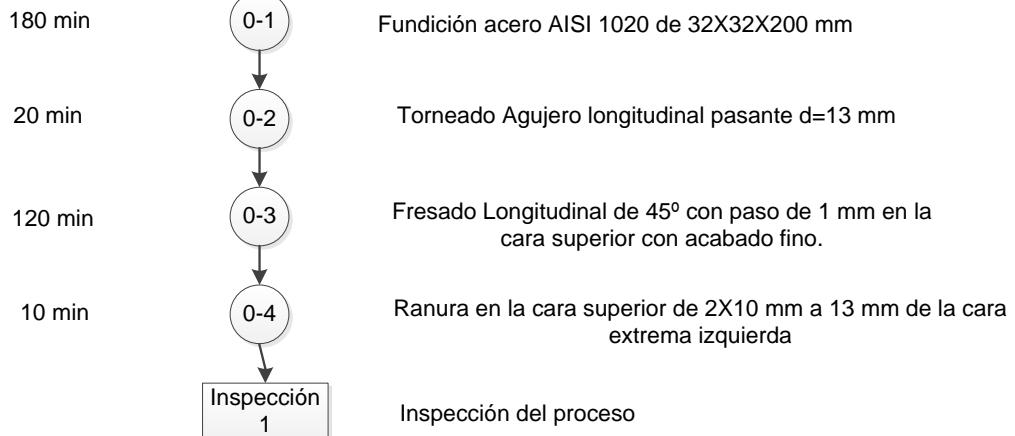


Diagrama de Operación de Procesos

Mordaza Horizontal Interior

Código 3.05

Cantidad 1

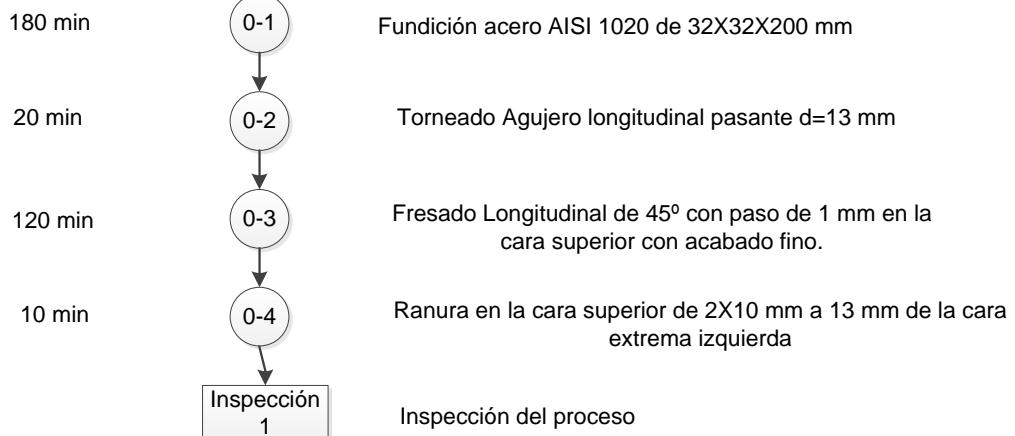


Diagrama de Operación de Procesos
Placa Soporte Mordaza Exterior

Código 3.06
 Cantidad 1

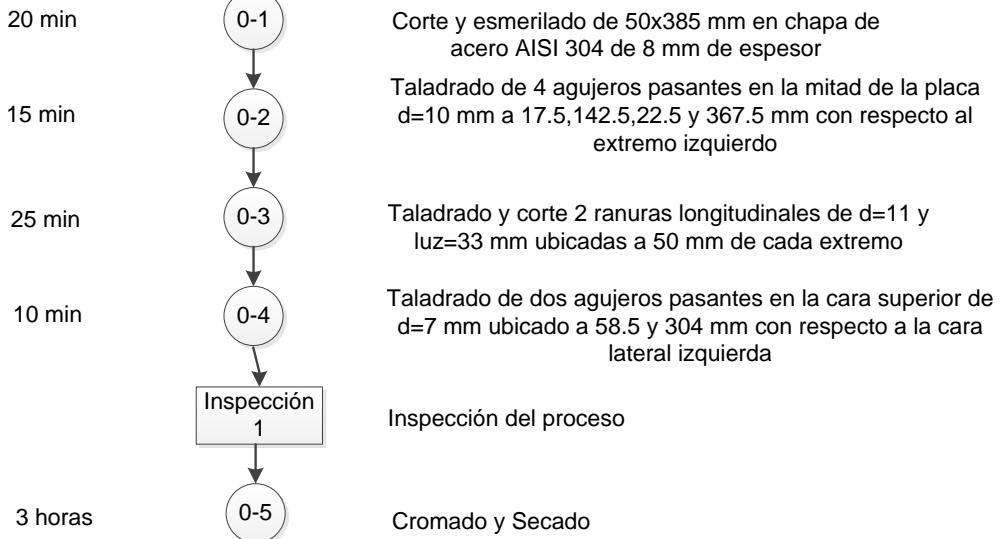


Diagrama de Operación de Procesos
Placa Soporte Mordaza Interior

Código 3.07
 Cantidad 1

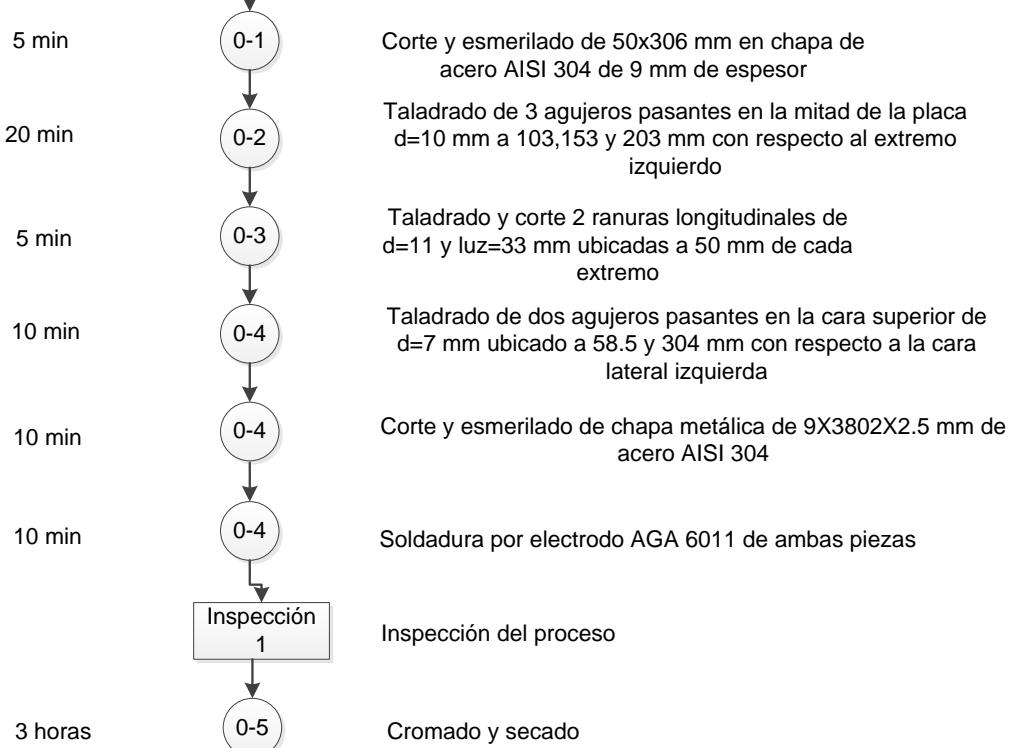


Diagrama de Operación de Procesos

Placa Central

Código 3.08

Cantidad 1

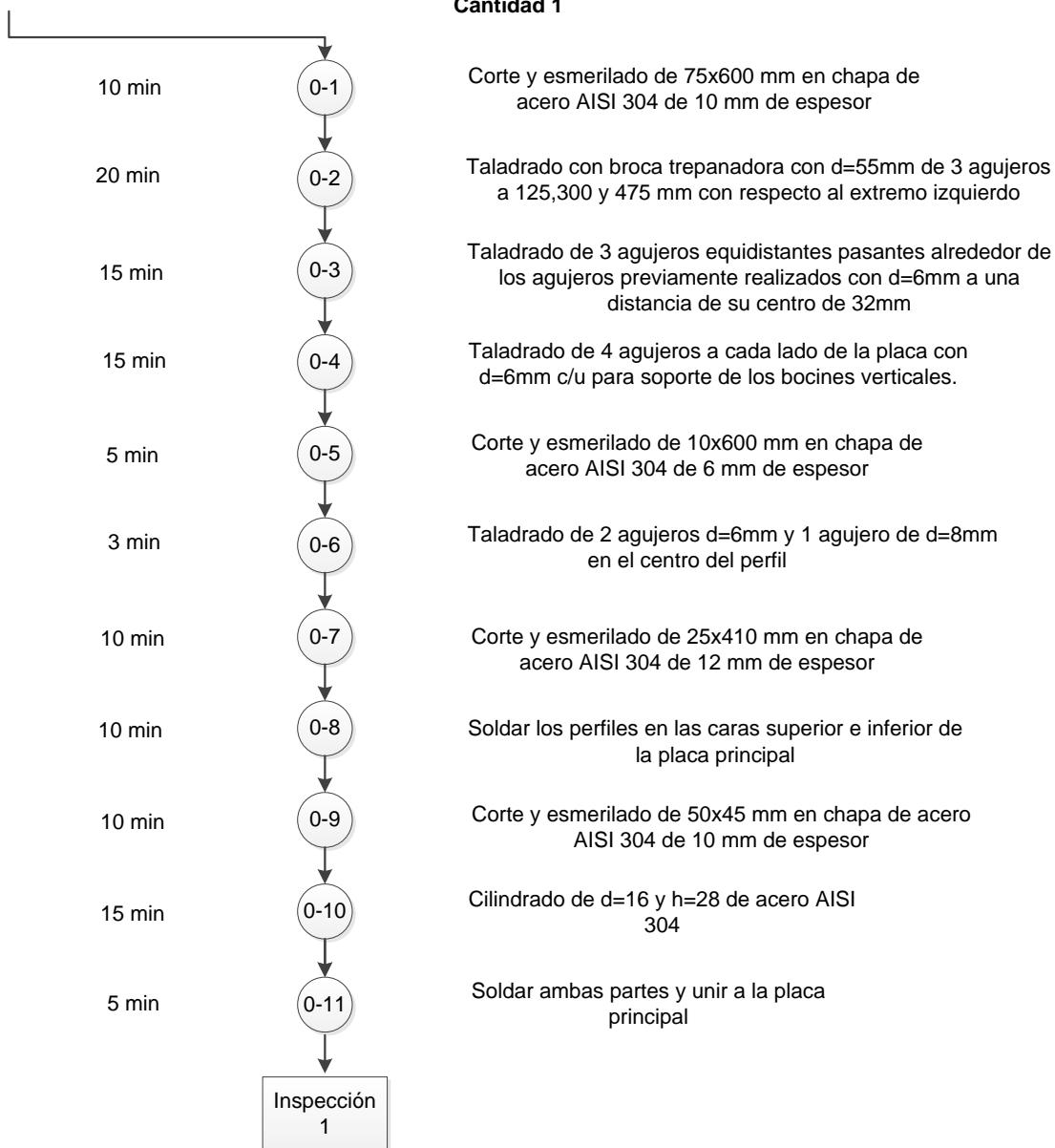


Diagrama de Operación de Procesos
Placa Soporte Pistón de Sellado

Horizontal
Código 3.09
Cantidad 1

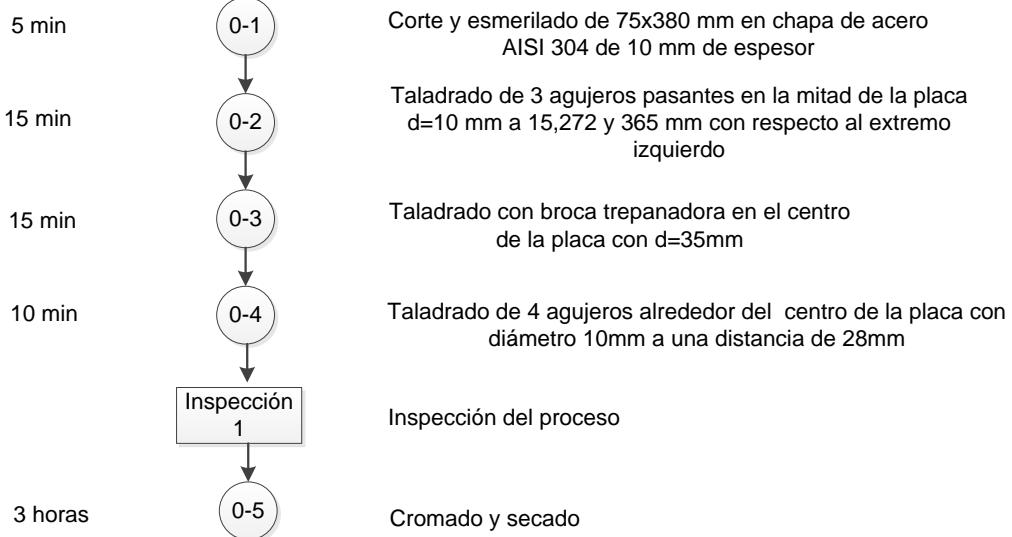


Diagrama de Operación de Procesos
Placa Soporte Pistón Sellado Vertical

Código 3.10
Cantidad 1

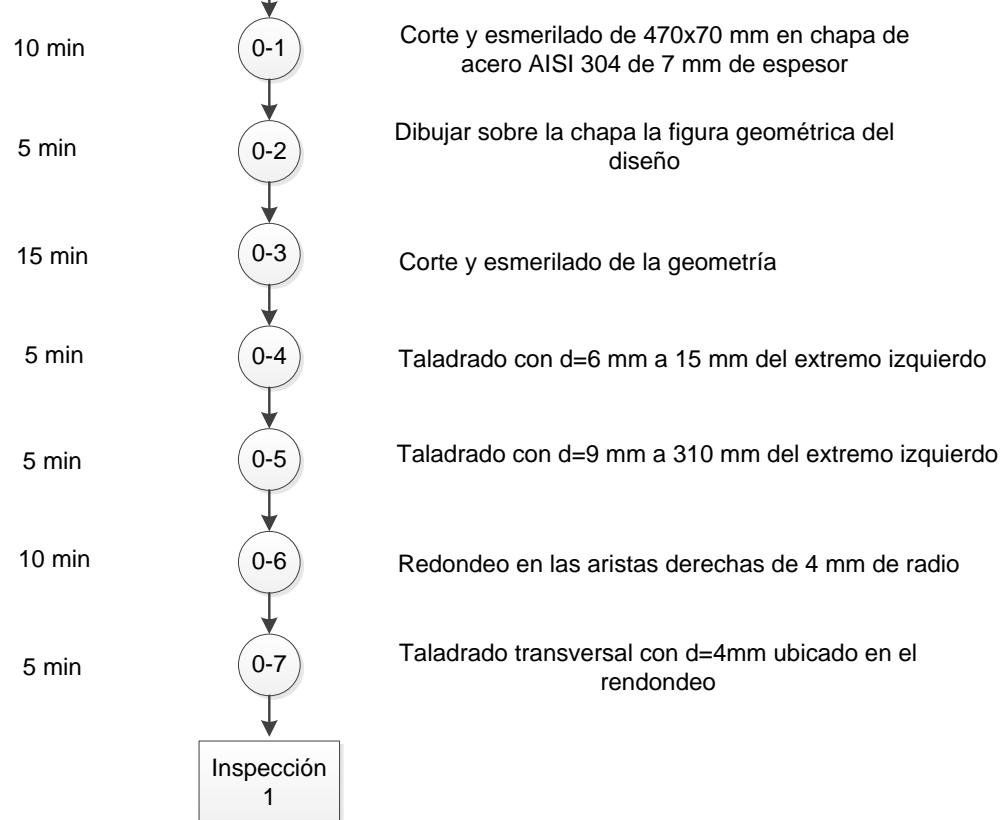


Diagrama de Operación de Procesos

Guías y Apoyo Eje Horizontal

Código 3.11

Cantidad 2

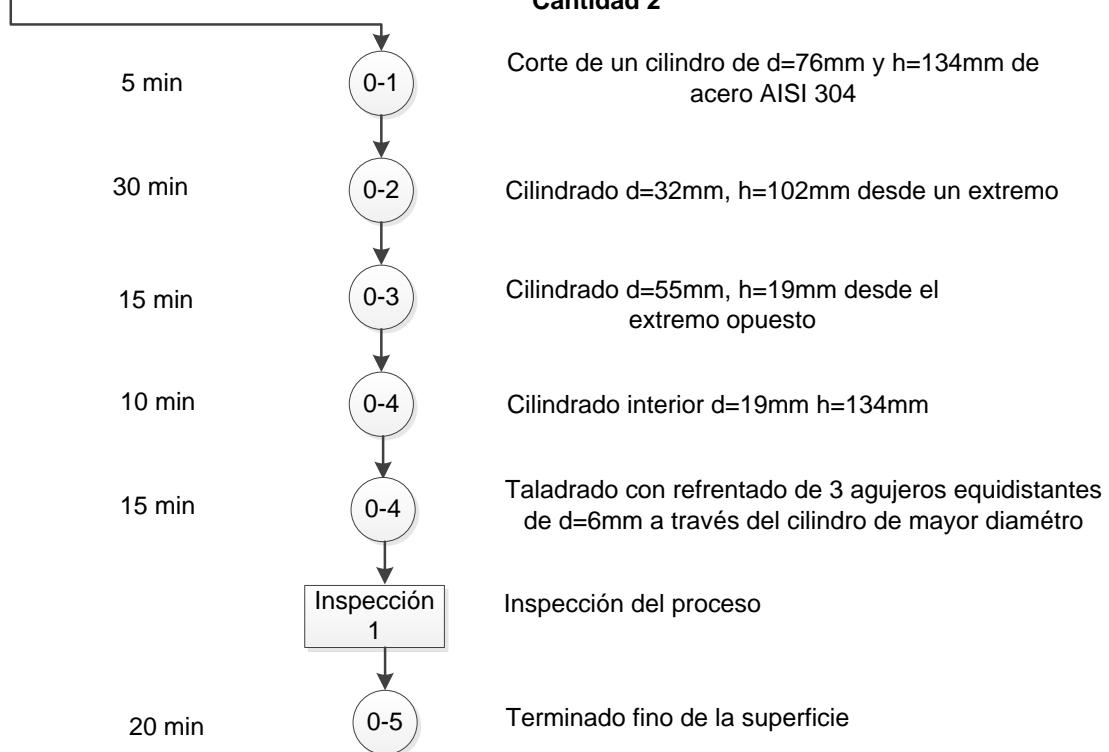
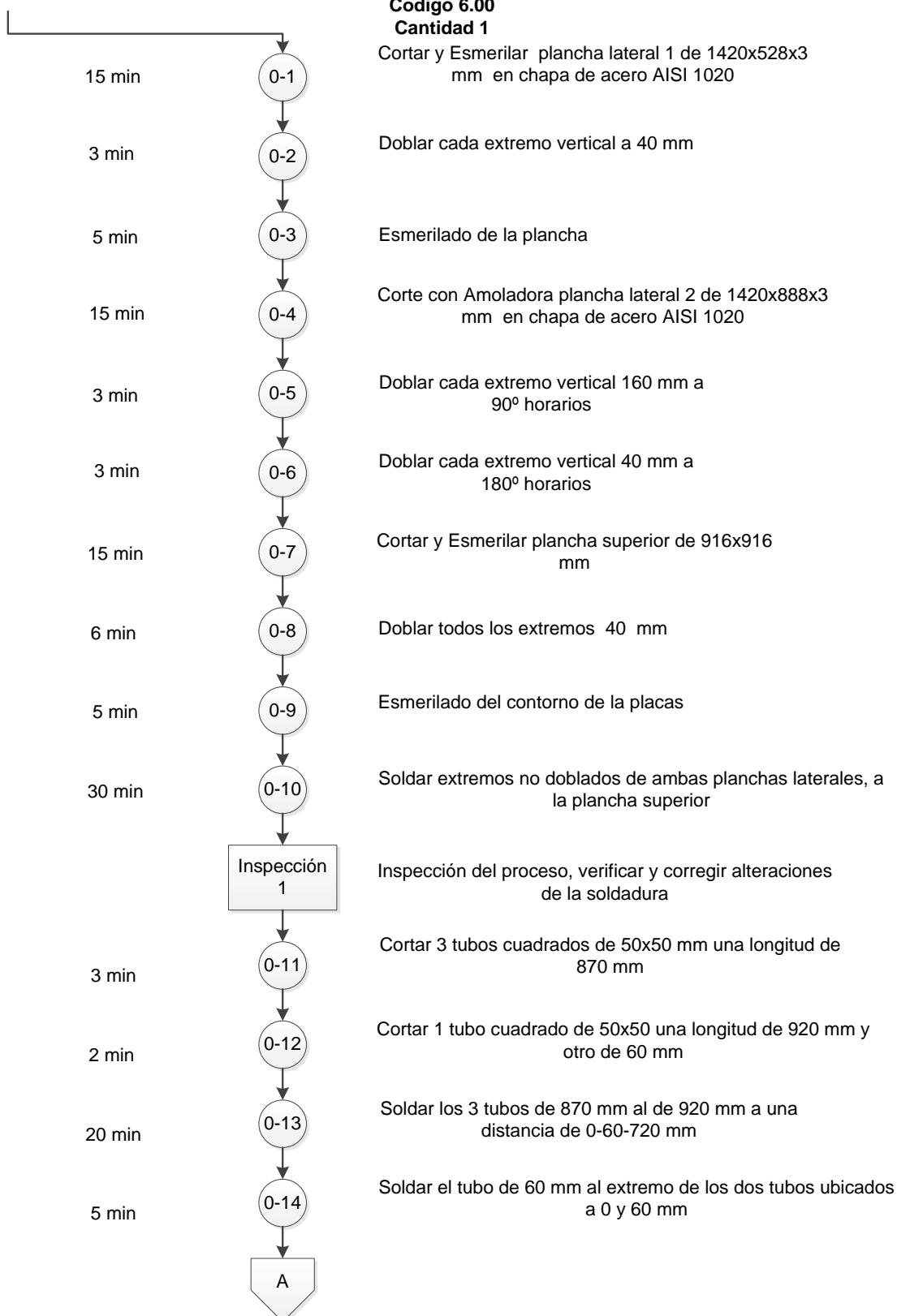


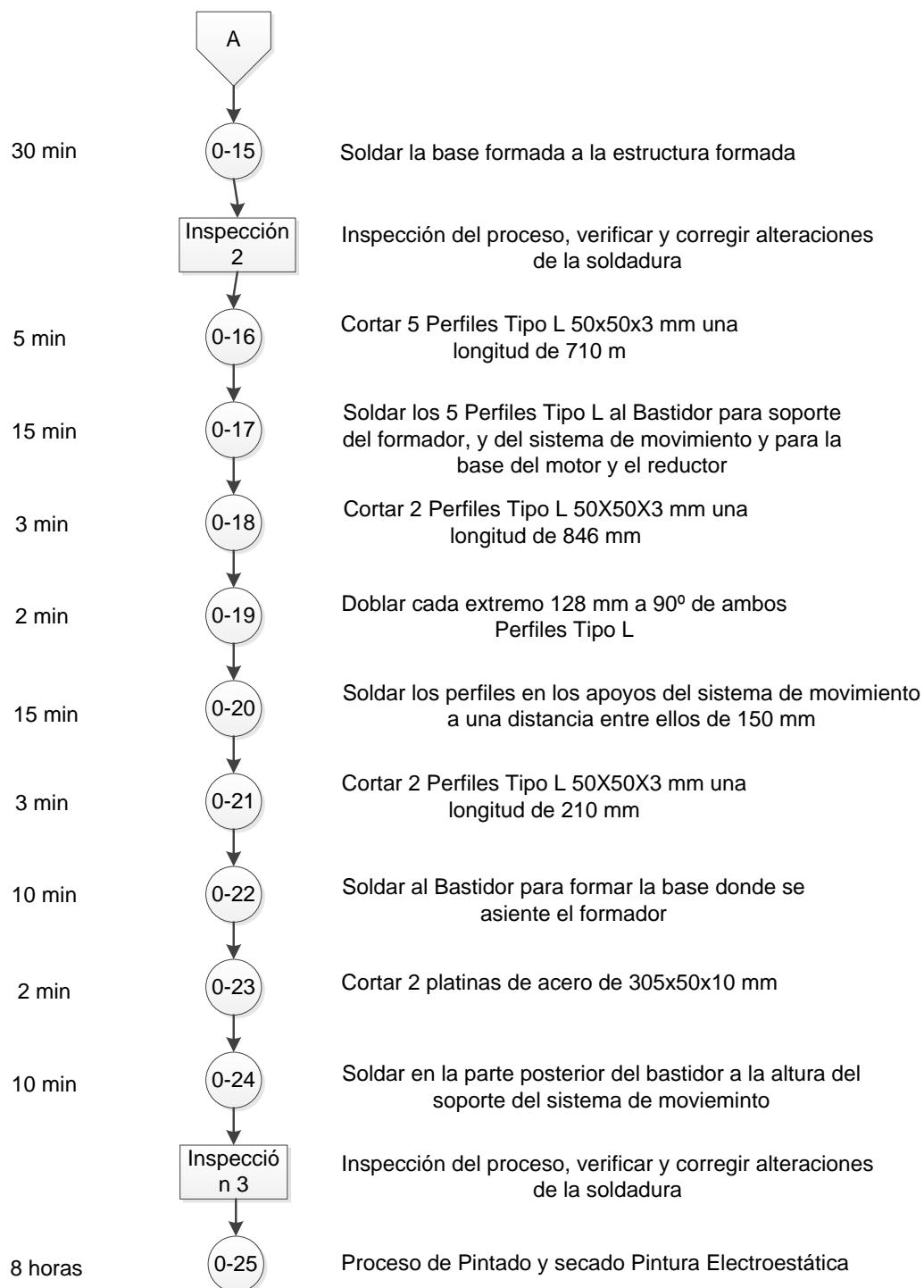
Diagrama de Operación de Procesos

Bastidor

Código 6.00

Cantidad 1





5.1.2. OPERACIONES TECNOLÓGICAS

Para la construcción de la máquina empacadora se hizo de las siguientes operaciones tecnológicas:

Operación Tecnológica	Máquinas	Símbolos
Corte	Tijera de Metal	TJ
	Cizalla	C
Soldadura	Soldadura TIG	ST
	Soldadura Eléctrica	SE
Taladro	Taladro de Banco	TB
	Taladro de Mano	TM
Torneado	Torno	T
Fresado	Fresadora	F
Formado	Dobladora	D
Acabado	Amoladora	A
	Lijadora	L

Tabla 5.1 Principales Operaciones Tecnológicas Utilizadas

5.1.3. TIEMPOS DE FABRICACIÓN

Los tiempos de fabricación de cada sistema que componen la máquina empacadora se encuentran detallados en la tabla 5.2 a partir de las operaciones tecnológicas mencionadas anteriormente.

Sistema	Tiempos de Fabricación (min)											
	Proceso											
	Corte		Soldadura		Taladrado		Torno	Fresado	Doblado	Acabado		Tiempo Parcial
	TJ	C	ST	SE	TB	TM	T	F	D	A	L	
Formación de la Funda	40	20	150	0	20	20	60	0	80	0	60	450
Sellado y Corte	0	0	0	20	100	60	360	840	0	120	0	1020
Guiado y Arrastre	0	60	0	80	160	0	120	0	0	180	0	600
Dosificación	60	180	200	80	0	40	0	0	150	20	40	770
Bastidor	0	0	0	300	40	240	0	0	80	360	60	1080
TOTAL (h)	1.67	4.33	5.83	8	5.33	6.33	9	14	5.17	11.33	2.67	65.33

Tabla 5.2 Tiempos de Fabricación de los Sistemas de la Empacadora

5.2. MONTAJE

El montaje constituye la incorporación de los sistemas eléctricos, electrónicos y de Control al sistema mecánico previamente ensamblado.

5.2.1. TIEMPOS TOTALES DE CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE

A continuación se detalla los tiempos totales empleados en cada uno de los sistemas que componen la empacadora entre los cuales constan los de fabricación y montaje (tabla 5.3).

Tiempos Totales de Ensamblaje (min)			
Sistema	Mecánico	Eléctrico y Electrónico	Total
Formación de la Funda	60	0	60
Sellado y Corte	140	120	260
Guiado y Arrastre	500	270	770
Dosificación	100	240	340
Bastidor	0	0	0
TOTAL (h)	13,33	10,5	23,83

Tabla 5.3 Tiempos Totales de Ensamblaje

5.3. PROTOCOLO DE PRUEBAS

5.3.1. PRUEBAS DIMENSIONALES

Con el fin de verificar que las piezas previamente fabricadas cumplen con las dimensiones establecidas en sus respectivos planos, se inspecciona las medidas principales como largo, ancho, espesor y centro de ejes.

Inspección Dimensional							
Cod.	Elemento	Descripción	Medida Nominal	Tole rancia	Medida Real	Equipo de Medición	Estado
1.04	Bandejía de Alimentación	Largo	560	± 2	561	Flexómetro	OK
		Ancho	100	± 2	101		OK
		Altura	80	± 2	82		OK
2.01	Formador	Altura	156	± 2	158	Flexómetro	OK
		Diámetro	80	± 1	79		OK
		Distancia Centros 1	36	± 1	35		OK
		Distancia Centros 2	37	± 1	37		OK
2.02	Tubo de Alimentación	Altura	450	± 2	449	Flexómetro	OK
		Diámetro	68	± 1	69		OK
3.01	Mordaza Vertical	Largo	205	± 2	206	Flexómetro	OK
		Ancho	25	± 1	25		OK
		Altura	25	± 1	26		OK
3.04	Mordaza Horizontal Exterior	Largo	200	± 2	202	Flexómetro	OK
		Ancho	32	± 1	33		OK
		Altura	32	± 1	32		OK
3.05	Mordaza Horizontal Exterior	Largo	200	± 2	198	Flexómetro	OK
		Ancho	32	± 1	32		OK
		Altura	32	± 1	33		OK

Inspección Dimensional (Continuación)							
3.06	Placa Soporte Mordaza Exterior	Largo	385	± 2	383	Flexómetro	OK
		Ancho	50	± 2	51		OK
		Distancia Centros 1	125	± 1	124		OK
		Distancia Centros 2	100	± 1	101		OK
3.07	Placa Soporte Mordaza Interior	Largo	305	± 2	307	Flexómetro	OK
		Ancho	50	± 2	50		OK
		Distancia Centros 1	50	± 1	51		OK
3.08	Placa Central	Largo	600	± 2	602	Flexómetro	OK
		Ancho	87	± 2	87		OK
		Distancia Centros 1	175	± 1	176		OK
3.09	Placa Soporte Pistón de Sellado Horizontal	Largo	380	± 2	382	Flexómetro	OK
		Ancho	75	± 2	75		OK
		Distancia Centros 1	256	± 1	255		OK
		Distancia Centros 2	94	± 1	95		OK
3.10	Placa Soporte Mordaza Sellado Vertical	Largo	470	± 2	472	Flexómetro	OK
		Ancho	70	± 2	71		OK
		Distancia Centros 1	295	± 1	296		OK
3.11	Guía y Apoyo Eje Horizontal	Diámetro 1	32	± 1	33	Flexómetro	OK
		Diámetro 2	76	± 1	75		OK
		Altura	78	± 2	80		OK

Tabla 5.4 Inspección Dimensional

5.3.2. PRUEBAS FUNCIONALES

Con el fin de comprobar el correcto funcionamiento de los diferentes sistemas, así como también el cumplimiento de los requerimientos y especificaciones planteadas, se ha establecido un conjunto de pruebas a realizar a la máquina empacadora en 2 modalidades: en vacío y con cargas.

Los parámetros que se toman a consideración son:

- Ensamblaje: Sistemas mecánicos, neumáticos, eléctricos y electrónicos.
- Formación del empaque
- Dosificación
- Arrastre del material de empaque
- Sellado y corte.
- Registro y rendimiento de producción

5.3.2.1. Pruebas en Vacío

5.3.2.1.1. Ensamblaje

- Verificar ubicación correcta de cada elemento de los diferentes sistemas.

Satisfactorio: Todos los elementos están en su respectivo sitio.

No satisfactorio: Existe elementos que no estén en su sitio, elementos no asegurados.

- Lubricación

Satisfactorio: Todos los elementos están adecuadamente lubricados.

No satisfactorio: Falta de lubricación de piezas móviles.

- Presión de aire

Satisfactorio: La presión del aire, en la unidad de mantenimiento de la máquina hasta 8 bares.

No satisfactorio: No existe presión de aire suficiente o excesiva presión.

- Instalaciones eléctricas y electrónicas.

Satisfactorio: Las instalaciones eléctricas están conectadas y aisladas adecuadamente.

No satisfactorio: Existe cables descubiertos, riesgo de cortocircuito.

5.3.2.1.2. Formación del empaque

- Material de empaque centrado.

Satisfactorio: El material de empaque está centrado respecto al formador.

No satisfactorio: El material de empaque no está centrado respecto al formador.

- Empaque formado

Satisfactorio: El material de empaque al pasar por el formador no tiene arrugas ni daños.

No satisfactorio: El material de empaque no pasa por el formador, se generan arrugas o daños.

5.3.2.1.3. Arrastre del material de empaque

- Tracción de material de empaque

Satisfactorio: El material de empaque es jalado adecuadamente por las bandas de arrastre sin dañarlo.

No satisfactorio: El material de empaque no es jalado adecuadamente, daña al material de empaque.

- Avance del papel exacto

Satisfactorio: No existe variación de dimensión de una funda a otra.

No satisfactorio: Existe variación de dimensiones de una funda a otra.

5.3.2.1.4. Sellado y Corte

- Niquelinas

Satisfactorio: Las niquelinas están adecuadamente tensas.

No satisfactorio: Las niquelinas no están tensas y tienden a formarse imperfecciones (ondas)

- Temperatura de sellado

Satisfactorio: La temperatura de sellado programada es suficiente para sellar y unir las caras de polietileno.

No satisfactorio: El material se quema con la temperatura de sellado seleccionada.

- Corte de las fundas

Satisfactorio: El mecanismo de corte activa la cuchilla dentada y ésta corta el material de empaque sin problemas

No satisfactorio: La cuchilla no corta el material de empaque.

5.3.2.2. Pruebas con Carga

5.3.2.2.1. Dosificación

- Mecanismo de dosificación

Satisfactorio: Funcionamiento correcto del mecanismo de dosificación sea volumétrico o por peso.

No satisfactorio: El mecanismo no funciona adecuadamente al acoplarse a la secuencia de la máquina.

- Peso correcto del producto a empacar

Satisfactorio: Al tomar una muestra de 10 empaques de cada presentación, el peso tiene un error máximo de +/- 5%.

No satisfactorio: No se cumple con la condición anterior.

5.3.2.2.2. Sellado

- Apertura y cierre de las mordazas de sellado.

Satisfactorio: El sellado es resistente y no se despegan las caras del material de empaque con el peso del producto.

No satisfactorio: El sellado no resiste el peso del producto.

5.3.2.2.3. Rendimiento

- Verificar el rendimiento de la máquina empacadora.

Satisfactorio: La máquina registra un rendimiento mínimo de 23 empaques por minuto en fundas grandes con altura de 220 mm y un rendimiento máximo de 40 empaques por minuto en fundas pequeñas con altura de 80 mm.

No satisfactorio: No se cumple con la cantidad de empaques requerida.

A continuación se tabula las pruebas de rendimiento realizadas en la máquina empacadora para garantizar que se cumplan correctamente las especificaciones mencionadas anteriormente.

Prueba	Rendimiento		Observación
	Fundas Grandes	Fundas Pequeñas	
1	18	33	Incorrecto cierre mordazas horizontales
2	22	37	Falla en bocines horizontales
3	20	35	Falla en bocines verticales
4	21	36	Ajuste del eslabón de salida
5	23	38	Rendimiento mínimo, falta lubricación
6	24	39	Correcto funcionamiento
7	24	39	Correcto funcionamiento
8	25	40	Máximo rendimiento

Tabla 5.5 Pruebas de Rendimiento

5.3.3. REGISTRO DE PROTOCOLO DE PRUEBAS

PROTOCOLO DE PRUEBAS		
MÁQUINA EMPACADORA		
FECHA: 4 DE MARZO 2013	Responsables: MAURICIO IZA ÁLEX MEDINA	
LUGAR: QUITO		
ORDEN: 1		
PRUEBAS EN VACÍO		ESTADO
		Satisfactoria No Satisfactorio
Ensamblaje		
1. Ubicación correcta de los elementos	√	
2. Lubricación	√	
3. Presión de aire	√	
4. Instalaciones eléctricas y electrónicas	√	
Material de Empaque		
1. Material de empaque centrado	√	
2. Empaque formado	√	
Arrastre del material de empaque		
1. Tracción del material de empaque	√	
2. Avance del film exacto	√	
Sellado		
1. Estado de niquelinas	√	
2. Temperatura de sellado	√	
Corte del material de empaque		
1. Mecanismo de corte	√	
PRUEBAS CON CARGA		
Dosificación		
1. Mecanismo dosificador	√	
2. Peso correcto del producto a empacar	√	
Sellado		
1. Apertura y cierre de mordazas	√	
2. Calidad de sellado	√	
Rendimiento		
1. Para prestaciones de 200 mm	√	
2. Para prestaciones de 80 mm	√	
OBSERVACIONES:		
S/N	FIRMA:	

Tabla 5.6 Registro de Protocolo de Pruebas

5.3.4. Análisis de Resultados

La inspección dimensional cumple con las medidas y tolerancias especificadas en cada uno de las piezas, para su posterior proceso de ensamblaje en los sistemas de corte, guiado y sellado.

Las pruebas funcionales se culminaron con éxito al verificar los estados de cada uno de los componentes mecánicos, neumáticos, eléctricos y electrónicos, garantizando su operatividad y rendimiento a lo largo del proceso de producción.

5.4. MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

El manual de operación y mantenimiento se detalla en el anexo J.

CAPÍTULO VI

ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO

6.1. COSTOS

A continuación se detalla los costos directos e indirectos para la construcción de la empacadora.

6.1.1. COSTOS DIRECTOS

Son aquellos que intervienen de forma directa en la construcción de la máquina. Estos costos están constituidos por los materiales directos y mano de obra directa, que a su vez son costos de fabricación.

6.1.1.1. Costos de Fabricación

Este rubro involucra los costos de la materia prima (materiales directos), los costos de los elementos normalizados y accesorios, costos de automatización y los costos por mecanizado. Este último se obtiene a partir del costo hora máquina hombre (HMH) y el tiempo de mecanizado obtenido al realizar los procesos constructivos de cada sistema de la máquina. A continuación se presenta el detalle de costos de fabricación.

Costos de Materiales Directos							
	Plano	Cant.	Material	Cant/u	Unidad	Costo Unit.(USD)	Costo Total (USD)
DOSIFICACIÓN	1.01	3	Chapa A316L: 1mm	6	Kg.	5,94	106,92
	1.02	2	Tubo Cuadrado 2" AISI 1020	11	Kg.	4,90	107,80
	1.03	1	Tubo Cuadrado 2" AISI 1020	11	Kg.	4,90	53,90
	1.04	3	Chapa A304 : 1mm	1,8	Kg.	5,94	32,08
	1.05	1	Aluminio 1060	6	Kg.	5,94	35,66
	1.06	1	Chapa A316L: 3mm	1	Kg.	5,94	5,94
	1.07	1	AISI1020	35,7	Kg.	0,40	14,28
	1.08	12	Chapa A316L: 2mm	34,18	gr.	0,01	2,44
	1.09	1	AISI 1020: Ø15x215mm	32	gr.	0,01	0,19
	1.10	1	AISI 1020: Ø25x300mm	1,2	Kg.	2,40	2,88
	1.11	1	AISI 1020: Ø12X230mm	0,5	Kg.	2,40	1,20
	1.12	1	AISI 1020: 25X50X25mm	0,6	Kg.	2,20	1,32
	1.13	1	AISI 1020: Ø12X180mm	0,25	Kg.	2,40	0,60
	1.14	1	Chapa A316L: 1mm	50	gr.	0,06	3,00
	1.15	1	AISI 1020: 50x50x3mm	0,1	Kg.	2,20	0,22
	1.16	1	Chapa A316L: 3mm	2,1	Kg.	5,94	12,47
	1.17	1	Chapa A316L: 3mm	3,2	Kg.	5,94	19,01
	1.18	1	AISI1020	33,04	Kg.	4,90	161,90
	1.19	2	Chapa A316L: 2mm	1,5	Kg.	5,94	17,82
	1.20	2	Chapa A316L: 2mm	0,6	Kg.	5,94	7,13
	1.21	2	A316L: Ø6x150mm	0,07	Kg.	6,10	0,85

Cosots de Materiales Directos (Continuación)							
FORMACIÓN DE LA FUNDA	2.01	1	Chapa A316L: 2mm	4,8	Kg.	5,94	28,51
	2.02	1	Chapa A316L: 2mm	1	Kg.	5,94	5,94
	2.03	2	Chapa A316L: 3mm	0,4	Kg.	5,94	4,75
	2.04	2	AISI 1020: Ø25x195mm	0,9	Kg.	2,40	4,32
	2.05	2	AISI 1020: 50x44x7mm	1,6	Kg.	2,20	7,04
	2.06	4	AISI 1020: 120x120x6mm	0,9	Kg.	2,20	7,92
	2.07	2	AISI1020: Ø90x60mm	2,5	Kg.	2,40	12,00
	2.08	1	AISI 1020: Ø60x50mm	0,9	Kg.	2,40	2,16
	2.09	1	AISI 1020: 70x25x13mm	0,3	Kg.	2,20	0,66
	2.10	2	AISI 1020: 25x190x10mm	0,5	Kg.	2,20	2,20
	2.11	1	AISI 1020: 50x60x10mm	0,3	Kg.	2,20	0,66
	2.12	1	AISI 1020: Ø36x20mm	0,2	Kg.	2,40	0,48
SISTEMA DE SELLADO Y CORTE	3.01	1	AISI 1020: 25x25x210mm	0,9	Kg.	2,20	1,98
	3.02	1	A304: 390x70x8mm	2,1	Kg.	5,94	12,47
	3.03	1	A304: 60x70x8mm	0,3	Kg.	5,94	1,78
	3.04	1	AISI 1020: 200x32x32mm	1,5	Kg.	2,20	3,30
	3.05	1	AISI 1020: 200x32x32mm	1,5	Kg.	2,20	3,30
	3.06	1	A304: 390x50x12mm	1,9	Kg.	5,94	11,29
	3.07	1	A304:380x50x10mm	1,5	Kg.	5,94	8,91
	3.08	1	A304: 600x90x10mm	5	Kg.	5,94	29,70
	3.09	1	A304: 380x75x10mm	2,4	Kg.	5,94	14,26
	3.10	1	AISI1020: 78x18x2mm	40	gr.	0,02	0,80
	3.11	2	A304: Ø76X135mm	3	Kg.	6,10	36,60
	3.12	1	AISI 1020: Ø32x12mm	0,112	Kg.	2,40	0,27

Cosots de Materiales Directos (Continuación)							
SISTEMA DE GUIADO Y ARRASTRE	3.13	1	A304: Ø76X80mm	2,5	Kg.	6,10	15,25
	3.14	2	AISI 1020: Ø44x150mm	1,9	Kg.	2,40	9,12
	3.15	1	Cobalto	20	gr.	0,10	2,00
	3.16	2	A304: 100x11x11	0,1	Kg.	5,94	1,19
	3.17	2	AISI 1020: Ø20X400mm	0,9	Kg.	2,40	4,32
	3.18	2	AISI 1020: Ø20x620mm	1,6	Kg.	2,40	7,68
	3.19	1	AISI 1020: Ø20x200mm	0,4	Kg.	2,40	0,96
	3.20	5	Teflón: Ø34x8mm	7	gr.	0,60	21,00
	3.21	1	AISI 1020: 32X60X2mm	0,06	Kg.	2,20	0,13
	Tubo Estructural Cuadrado 2" AISI 1020						
	4.01	1	AISI 1020: 50x90x25mm	0,8	Kg.	2,20	1,76
	4.02	1	AISI 1020: Ø84x5mm	0,3	Kg.	2,40	0,72
	4.03	1	AISI 1020: 150x30x2mm	70	gr.	0,02	1,40
	4.04	1	AISI 1020: Ø25X300mm	1,2	Kg.	2,40	5,76
	4.05	2	AISI 1020: 100X23X3 mm	0,128	Kg.	2,20	0,28
	4.06	1	AISI 1020: 85X30X20mm	0,4	Kg.	2,20	0,88
	4.07	1	AISI 1020: 50x50x6mm	0,3	Kg.	2,20	1,32
	4.08	2	AISI 1020: 810x55x6mm	2,1	Kg.	2,20	4,62
	4.09	1	AISI 1020: 23x10x15mm	80	gr.	0,02	1,60
	4.10	2	AISI 1020: 163x15x5mm	0,2	Kg.	2,20	0,88
ARM	6.00	1	AISI 1020	171,4	Kg.	2,20	376,97
					TOTAL		1256,54

Tabla 6.1 Costos de Materiales Directo

Costos de Elementos y Accesorios					
	Elemento	Descripción	Cant.	Costo Unit. [USD]	Costo Total [USD]
Perno	Perno Hexagonal	1/8x2	8	0,16	1,28
	Perno Hexagonal	1/4x1	28	0,14	3,92
	Perno Hexagonal	1/4x3/4	3	0,13	0,39
	Perno Hexagonal	1/4x1/2	1	0,11	0,11
	Perno Hexagonal	5/16x1	57	0,24	13,68
	Perno Hexagonal	3/8x1	5	0,35	1,75
	Perno Hexagonal	1/2x3	1	1,44	1,44
	Perno Hexagonal	1/2x1	9	0,73	6,57
Arandela	Arandela	1/8	8	0,02	0,16
	Arandela	1/4	32	0,05	1,60
	Arandela	5/16	57	0,10	5,70
	Arandela	3/8	5	0,13	0,65
	Arandela	1/2	10	0,25	2,50
Tuerca	Tuerca Hexagonal	1/8	8	0,05	0,40
	Tuerca Hexagonal	1/4	32	0,06	1,92
	Tuerca Hexagonal	5/16	57	0,09	5,13
	Tuerca Hexagonal	3/8	5	0,14	0,70
	Tuerca Hexagonal	1/2	10	0,33	3,30
Arandela Presión	Arandela presión	1/8	8	0,02	0,16
	Arandela presión	1/4	32	0,03	0,96
	Arandela presión	5/16	57	0,05	2,85
	Arandela presión	3/8	5	0,07	0,35
	Arandela presión	1/2	10	0,12	1,20
Varios Mecánicos	Rodamientos de bolas	6901	18	0,40	7,20
	Rodamiento de bolas	6203	4	3,20	12,8
	Banda de Transmisión	A-33	1	6	6
	Chumacera de Piso	1	3	8	24
	Chumacera de Pared	1	2	9,50	19
	Caja Reductora	20:1	2	60	120
	Cadena (m)	Cédula 80	2,5	6	15
	Polea	5,5"	2	5	10
	Prisionero	3/4	18	0,20	3,60
	Variador de Frecuencia	0,5 HP	1	260	260
	Variador de Frecuencia	1,5 HP	1	350	350
	Relé	110V AC	12	8	96
	Sensor Proximidad	Inductivo PNP	2	60	120
	Control de Temperatura	110V AC Tipo J	2	80	160

Costos de Elementos y Accesorios (Continuación)					
Elementos Eléctricos y Electrónicos	Termocupla	Tipo J	2	15	30
	Vibrador	110V AC	3	120	360
	Celda de Carga	0-5 Kg	2	15	30
	Motor Trifásico	0,25HP	1	110	110
	Motor Trifásico	0,5HP	1	140	140
	Cable Eléctrico (m)	18	40	0,30	12
	Relé Estado Sólido	5-30V DC	2	14	28
	Canaleta	25x25 (2m)	3	3	9
	Bornera (m)	para cable 18	1	1,50	1,50
	PLC	Mitsubishi Fx1s-360MR	1	420	420
	Switch	2 Estados	4	2	8
	Fuente DC	24V	1	12	12
	Dimmer	110V AC	1	6	6
Elementos Neumáticos	Distribuidor de Aire	1 entrada y 3 salidas	1	18	18
	Regulador de Flujo	1/4	3	6	18
	Filtro de Aire	1/4	1	26	26
	Manómetro	6 bar	3	14	42
	Electroválvula Monoestable	5/2 vías de 1/4	1	60	60
	Electroválvula Monoestable	5/2 vías de 1/8	4	55	220
	Silenciador	electroválvula de 1/4	1	3,12	3,12
	Silenciador	electroválvula de 1/8	4	2,46	9,84
	Regulador de Flujo	1/4	1	9,80	9,80
	Manguera Neumática (m)	1/4	2	1,38	2,76
	Manguera Neumática (m)	1/8	5	1,12	5,60
	T Neumática	1/8	2	1,89	3,78
	Cilindro Neumático	DSNU-16-25-P-A	4	38,1	152,40
	Cilindro Neumático	DNC-40-80-PPV	1	122,8	122,80
				TOTAL	3120,90

Tabla 6.2 Costos de Elementos y Accesorios

Costos de Fabricación y Ensamblaje			
Máquina	Tiempo [horas]	Costo Normal [USD/hora]	Costo Total [USD]
Soldadura Eléctrica	8,0	3,75	30,00
Soldadura TIG	5,8	4,50	26,10
Torno	9,0	6,50	58,50
Fresadora	14,0	7,00	98,00
Herramientas (Sierra, Taladro, Amoladora)	36,5	2,50	91,25
Varios(Pulido, Limpieza, Pintura)	29,7	4,50	133,65
Ensamblaje, Montaje Electrónico	46,4	3,90	180,96
TOTAL			618,46

Tabla 6.3 Costos de Fabricación y Ensamblaje

6.1.2. COSTOS INDIRECTOS

Se denominan indirectos a aquellos costos que no intervienen de forma directa en la construcción de la máquina. Estos costos se derivan de los materiales indirectos, manos de obra indirecta y otros costos producto del pago de servicios básicos, personal administrativo, depreciación de los equipos, entre otros.

Costos de Materiales Indirectos			
Elemento	Cantidad	Costo Unit. [USD]	Costo Total [USD]
Electrodo AGA 6011 (Kg)	5	2,80	14,00
Argón (m3)	2	16,80	33,60
Disco de Corte (acero)	2	4,60	9,20
Grasa (unidad)	1	5,00	5,00
Lija de Grano Fino (unidad)	3	0,60	1,80
Lija de Grano Medio (unidad)	5	0,90	4,50
Hoja de Sierra (unidad)	3	1,20	3,60
Taipe	2	0,60	1,20
Diodo	3	0,20	0,60
Limpiador de Acero Inox. 14002	1	14,00	14,00
TOTAL			87,50

Tabla 6.4 Costos de Materiales Indirectos

Costos de Mano de Obra Indirecta			
Detalle	Tiempo	Costo [USD/h]	Costo Total [USD]
Ingeniería y Diseño	320	6,00	1920
Dibujo Planos Mecánicos	80	4,50	360
Dibujo Planos Eléctrico	40	4,50	180
Programación y Control	40	6,00	240
		TOTAL	2700

Tabla 6.5 Costos de Mano de Obra Indirecta

Costos Operativos	
Concepto	Costo [USD]
Agua Potable	30
Teléfono Celular	60
Luz Eléctrica	75
Transporte y Movilización	300
Alimentación	240
Internet	20
TOTAL	725

Tabla 6.6 Costos Operativos

6.1.3. COSTOS TOTALES

Costos Totales	
Rubro	Costo
Costo de Materiales Directos	1256,54
Costos de Elementos y Accesorios	3120,90
Costo de Fabricación y Ensamblaje	618,46
Costo de Materiales Indirectos	87,50
Costos de Mano de Obra Indirectos	2700,00
Costos Operativos	725,00
SUBTOTAL	8508,40
Utilidad 50%	4254,20
COSTO TOTAL	12762,60

Tabla 6.7 Costos Totales

6.2. EVALUACIÓN FINANCIERA

Para la evaluación financiera se utiliza como parámetro la inversión inicial que viene dada por los costos totales previamente especificados exceptuando la utilidad del 50%, es decir 8508.40 USD.

Para determinar la rentabilidad de la máquina se realiza el cálculo del valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR).

6.2.1. VALOR ACTUAL NETO (VAN)

Permite determinar si se cumple con el objetivo básico financiero, que en este caso es maximizar la inversión mediante el cálculo de un flujo de caja futuro, verificando si el proyecto de inversión es recomendable.

Para determinar el Van del proyecto tenemos:

$$VAN = \sum_{t=0}^n \frac{BN_t}{(1+i)^t} - Io \quad (Ec. 6.1)$$

Donde:

VAN = Flujo de caja neta – inversión

BN_t = Beneficio neto de flujo del período t

Io = Inversión inicial

n = número de años

i = tasa de descuento, rentabilidad mínima que se espera del proyecto

6.2.1.1. Cálculo del Beneficio Neto (BNt)

Para el cálculo del beneficio neto se toma en cuenta las ventas anuales y los costos de producción en base al precio del empacado por funda que en este caso es de 7ctvs.

Partiendo del promedio del rendimiento de la empacadora que es de 33 fundas por minuto, y sabiendo que el período de trabajo diario es aproximadamente de 4 horas tenemos:

$$Venta \ Anual = 3 \frac{ctvs}{funda} * 33 \frac{fundas}{min} * 60 \frac{min}{h} * 4 \frac{h}{día} * 20 \frac{días}{mes} * 12 \frac{mes}{año}$$

$$Venta \ Anual = 5702400 \frac{ctvs}{año} = 57024 \frac{USD}{año}$$

Los costos de producción anual se detallan a continuación:

Elemento	Valor mensual (USD)	Valor anual (USD)
Bobina de Papel	3168	38016
Mantenimiento	60	720
Operador	190	2280
Luz Eléctrica	30	360
TOTAL		41376

Tabla 6.8 Costos de Producción Anual

$$BNt = Ventas - Costs \ de \ Producción$$

Para t = 1 año tenemos:

$$BN = 57024 - 41376 = 15648 \ USD$$

6.2.1.2. Cálculo del VAN

Para el cálculo del VAN se proyecta a 5 años el beneficio neto, junto con la inversión inicial como se muestra a continuación:

n	0	1	2	3	4	5
lo	8494,67					
BNt		15648,00	17212,80	18934,08	20827,49	22910,24
i	20%	20%	20%	20%	20%	20%
(1+i) ⁿ	1,00	1,20	1,44	1,73	2,07	2,49
BNt/(1+i) ⁿ		13040,00	11953,33	10957,22	10044,12	9207,11
VAN	46707,12					

Tabla 6.9 Cálculo del VAN

El resultado obtenido del VAN es muy superior a la inversión inicial, lo cual nos indica que las ganancias que produce la máquina empacadora son muy buenas.

6.2.2. TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

Sirve para determinar la rentabilidad del proyecto y se refiere al cálculo de la tasa de descuento que hace cero al VAN, por lo tanto tenemos:

$$\sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1 + TIR)^t} - I = 0 \quad (Ec. 6.2)$$

Para obtener el valor del TIR utilizamos la tabla de cálculo del VAN, donde se reemplaza la tasa de descuento i por la tasa interna de retorno TIR, buscando el valor más próximo que vuelva cero al VAN.

n	0	1	2	3	4	5
lo	8494,67					
BNt		15648,00	17212,80	18934,08	20827,49	22910,24
TIR	192,83%	192,83%	192,83%	192,83%	192,83%	192,83%
$(1+i)^n$	1	2,93	8,58	25,11	73,53	215,32
$BNt/(1+i)^n$		5343,68	2007,31	754,03	283,25	106,40
VAN	0,00					

Tabla 6.10 Cálculo del TIR

Como resultado obtenemos un TIR de 192.83% el cual es muy superior a la tasa de descuento del 20%, concluyendo así que el proyecto de la máquina empacadora es rentable.

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. CONCLUSIONES

La empacadora alcanza los rendimientos establecidos de 25 empaques por minuto para fundas grandes de 220 mm de altura y 40 empaques por minuto para fundas pequeñas de 80 mm de altura.

La máquina está diseñada tanto para trabajar con dosificación volumétrica así como para dosificación por peso, permitiendo el empaque de snacks de diferente consistencia, convirtiéndose así en un modelo innovador y competitivo en el mercado ecuatoriano.

El sistema de control utilizado (PLC) ofrece flexibilidad en cuanto al rendimiento productivo así como al tipo de dosificación a utilizar.

El control de temperatura es programable en cuanto al tipo de polímero a utilizarse, asegurando y garantizando un correcto sellado en todos sus empaques.

La Empacadora cumple con las normas INEN NTE UNE-EN13130-1 ALIMENTOS en la aplicación de acero inoxidable en las superficies de contacto con el producto e INEN NTE 2644 SERVICIOS AMBIENTALES al no tener desperdicios orgánicos (snacks) e inorgánicos (polímeros).

Los planos de la máquina fueron entregados en el plazo establecido a la empresa ECUAMEX S.A. para la utilización en futuros proyectos.

El costo total de \$12762,60 de la máquina empacadora diseñada es aproximadamente la mitad del costo de una empacadora con características similares en el mercado ecuatoriano que cuenta con un solo tipo de dosificación y presta la mitad del rendimiento de trabajo.

7.2. RECOMENDACIONES

Con el fin de mejorar la precisión en la regulación del tamaño de las fundas es apropiado colocar topes de acuerdo a las dimensiones de las fundas a utilizar.

Realizar un mantenimiento mensual de la máquina que incluya lubricación de los ejes verticales y horizontales del sistema de sellado, para garantizar un correcto desplazamiento del carrete de las mordazas.

Posicionar correctamente las termocupla de las mordazas tanto del sellado vertical como horizontal asegurando la efectiva lectura de temperatura para su control.

BIBLIOGRAFÍA

LIBROS CONSULTADOS

Mott, R. (2006). *Diseño de Elementos de Máquinas* (Cuarta edición). México: Pearson Educación.

Olmedo, F. (2010). *Teoría de Máquinas y Mecanismos Asistida con Computador*. Sangolquí-Ecuador: Escuela Politécnica del Ejército.

Medina, A. & Iza, M. (2006 - 2012). *Apuntes Carrera Ingeniería Mecatrónica*, Sangolquí-Ecuador: Escuela Politécnica del Ejército.

TESIS CONSULTADAS

Moreno, E. (2010). *Diseño de una máquina empacadora dosificadora y selladora de fundas para arroz*. (Proyecto de Titulación Previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico). Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador.

DIRECCIONES INTERNET:

<http://www.automatizando.com.co>. (2010). *Elementos y sensores para procesos automatizados Colombia*. Español.

[http:// news.directindustry.es](http://news.directindustry.es). (2007). *Industria de Manufactura y Construcción de Máquinas para producción*. Inglés.

<http://www.ing.puc.cl>. (2009). *Catálogos y Tablas para Resistencia de Pernos*. Pontificia Universidad Católica de Chile. Español.

<http://www.abb.com/abblibrary/downloadcenter>. (2010). *Catálogo de Productos ABB*. Español.

http://www.mitsubishi-automation.es/products/compactplc_FX1S.html. (2002).
Página Oficial Mitsubishi para Soporte Técnico. Español.

http://www.redeselectricas.com/archivos/emerson/CommanderSKbro_espanol.pdf. (2010). *Manual de Programación Variadores Emerson*. Español.

<http://es.airtac.com>. (2008). *Industria elaboración y fabricación de productos neumáticos e hidráulicos*. Español.

<http://www.basculasmoresco.com>. (2011). *Elaboración de Celdas de carga para procesos industriales*. Español.