



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERA EN MECATRÓNICA**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA SELLADORA
SEMIAUTOMÁTICA DE VASOS PARA MEJORAR EL PROCESO
DE ENVASADO DE YOGUR.**

AUTORA: KARINA JOHANNA VILLAVICENCIO CHICO

DIRECTOR: ING. ZAMIR MERA

IBARRA – ECUADOR

2016



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD
 TÉCNICA DEL NORTE**

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional determina la necesidad de disponer los textos completos de forma digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1718242025		
APELLIDOS Y NOMBRES:	VILLAVICENCIO CHICO KARINA JOHANNA		
DIRECCIÓN:	BELLAVISTA DE PUNTIACHIL CAYAMBE		
EMAIL:	johanna_6282@hotmail.es		
TELÉFONO FIJO:	023480149	TELÉFONO FIJO:	0986282199

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA SELLADORA SEMIAUTOMÁTICA DE VASOS PARA MEJORAR EL PROCESO DE ENVASADO DE YOGUR
AUTOR (ES):	VILLAVICENCIO CHICO KARINA JOHANNA
FECHA: AAAA/MM/DD	2016/febrero/05
PROGRAMA:	PREGRADO POSTGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERA EN MECATRÓNICA
DIRECTOR:	ING. ZAMIR MERA

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Karina Johanna Villavicencio Chico, con cédula de identidad Nro.171824202-5, en calidad de autor (a) y titular (es) de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

3. CONSTANCIAS

El autor (a) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, Febrero del 2016.

LA AUTORA:



FIRMA

Nombre: Karina Johanna Villavicencio Chico

Cédula: 171824202-5



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

**CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE
LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

Yo, Karina Johanna Villavicencio Chico, con cédula de identidad Nro. 171824202-5, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor (es) de la obra o trabajo de grado denominado: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA SELLADORA SEMIAUTOMÁTICA DE VASOS PARA MEJORAR EL PROCESO DE ENVASADO DE YOGUR, que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera en Mecatrónica en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, Febrero del 2016.

FIRMA

Nombre: Karina Johanna Villavicencio Chico

Cédula: 171824202-5



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CERTIFICADO DEL ASESOR

La señorita Karina Johanna Villavicencio Chico ha trabajado en su totalidad en el desarrollo del proyecto de tesis **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA SELLADORA SEMIAUTOMÁTICA DE VASOS PARA MEJORAR EL PROCESO DE ENVASADO DE YOGUR”**, previo a la obtención del título de Ingeniera en Mecatrónica, trabajo que lo realizó con interés profesional y responsabilidad, es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

A handwritten signature in blue ink, which appears to read "Zamir Mera", is written over a horizontal dotted line.

Ing. Zamir Mera
DIRECTOR



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

DECLARACIÓN

Yo, Karina Johanna Villavicencio Chico, con cédula de identidad número Nro. 171824202-5, declaro bajo juramento que el trabajo aquí escrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Universidad Técnica del Norte – Ibarra, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la Normativa Institucional vigente.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Karina', is written over a horizontal dotted line.

FIRMA

Nombre: Karina Johanna Villavicencio Chico

Cédula: 171824202-5



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

DEDICATORIA

Este proyecto le dedico a Dios, a mis padres y a mi pequeño hermano los cuales me han apoyado para seguir adelante y poder cumplir con esta meta anhelada.

Principalmente a mi madre Janeth por ser el pilar fundamental de mi vida y siempre demostrarme su cariño, amor, apoyo incondicional en los buenos y malos momentos.

Además le dedico a mi hermano Damián por ser la motivación más grande que tuve para poder concluir con este trabajo.

Johanna



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por haberme dado fuerza, fortaleza y sabiduría para alcanzar mi meta propuesta.

Sobre todo le agradezco por haberme dado a los mejores padres Janeth y Luis los que me supieron guiar por el camino del bien ya que siempre he podido contar con su amor y apoyo incondicional en el transcurso de mi vida.

A mi familia, a mis padres, a mi hermano, a mi novio gracias por estar conmigo en todo momento y hacerme ver que por más dura que sea la situación al final siempre tendremos una recompensa.

De manera muy especial agradezco a un amigo incondicional Gabriel quien estuvo presente desde el inicio y finalización de este proyecto tanto en las buenas, como en las malas apoyándome con sus ideas, opiniones y sobre todo dándome ánimo para seguir adelante y no decaer en este arduo camino.

Como no agradecerle a Oswaldo quien siempre tuvo tiempo para aconsejarme de una manera sincera, optimista y apoyarme en cualquier circunstancia.

Finalmente quiero agradecerle a mi tutor de trabajo de grado quién con su experiencia académica me supo guiar y corregir durante la elaboración y culminación de mi proyecto.

Johanna

ÍNDICE GENERAL

PORTADA.....	i
AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN.....	ii
CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR.....	iv
CERTIFICADO DEL ASESOR.....	v
DECLARACIÓN.....	vi
DEDICATORIA.....	vii
AGRADECIMIENTO.....	viii
ÍNDICE GENERAL.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvii
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xx
RESUMEN.....	xxii
ABSTRACT.....	xxiii
CAPÍTULO I.....	1
GENERALIDADES.....	1
1.1 OBJETIVOS.....	1
1.1.1 OBJETIVO GENERAL.....	1
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	1
1.2 ALCANCE.....	1
1.3 ANTECEDENTES DEL PROCESO DE ELABORACIÓN Y ENVASADO DEL YOGUR.....	2
1.4 ELABORACIÓN DEL YOGUR.....	3
1.4.1 YOGUR.....	3
1.4.1.1 CLASIFICACIÓN DEL YOGUR.....	3
1.5 PROCESO DE ELABORACIÓN DEL YOGUR.....	4
1.6 TIPOS DE MÁQUINAS ENVASADORAS Y SELLADORAS.....	7
1.6.1 ENVASADORAS AUTOMÁTICAS.....	7
1.6.2 ENVASADORAS SEMI-AUTOMÁTICAS.....	7

1.6.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS ENVASES A SELLAR.....	14
CAPÍTULO II	17
SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS.....	17
2.1 DESCRIPCIÓN DE LAS TAREAS A REALIZAR POR LA MÁQUINA	17
2.2 CRITERIOS DE DISEÑO.....	18
2.3 FORMULACIÓN DE ALTERNATIVAS.....	19
2.3.1 EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN POR EL MÉTODO ORDINAL CORREGIDO DE CRITERIOS PONDERADOS.....	19
2.4 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS ÓPTIMAS	33
2.5 PROTOTIPO FINAL DE SELLADORA SEMIAUTOMÁTICA DE VASOS..	33
CAPÍTULO III	35
DISEÑO MECÁNICO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES ELECTRÓNICOS .	35
3.1 SISTEMA DE DESPLAZAMIENTO.....	35
3.1.1 DIMENSIONAMIENTO DEL ENVASE REQUERIDO	35
3.1.2 DISEÑO DEL PLATO GIRATORIO	36
3.1.3 SELECCIÓN DEL SERVOMOTOR.....	48
3.1.4 DISEÑO DEL EJE	54
3.1.5 SELECCIÓN DE RODAMIENTOS	64
3.2 SISTEMA DE COLOCACIÓN DE LAS LÁMINAS DE ALUMINIO	67
3.2.1 DISEÑO DEL SOPORTE DE LA VENTOSA	67
3.2.2 SELECCIÓN DEL ACTUADOR NEUMÁTICO	68
3.3 SISTEMA DE SELLADO.....	76
3.3.1 DISEÑO PISADORES PARA EL SELLADO	76
3.3.2 TIEMPO, FUERZA Y TEMPERATURA DE SELLADO.....	77
3.4 SISTEMA DE EXPULSIÓN.....	90
3.4.1 DISEÑO DEL PORTA ENVASE DE EXPULSIÓN.....	90
3.5 ESTRUCTURA DE LA MÁQUINA	96
3.5.1 ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA PRINCIPAL	96

3.5.1.1	CÁLCULO DE PANDEO DE LA ESTRUCTURA.	101
3.5.2	ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA DEL SISTEMA DE SELLADO.....	103
3.5.2.1	CÁLCULO DE PANDEO DE LA ESTRUCTURA DEL SISTEMA DE SELLADO.....	106
3.6	DISEÑO DE SISTEMA DE CONTROL.....	108
3.6.2	SELECCIÓN DEL CONTROLADOR	109
3.6.2.1	CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE SIMENS S7-200	109
3.6.3	SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS DE CONTROL	110
3.7	SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE PROTECCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL.....	119
3.7.1	BREAKER	119
3.7.2	CONTACTORES.....	120
3.7.3	FUSIBLES	120
3.7.4	CONDUCTORES ELECTRICOS.....	121
	CAPÍTULO IV	123
	IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS.....	123
4.1	CONSTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA.....	123
4.1.1	OPERACIONES DE MECANIZADO	123
4.1.2	REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA CONSTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA	123
	123	
4.2	ENSAMBLAJE DE LA MÁQUINA	133
4.2.1	IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA NEUMÁTICO	135
4.2.2	IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL	138
4.2.3	DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA DE CONTROL.....	142
4.2.4	DISEÑO DEL PROGRAMA DE CONTROL.....	143
4.2.5	CONFIGURACIÓN PARAMETROS DE CONTROL SERVO MOTOR.....	144
4.3	PRUEBAS Y RESULTADOS	147
4.3.1	PRUEBAS DE LA ESTRUCTURA.....	147

4.3.2 PRUEBAS DEL SISTEMA DE CONTROL	147
4.3.2.1 FUNCIONAMIENTO DEL SERVO MOTOR	148
4.3.2.2 GIRO DEL TUBO DE SOPORTE DE LA VENTOSA.....	149
4.3.2.3 ABSORCIÓN DE LAS LÁMINAS DE ALUMINIO.....	149
4.3.2.4 TEMPERATURA DE SELLADO DEL ENVASE.....	150
4.3.2.5 EXPULSIÓN DEL ENVASE.....	152
5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	153
5.1 CONCLUSIONES.....	153
5.2 RECOMENDACIONES.....	154
BIBLIOGRAFÍA	156
ANEXO A	158
ANEXO B	159
ANEXO C	160
ANEXO D	161
ANEXO E	162
ANEXO F.....	163
ANEXO G.....	166
ANEXO H.....	168
ANEXO I.....	169
ANEXO J.....	171
ANEXO K.....	172
ANEXO L.....	174
ANEXO M.....	175
ANEXO N.....	176
ANEXO O.....	177
ANEXO P	178
ANEXO Q.....	179
ANEXO R.....	180
ANEXO S	181
ANEXO T.....	184
ANEXO U	203

ANEXO V	226
ANEXO W	230

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Porcentajes de la composición nutritiva de la leche.....	4
Tabla 2: Clasificación de envases	14
Tabla 3: Características técnicas PET	16
Tabla 4: Características técnicas del Foil de aluminio	16
Tabla 5: Análisis de criterios ponderados	20
Tabla 6: Evaluación del criterio precisión, fiabilidad, seguridad, costo y robustez. Sistema de desplazamiento	22
Tabla 7: Tabla de conclusiones. Sistema de desplazamiento	23
Tabla 8: Evaluación del criterio precisión, fiabilidad, seguridad, costo y robustez. Sistema de colocación de las láminas de aluminio	26
Tabla 9: Tabla de conclusiones. Sistema de colocación de las láminas de aluminio	26
Tabla 10: Evaluación del criterio precisión, fiabilidad, seguridad, costo y robustez. Sistema de sellado	29
Tabla 11: Tabla de conclusiones. Sistema de sellado	30
Tabla 12: Evaluación del criterio precisión, fiabilidad, seguridad, costo y robustez. Sistema de expulsión	32
Tabla 13: Tabla de conclusiones. Sistema de expulsión	33
Tabla 14: Alternativas para el diseño.....	33
Tabla 15: Propiedades de mecánicas del acero inoxidable AISI-304	37
Tabla 16: Resultado análisis de espesores	38
Tabla 17: Sujeciones	39
Tabla 18: Cargas	39
Tabla 19: Resultado del Factor de seguridad	39
Tabla 20: Resultado de la distribución de tensiones.....	40
Tabla 21: Resultado de la distribución de desplazamientos	41
Tabla 22: Resultado de la deformación	41
Tabla 23: Parámetros en el factor de la condición superficial de Marín.....	44
Tabla 24: Factores de confiabilidad ke	45
Tabla 25: Datos técnicos servomotor	53
Tabla 26: Datos técnicos servo driver.....	54
Tabla 27: Constante de Nueber para aceros	62

Tabla 28: Factores de carga radial y de empuje para rodamientos de una hilera de bolas y ranura profunda siendo $x=0,56$.	65
Tabla 29: Duración recomendada para rodamientos	66
Tabla 30: Momento de inercia permisible por el actuador	70
Tabla 31: Datos técnicos actuador rotativo DMS	71
Tabla 32: Características técnicas ventosas plana SGPN	73
Tabla 33: Capacidad de aspiración de un generador de vacío	74
Tabla 34: Características del generador de vacío VAD-5M	76
Tabla 35: Pruebas de sellado para una fuerza constante	78
Tabla 36: Propiedades del acero inoxidable AISI 304	80
Tabla 37: Propiedades termo físicas de gases a presión atmosférica	83
Tabla 38: Emisividad total de superficies seleccionadas	85
Tabla 39: Energía suministrada al pisador y tiempo de calentamiento	87
Tabla 40: Características técnicas cilindro DZH-32-75-PPV-A	90
Tabla 41: Características técnicas cilindro DSNU-10-100PPV-A	93
Tabla 42: Características técnicas unidad de mantenimiento SNS	94
Tabla 43: Cilindros elegidos y su consumo de aire	95
Tabla 44: Vigas perfectamente empotradas	98
Tabla 45: Especificaciones generales tubo cuadrado AISI 304	99
Tabla 46: Viga empotrada en un punto	104
Tabla 47: Característica técnicas generales plcs	109
Tabla 48: Característica técnicas CPU 224	110
Tabla 49: Descripción de tipos de sensores	111
Tabla 50: Característica técnicas sensor	113
Tabla 51: Característica técnicas sensor de proximidad	114
Tabla 52: Característica técnicas sensor	114
Tabla 53: Característica técnicas electroválvula	115
Tabla 54: Característica técnicas electroválvula	116
Tabla 55: Característica técnicas controlador de temperatura	116
Tabla 56: Tipos de termocuplas comunes	117
Tabla 57: Pulsadores empleados en los tableros de control	118
Tabla 58: Indicadores empleados en el tablero de control	119
Tabla 59: Características técnicas del breaker	119
Tabla 60: Características técnicas del contactor	120

Tabla 61: Características técnicas de los fusibles	120
Tabla 62: Especificaciones técnicas de conductores eléctricos.....	121
Tabla 63: Operaciones de mecanizado	123
Tabla 64: Simbología ASME para diagramas de flujo	124
Tabla 65: Actividades del ensamblaje de la máquina	133
Tabla 66: Actividades de implementación de los componentes neumáticos	135
Tabla 67: Actividades realizadas en el sistema neumático.....	137
Tabla 68: Actividades para la implementación del sistema de control.....	138
Tabla 69: Actividades realizadas en el sistema de control	140
Tabla 70: Variables de programación	143
Tabla 71: Grupo de funciones del control para el servo driver.....	144
Tabla 72: Configuración de los puertos de control del servo driver	145
Tabla 73: Tabla de verdad para el control interno de velocidad	146
Tabla 74: Parámetros de control interno servo driver	146
Tabla 75: Pruebas de velocidad	148
Tabla 76: Pruebas de posición actuador giratorio.....	149
Tabla 77: Pruebas de vacío	149
Tabla 78: Pruebas de desplazamiento	150
Tabla 79: Pruebas de sellado	151
Tabla 80: Pruebas de regulación del sistema de expulsión.....	152

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Proceso de sellado en forma manual	3
Figura 2: Flujograma del proceso de elaboración de yogur.....	5
Figura 3: Sellado por ultrasonido.....	8
Figura 4: Sellado por inducción	9
Figura 5: Capas de la tapa	9
Figura 6: Selladora por calor	11
Figura 7: Sellos de una sola pieza, frecuentemente utilizados en la industria alimenticia y en bebidas.	12
Figura 8: Un sello de 2 piezas unidas por cera, frecuentemente utilizado para aquellos productos volátiles o agresivos.	12
Figura 9: Remoción del sello	13
Figura 10: Determinación de un buen sello	14
Figura 11: Diagrama de proceso de la máquina selladora semiautomática	17
Figura 12: Mecanismo movimiento de la ventosa por medio de piñón-cremallera	24
Figura 13: Actuador neumático rotativo.....	25
Figura 14: Sellado por medio de resistencias eléctricas.	27
Figura 15: Sellado por elevación de corriente eléctrica.....	28
Figura 16: Cilindros neumáticos con base para la expulsión del vaso.	31
Figura 17: Base tipo resbaladera.	31
Figura 18: Prototipo máquina selladora semiautomática de vasos	34
Figura 19: Forma y dimensiones del envase.....	35
Figura 20: Plato giratorio en Solidworks.....	36
Figura 21: Dimensiones del plato giratorio	37
Figura 22: Carga aplicada en un punto del plato giratorio.....	38
Figura 23: Factor de seguridad del plato con respecto a Von Mises.....	40
Figura 24: Análisis estático. Esfuerzo de Tensión de Von Mises	40
Figura 25: Resultado de la distribución de desplazamientos	41
Figura 26: Resultado de la deformación.....	42
Figura 27: Análisis de convergencia del plato giratorio	42
Figura 28: Esfuerzo repetido	46
Figura 29: Diagrama de fuerzas del eje	55

Figura 30: Diagrama de cuerpo libre	56
Figura 31: Diagrama de fuerza axial	56
Figura 32: Diagrama de fuerza cortante en y	57
Figura 33: Diagrama de momento flector xy.....	57
Figura 34: Diagrama de momento torsor.....	58
Figura 35: Diagrama esfuerzo-tiempo	59
Figura 36: Factores por duración y velocidad para rodamientos de bolas y rodillos	67
Figura 37: Forma del soporte de la ventosa	68
Figura 38: Dimensiones del tubo.....	68
Figura 39: Eje delgado montado excéntricamente (posición horizontal)	69
Figura 40: Capacidad de aspiración q_n en función de la presión de funcionamiento	75
Figura 41: Forma del pisador de sellado	77
Figura 42: Dimensiones del pisador de sellado.....	77
Figura 43: Volumen de Control. Pisador de sellado	79
Figura 44: Forma de porta envase	91
Figura 45: Dimensiones de porta envase de expulsión.....	91
Figura 46: Estructura de la máquina selladora de vasos.....	97
Figura 47: Diagrama de fuerzas de la viga.....	98
Figura 48: Valores k para longitud efectiva	101
Figura 49: Estructura sistema de sellado	104
Figura 50: Diagrama de fuerzas de la viga.....	104
Figura 51: Proceso de la máquina selladora	108
Figura 52: Micro PLC S7-200	110
Figura 53: Principio de funcionamiento de un sensor magnético	113
Figura 54: Construcción plato giratorio y sus elementos	125
Figura 55: Maquinado plato giratorio.....	126
Figura 56: Plato giratorio terminado	126
Figura 57: Construcción eje.....	127
Figura 58: Eje en su etapa final.....	127
Figura 59: Construcción de la base del sellador.....	128
Figura 60: Estructura del sistema de sellado.....	128
Figura 61: Construcción pisador de sellado	129

Figura 62: Construcción final base sellador.....	129
Figura 63: Construcción del soporte láminas de aluminio	130
Figura 64: Vista de la estructura de soporte de las láminas de aluminio.....	130
Figura 65: Construcción base de expulsión.....	131
Figura 66: Vista lateral de la base del cilindro de expulsión	131
Figura 67: Construcción estructura sistema de expulsión	132
Figura 68: Vista lateral del soporte del brazo de expulsión	132
Figura 69: Diagrama de flujo del ensamblaje de la máquina.....	134
Figura 70: Diagrama de flujo de la implementación del sistema neumático.....	136
Figura 71: Diagrama de flujo para la implementación del tablero de control.....	139
Figura 72: Esquema de prueba de funcionamiento del servomotor	148
Figura 73: Lámina de aluminio descentrada	150
Figura 74: Sello en buen estado.....	151

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Factor de seguridad	42
Ecuación 2: Límite de resistencia a la fatiga	43
Ecuación 3: Límite de resistencia a la fatiga modificado.....	43
Ecuación 4: Factor de modificación de la condición superficial	44
Ecuación 5: Factor de modificación de tamaño	45
Ecuación 6: Factor de modificación de la carga.....	45
Ecuación 7: Factor de modificación de temperatura	45
Ecuación 8: Componente del esfuerzo medio.....	46
Ecuación 9: Componente del esfuerzo de amplitud.....	47
Ecuación 10: Cálculo del factor de seguridad mediante Goodman.....	47
Ecuación 11: Momento de inercia.....	48
Ecuación 12: Sumatoria de momentos de inercia.....	48
Ecuación 13: Inercia del eje.....	49
Ecuación 14: Inercia del plato giratorio	49
Ecuación 15: Cálculo de la masa de un elemento	49
Ecuación 16: Teoría de ejes paralelos.....	51
Ecuación 17: Velocidad angular.....	52
Ecuación 18: Desplazamiento angular.....	52
Ecuación 19: Aceleración angular.....	52
Ecuación 20: Momento flector.....	56
Ecuación 21: Diametro del eje mediante Von Mises.....	58
Ecuación 22: Esfuerzo cortante máximo.....	59
Ecuación 23: Esfuerzo de flexión.....	60
Ecuación 24: Factor de efectos varios	61
Ecuación 25: Cargas.....	61
Ecuación 26: Cálculo del diámetro del eje	63
Ecuación 27: Esfuerzo máximo de Von Mises.....	63
Ecuación 28: Factor de carga radial y de empuje	65
Ecuación 29: Carga equivalente	65
Ecuación 30: Capacidad de carga dinámica	66
Ecuación 31: Momento de inercia de un eje delgado	69
Ecuación 32: Diametro requerido para la ventosa	71

Ecuación 33: Fuerza de retención teórica.....	73
Ecuación 34: Fuerza de aspiración.....	74
Ecuación 35: Capacidad de aspiración del generador de vacío	75
Ecuación 36: Conservación de la energía	79
Ecuación 37: Energía de entrada.....	79
Ecuación 38: Energía almacenada en el pisador.....	80
Ecuación 39: Volumen del pisador.....	81
Ecuación 40: Pérdidas de energía que se producen por convección	81
Ecuación 41: Número de Nuselt	82
Ecuación 42: Número de Grashot	82
Ecuación 43: Temperatura de película	83
Ecuación 44: Gradiente de temperatura.....	83
Ecuación 45: Número de Nuselt	84
Ecuación 46: Pérdidas de energía que se producen por radiación.....	84
Ecuación 47: Coeficiente de transferencia de calor por radiación	85
Ecuación 48: Fuerza real de émbolo avance	87
Ecuación 49: Fuerza real de émbolo retorno	88
Ecuación 50: Fuerza de rozamiento	88
Ecuación 51: Pérdidas por accesorios.....	95
Ecuación 52: Transformación de l/min a cfm	96
Ecuación 53: Fuerza total	97
Ecuación 54: Momento flector máximo	98
Ecuación 55: Momento de las fuerzas exteriores que producen flexión	99
Ecuación 56: Esfuerzo de compresión al que esta sometido el tubo	100
Ecuación 57: Factor de seguridad del tubo.....	100
Ecuación 58: Relación de esbeltez	101
Ecuación 59: Relación de esbeltez de transición.....	102
Ecuación 60: Cálculo de la carga crítica	102
Ecuación 61: Factor de seguridad	103
Ecuación 62: Cálculo de la carga crítica	107

RESUMEN

El presente trabajo está enfocado principalmente al sector artesanal que se dedica a la elaboración y comercialización de derivados de la leche como el yogur. Este proyecto contribuye a mejorar el proceso de envasado de yogur por lo que se va a aumentar la producción y competitividad de las pequeñas empresas.

El objetivo principal de este proyecto se basa en el diseño y construcción de una máquina selladora semiautomática de vasos de yogur que permitirá optimizar tanto el proceso productivo como las condiciones a las que se encuentra sometido el trabajador. Además de reducir los desperdicios de láminas de aluminio, envases y contenido.

El primer capítulo es una compilación de los aspectos más importantes que se debe tomar en cuenta para realizar el proceso de sellado. Además de mostrar las principales propiedades del envase PET y láminas de aluminio.

El segundo capítulo se detalla los criterios de diseño y se plantean las posibles alternativas de solución. En donde se selecciona la alternativa más viable de acuerdo a las ventajas y desventajas que ofrecen los diferentes sistemas que conforman la máquina selladora semiautomática de vasos.

Los sistemas que conforman la selladora de vasos de yogur son: sistema desplazamiento, sistema de colocación de las láminas de aluminio, sistema de sellado y sistema de expulsión. En el tercer capítulo se detallan la función y los requerimientos de diseño de estos elementos.

El cuarto y último capítulo explica la construcción y ensamblaje de la máquina. En donde también se detalla la implementación del sistema neumático y de control. Así mismo se hace un breve análisis de los resultados obtenidos de acuerdo a las pruebas de funcionamiento realizadas a la máquina selladora.

Finalmente se muestra las conclusiones a las que se llegó después de haber diseñado y construido la máquina. Además se observa las recomendaciones más importantes para el buen funcionamiento de los sistemas.

ABSTRACT

This work focuses mainly the artisanal sector that is dedicated to the development and marketing of dairy such as yogurt. This project contributes to improving the packaging process yogurt so will increase production and competitiveness of small companies.

The main objective of this project is based on the design and construction of a semi-automatic sealing machine yogurt cups that will optimize both the production process and the conditions to which is subject the worker. In addition to reducing waste aluminum foil, packaging and content.

The first chapter is a compilation of the most important aspects to be taken into account for the sealing process. In addition to showing the main properties of PET packaging and aluminum foil.

The second chapter describes the detailed design criteria and possible alternative solutions arise. Where the most viable alternative according to the advantages and disadvantages offered by different systems that make up the semi-automatic sealing machine is selected vessels.

The systems that make the sealing of yogurt cups are: displacement system, positioning system aluminum sheets, sealing system and exhaust system. In the third chapter the function and design requirements of these elements are detailed.

The fourth and final chapter explains the construction and assembly of the machine. Where the implementation of the pneumatic control system and also details. Also a brief analysis of the results according to performance tests conducted to the sealing machine is made.

Finally, the conclusions were reached after having designed and built the machine shown. Besides the most important recommendations for the proper functioning of the systems it is observed.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GENERAL

Construir una máquina selladora semiautomática de vasos para mejorar el proceso de envasado de yogur.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar las variables que influyen para configurar la máquina con sus diferentes sistemas de posicionamiento de las láminas y sellado de los vasos.
- Dimensionar cada uno de los sistemas que conforman esta máquina de sellado; así, el sistema de traslado, el sistema de posicionamiento de la lámina, el sistema de sellado y el sistema de expulsión.
- Configurar un sistema de control que relacione a cada uno de estos sistemas para que realicen estos procesos de forma secuencial.
- Implementar los diferentes sistemas que conforman ésta máquina de sellado.
- Elaborar un manual de mantenimiento y operación.

1.2 ALCANCE

El proyecto se enfocará en construir una máquina selladora de vasos que será manejada por un controlador lógico programable, que se encargará del control de los diferentes sistemas.

Antes de iniciar todo el proceso el operario deberá colocar el producto en el envase para después llevarlo a la máquina selladora de vasos.

La máquina constará de las siguientes partes: sistema de traslado giratorio para los envases, sistema de posicionamiento de la lámina de aluminio, un sistema de sellado y un sistema de expulsión.

A través de sensores se detectará la presencia del envase, y se enviarán señales al controlador lógico programable; que será el encargado de procesar la información y enviar las señales a todo el proceso. El porta envases poseerá un sensor de presencia que indicará si existe o no un envase para dar inicio a todo el proceso; además la estación en donde se ubica la lámina de aluminio tendrá un sensor que permitirá iniciar el proceso si el envase se encuentra posicionado para luego pasar a ser sellado, finalmente el envase saldrá del porta envases por la acción de un sistema de expulsión constituido por un brazo de empuje para desplazar el envase hacia afuera.

Con la construcción de esta máquina se realizará una innovación en el proceso, se reducirá el tiempo de producción y el cansancio del operador al realizar estas tareas repetitivas.

Se implementará un tablero de control que constará de un control de encendido, un controlador de temperatura, paro de emergencia y apagado de todo el sistema.

1.3 ANTECEDENTES DEL PROCESO DE ELABORACIÓN Y ENVASADO DEL YOGUR.

El yogur desde su aparición en el mercado ecuatoriano hace 30 años ha tenido una amplia aceptación y un crecimiento acelerado; actualmente se le encuentra en una gran variedad de presentaciones, tamaños, texturas, sabores, colores y marcas comerciales.

En Cayambe existen varias empresas artesanales que se dedican a la elaboración y comercialización de derivados de la leche como el yogur, estas empresas tienen la necesidad de aumentar su productividad y competitividad mediante la innovación de sus procesos productivos.

En la actualidad la mayoría de estas empresas artesanales cuentan con una línea de envasado y sellado de yogur que se lo realiza de forma manual ocasionando pérdidas de producto, tiempo en la producción, sellado defectuoso y molestias tanto físicas como ergonómicas; además el trabajador está expuesto a constantes quemaduras.

Es por esto que se ha visto la necesidad de realizar la implementación de una máquina selladora semiautomática para vasos de yogur que permitirá mejorar tanto el proceso productivo como las condiciones de trabajo a las que se encuentra sometido el trabajador por las tareas repetitivas que este realiza; además de reducir los desperdicios de láminas de aluminio, envases y contenido.



Figura 1: Proceso de sellado en forma manual

1.4 ELABORACIÓN DEL YOGUR

1.4.1 YOGUR

El yogur es una bebida natural de sabor agradable y nutritivo. “Es el producto lácteo obtenido por fermentación de la leche entera, semi descremada o descremada, previamente pasteurizada o esterilizada y por acción de bacterias específicas: *Lactobacillus bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus*”. (INEN, 1996). La primera bacteria le proporciona acidez y la segunda se encarga de darle el aroma.

1.4.1.1 Clasificación del yogur

La Norma INEN 2006 de Elaboración del yogur, manifiesta que el yogur se clasifica de acuerdo a sus características: según el contenido de grasa, a los ingredientes y al proceso de elaboración.

Según el contenido de grasa:

- Tipo I. Elaborado con leche entera, leche integra o leche integral.
- Tipo II. Elaborado con leche semidescremada o semidesnatada.
- Tipo III. Elaborado con leche descremada o desnatada.

Tabla 1: *Porcentajes de la composición nutritiva de la leche*

Composición nutritiva de productos lácteos				
Lácteos	Proteínas (%)	Grasas (%)	Azúcares (%)	Kilocalorías (por 100g)
Leche entera	3.5	4.0	5.0	69
Leche semidescremada	3.0	2.0	4.0	45
Leche descremada	3.0	0.0	5.0	33

Fuente: <http://www.aquisaludenlinea.com/nutricion.php>. (2001).

Con respecto a los ingredientes:

- Natural.
- Con fruta.
- Azucarado.
- Saborizado o aromatizado.

De acuerdo al proceso de elaboración, se clasifican en:

- Batido.
- Coagulado o aflanado.
- Bebible.
- Concentrado.
- Deslactosado.

1.5 PROCESO DE ELABORACIÓN DEL YOGUR

El proceso de elaboración del yogur no es un proceso uniforme, debido a que existe una infinidad de tipos de yogur por lo que sus métodos de fabricación son distintos.

En la figura 2 se muestra un breve flujograma del proceso que se realiza para la elaboración del yogur.



Figura 2: Flujograma del proceso de elaboración de yogur

Fuente: <http://wilsonproces.blogspot.com/2012/10/flujograma-del-proceso-de-elaboracion.html>

El proceso de elaboración del yogur consta de varias etapas que se detallan continuación:

Recepción y filtración de leche. Etapa en la cual analizan la leche ya que debe ser de la más alta calidad bacteriológica, además antes de ser procesada pasa por un filtro, el cual obstaculiza el paso de impurezas o cuerpos extraños que puedan existir en la misma.

Estandarización. Se utiliza principalmente la descremadora con el fin de normalizar la cantidad de grasa. Para asegurar que la mezcla sea homogénea la leche se coloca en un tanque provisto de un agitador.

Homogenización. La estabilidad y consistencia del yogur se ven mejorados por esta operación puesto que la mezcla se vuelve más cremosa y uniforme.

Pasteurización. Permite una mezcla libre de microorganismos patógenos, ayuda a disolver y combinar los ingredientes, mejora el sabor y la calidad de almacenamiento, a la vez permite que el producto sea uniforme. Para esta operación la leche se calienta hasta alcanzar una temperatura de 85 °C y se mantiene así por 10 minutos. (Wilson, 2012)

Enfriamiento. Concluida la etapa de pasteurización, se enfría inmediatamente la leche a una temperatura de 40-45°C con el fin de que el producto tenga una temperatura adecuada al añadirle el cultivo. (Wilson, 2012).

Inoculación. A la temperatura antes mencionada se le añade el cultivo el cual se compone de la mezcla de *Lactobacillus bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus*.

Incubación. La mezcla con el cultivo se debe incubar a 45°C durante 3 - 4 horas, tiempo en el que el yogur debe adquirir un pH de 4,6 - 4,7. (ALAIS, 1998).

Aromatización y batido. La mezcla es llevada a una mezcladora en donde se le añade color, zumo de fruta, edulcorantes y trozos de fruta de acuerdo al sabor del yogur que se vaya a realizar.

Envasado. De acuerdo a la Norma INEN 710 perteneciente a la elaboración de yogur menciona que, el yogur debe expendirse en envases asépticos y herméticamente cerrados, que aseguren la adecuada conservación del producto. Además debe acondicionarse en envases cuyo material, en contacto con el producto, sea resistente a su acción y no altere las características organolépticas del mismo y así asegurar la inocuidad del alimento.

Almacenamiento. El producto final se coloca en estanterías que se encuentran en el interior de una cámara frigorífica la misma que debe estar a una temperatura de 5 °C, donde el producto se mantendrá hasta su uso.

1.6 TIPOS DE MÁQUINAS ENVASADORAS Y SELLADORAS

1.6.1 ENVASADORAS AUTOMÁTICAS

Con este tipo de envasadoras el dosificado y sellado se lo realiza en forma automática es decir sin intervención del operador y se las encuentra en grandes empresas industriales. Estos sistemas pueden encontrarse en forma horizontal, vertical y circulares según el material que se vaya a utilizar para el envasado.

1.6.2 ENVASADORAS SEMI-AUTOMÁTICAS

Las envasadoras semiautomáticas realizan el dosificado y sellado de forma individual la mayoría de estas máquinas se las utiliza en industrias pequeñas ya que tienen una producción a menor escala.

1.6.2.1 Sistemas de dosificado

El dosificador es el dispositivo encargado de proporcionar la cantidad exacta en cada envase. Se selecciona de acuerdo a las características del producto que se va a envasar ya sean sólidos o líquidos.

Se clasifican en:

- Dosificador volumétrico.
- Dosificador a tornillo sin fin.
- Dosificador isobárico.
- Dosificador a pistón.
- Dosificador por gravedad.
- Dosificador gravimétrico.
- Dosificador a tornillo y balanza.

1.6.2.2 Sistemas de sellado

Para obtener un buen sellado debe existir una buena compatibilidad entre el material del envase, el sello (lámina de aluminio) y la selladora.

1.6.2.2.1 Tipos de procesos para el sellado

Se utilizan varias técnicas para el sellado de envases pero éstas se seleccionan de acuerdo al tipo de material y a las condiciones del producto a sellar.

Sellado por ultrasonidos

Es una técnica innovadora que utiliza la frecuencia de ultrasonido para unir molecularmente dos porciones de un material entre sí.

Las piezas a sellar no se calientan hasta el punto de fusión, sino que se sueldan mediante la aplicación de presión y vibraciones mecánicas de alta frecuencia. Las frecuencias de entre 20Khz y 100Khz tienen aplicaciones industriales para el procesamiento de plásticos y las frecuencias para el sellado están entre los 25khz y 30Khz. (SONOTRONIC, s.f.)

Como se puede observar en la siguiente figura el sellado por ultrasonidos es un método complejo ya que consta de un convertidor (el encargado de transformar la energía eléctrica a vibraciones mecánicas), un amplificador (amplifica la vibración), cuerno (aplica la vibración ultrasónica al material), material a fusionarse y yunque (soporta al material durante el sellado).

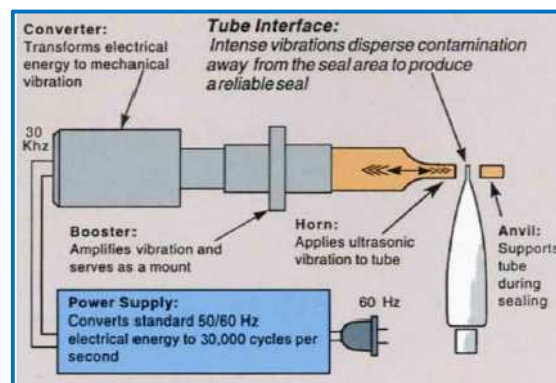


Figura 3: Sellado por ultrasonido

Fuente: <http://www.bransoneurope.eu/producto/soldaduultrasonido/automatizacion-v-el-oem/st-30>

Características:

- Sellado de varios materiales de acuerdo a la compatibilidad del polímetro: PV, PVC, PE, PET, compuestos, fibras y películas.
- Tiempos de proceso muy rápidos.
- Sellado confiable y resistente sin imperfecciones visuales.
- Bajo consumo de energía y amigable con el ambiente.
- No utiliza solventes ni sustancias de relleno para el sellado.
- Empaques impermeables.

- No requiere tiempo de calentamiento de la máquina.

Sellado por inducción

Es un método sin contacto de calentar un disco metálico para sellar herméticamente la parte superior de recipientes de plástico o de vidrio.

El método utiliza el principio de inducción electromagnética para generar calor y fijar el material del sello.

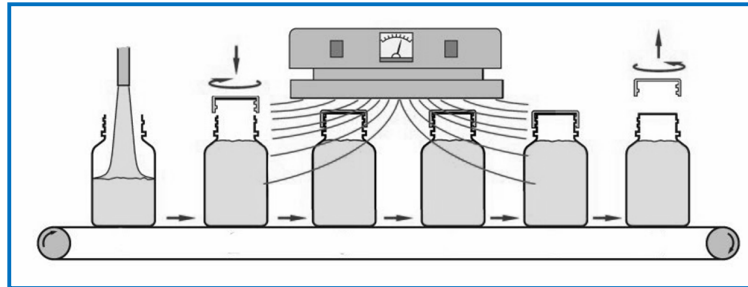


Figura 4: Sellado por inducción

Fuente: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2013/12/termosellado.html>

Como se aprecia en la anterior figura la tapa presenta una película delgada que es la inductora. Esta película puede ser de diversos materiales, distribuidos en varias capas. El estrato superior es de papel, generalmente adherida con pegamento a la tapa. La capa siguiente es de cera, que se utiliza para adherir una laminilla de aluminio al papel. El estrato inferior es un film de polímero laminado sobre el metal. Luego que la tapa o cierre se coloca en posición, al contenedor se le hace pasar bajo una bobina de inducción, la cual emite un campo electromagnético oscilante. (Mariano, Tecnología de los plásticos, 2011)



Figura 5: Capas de la tapa

Fuente: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2013/12/termosellado.html>

Cuando el contenedor o botella pasa bajo la espira de inducción la lámina de aluminio que conduce la electricidad comienza a calentarse. El calor derrite la

cera, la cual se absorbe en la pulpa del papel y libera a la laminilla metálica de la tapa. El film polímero también se calienta y fluye hacia el reborde de la abertura del contenedor. Al enfriarse, el polímero forma una unión con el contenedor y establece así un sello hermético. (Mariano, Tecnología de los plásticos, 2011)

Características:

- Se puede integrar fácilmente a las líneas de producción.
- Control del proceso.
- Menor mantenimiento.
- Mayor velocidad en las líneas de producción.
- Costos de energía reducidos.

Selladoras de calor

Es el método más común en el medio industrial para el sellado de materiales plásticos por su facilidad de implementación, mantenimiento, manejo y reducidos costos.

El proceso de sellado se lo realiza por la acción combinada de tres factores esenciales: presión, temperatura y tiempo. Estas variables se pueden controlar mediante equipos específicos.

La presión, temperatura y tiempo son los parámetros más importantes en este tipo de sistemas ya que de estos depende obtener un sellado hermético entre la lámina de aluminio y el envase o la vez un sello defectuoso como decoloración y quemaduras de la lámina.

En la figura 6 podemos observar una selladora por calor, la misma que está constituida por un sistema neumático que proporciona la presión necesaria a la cabeza selladora, la temperatura de la cabeza selladora es controlada por un pirómetro y el tiempo de contacto entre las partes a sellar es manejado por el operador mediante el accionamiento de un pedal.



Figura 6: Selladora por calor

Características:

- Su implementación es sencilla y uso.
- No requiere maquinaria ni controles sofisticados.
- Costo de implementación bajo.
- Sellado confiable y resistente.
- Para adquirir la temperatura deseada en la cabeza selladora las resistencias necesitan un tiempo de calentamiento previo.
- Tiempos de proceso rápidos.

1.6.2.3 Sellado hermético de envases plásticos rígidos (Enercon Industries Corporation)

1.6.2.3.1 Selección del sello adecuado

Los productos que se encuentran perfectamente sellados brindan confianza al consumidor en cuanto a su calidad y seguridad. Los fabricantes saben que un sello de mala calidad en sus productos no sólo amenaza la percepción del consumidor sino que también resulta en pérdida y daño de los mismos durante el traslado.

Una solución de sellado perfecta incluye que se den las condiciones de compatibilidad entre el envase, el sello (lámina de aluminio) y la selladora.

1.6.2.3.2 Compatibilidad de materiales

Relativamente se puede lograr un sello perfecto con cualquier tipo de envase. La elección del sellado apropiado depende del producto que se quiera empacar.

Si el producto contuviera algún ingrediente volátil o potencialmente agresivo, químicos, ácidos, solventes, de alto contenido en sodio, alcohol o vinagre puede ser necesario un sello con una capa o barrera protectora, la misma puede ser ubicada entre el film que se calienta para sellar y la lámina de aluminio a fin de prevenir la corrosión como se observa en la siguiente figura.



Figura 7: Sellos de una sola pieza, frecuentemente utilizados en la industria alimenticia y en bebidas.

Fuente:<http://www.enerconind.com/es/sealing/library/achieve-a-perfect-seal.aspx>

Otra clasificación es el liner de dos piezas. Este es un material unido por cera, el cual posee un respaldo usualmente de cartón o espuma unido al aluminio con cera. Durante el proceso la cera se calienta, se derrite y es absorbida por el respaldo, el cual permanece dentro de la tapa y permite que el producto quede sellado al cerrar el envase una vez que el aluminio ha sido removido. Cuando se trabaja con productos agresivos o volátiles puede incluirse una capa que actúe como barrera entre la capa que se sella por el calor y la lámina de sellado como se aprecia en la figura 8.



Figura 8: Un sello de 2 piezas unidas por cera, frecuentemente utilizado para aquellos productos volátiles o agresivos.

Fuente:<http://www.enerconind.com/es/sealing/library/achieve-a-perfect-seal.aspx>

Como un tercer tipo de sello; además de ser uno de los más conocidos y usados es la lámina (foil) de sellado simple, este se compone de una lámina de aluminio. La cual posee en uno de sus lados una capa muy fina de material polímero, material que por medio de calor produce el sellado hermético al fusionarse y provocar la adherencia del envase. El material de esta capa varía dependiendo del material que se vaya a sellar, debido a que debe existir compatibilidad entre el envase y la lámina de sellado de aluminio. (Cruz & Villamarín, 2011)

1.6.2.3.3 Remoción del sello

Finalmente se deben determinar las características de remoción del sello:

- Se necesita de un sello que al ser removido no deje residuos del mismo en la boca del envase.
- Se requiere un sello que se suelde a la boca del envase o que deje evidencia de violación teniendo que destruirlo al abrir el mismo.
- Se solicita un sello de fácil acceso, el cual puede abrirse oprimiéndolo con un dedo o cuchillo.

Todas las características mencionadas anteriormente se las puede observar en la siguiente figura.



Figura 9: Remoción del sello

Fuente:<http://www.enerconind.com/es/sealing/library/achieve-a-perfect-seal.aspx>

1.6.2.3.4 Determinación de un buen sello

Si bien no hay estándares en la industria para comprobar la integridad del sello, existen varias maneras para determinar la calidad del mismo. Entre los métodos más efectivos podemos citar las pruebas al vacío, despachar / transportar el producto para comprobar cómo responde, sistemas visuales, presión mecánica, sacudir, apretar o pararse sobre un envase sellado.

Existen también ciertas características que, a simple vista, nos muestran que estamos frente a un buen sello, como por ejemplo una lámina de sellado de aluminio no decolorada, la adhesión a lo largo de toda la circunferencia de la boca del envase, un pliegue mínimo del sello, etc.



Figura 10: Determinación de un buen sello

Fuente: <http://www.enerconind.com/es/sealing/library/achieve-a-perfect-seal.aspx>

1.6.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS ENVASES A SELLAR

Los envases son fabricados con el objetivo de proteger y conservar la calidad e integridad del producto.

1.6.3.1 MATERIAL PARA ELABORAR ENVASES

En la actualidad existen principalmente 4 materiales de los cuales se elaboran envases como se observa en la siguiente tabla.

Tabla 2: Clasificación de envases

Tipos	Características
Metales	Resistencia mecánica Hermeticidad Opacidad a la luz y a las radiaciones Conductividad térmica Facilidad de reciclar
Vidrio	Transparencia Hermeticidad Reciclable Reutilizable

	Amplia gama de materiales
	Ligero
Plásticos	Flexible Propiedades mecánicas Variedad de formas y dimensiones Facilidad de impresión y decoración
Papel y cartón	Ligero Variedad de formas y dimensiones Reciclable

Además existen otro tipo de envases hechos con combinaciones de materiales como papel con una película plástica, aluminio y cartón más película de plástico, etc. Muchas de estas combinaciones se aplican para mejorar las funciones del envase y alargar la duración del producto envasado.

1.6.3.2 ENVASE PET (Polietileno Tereftalato)

El PET es un tipo de materia prima plástica derivada del petróleo, correspondiendo su fórmula a la de un poliéster aromático. Su denominación técnica es polietilén tereftalato o politereftalato de etileno y forma parte del grupo de los termoplásticos, razón por la cual es posible reciclarlo. (Mariano, Tecnología de los plásticos, 2011)

Este material es utilizado para envasar productos alimenticios por varias razones entre las cuales se tiene:

- Apto para producir varios artículos como: botellas, películas, láminas, planchas y piezas.
- Es ideal ya que tiene una gran resistencia (barrera) en contra del paso de agentes exteriores como: malos olores, humedad y otros factores que pueden dañar al producto.
- Es un producto químicamente inerte y sin aditivos.
- Puede ser reciclado.
- Variedad de formas.
- Liviano.

- Buen comportamiento frente a esfuerzos permanentes.
- Bajo costo en comparación a otros.

1.6.3.2.1 Propiedades del envase PET

Tabla 3: Características técnicas envase PET

Densidad (g/cm^3)	Temperatura de fusión	Resistencia a la compresión
	°C	MPa
1,34 – 1,39	244-254	76-128

Fuente: tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/05/pet.html

1.6.3.3 LÁMINA DE ALUMINIO

La lámina de aluminio brinda al producto un sello que garantiza la hermeticidad sin permitir la entrada de oxígeno al producto envasado, como lácteos y cereales.

Posee grandes ventajas:

- Es atractivo por su variedad de formas y colores.
- Bajo costo.
- Buenas propiedades barrera contra gases.
- Sella perfectamente con todo tipo de envases de plástico y vidrio.

1.6.3.3.1 Propiedades de la lámina de aluminio

Tabla 4: Características técnicas del Foil de aluminio

Aleación	Espesor mm		Diámetro mm		Temperatura °C
	Min	Max	Min	Max	
801 A	0,038	0,051	350	152	180-230

Fuente: ALMEXA. <http://www.almexa.com.mx/assets/downloads/Triptico-Almexa.pdf>

CAPÍTULO II

SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

En este capítulo se analiza las diferentes alternativas para el diseño de la selladora semiautomática para vasos de yogur así como también todos los factores que influyen en la mejor selección de los elementos que se van a utilizar para la elaboración de este proyecto.

2.1 DESCRIPCIÓN DE LAS TAREAS A REALIZAR POR LA MÁQUINA

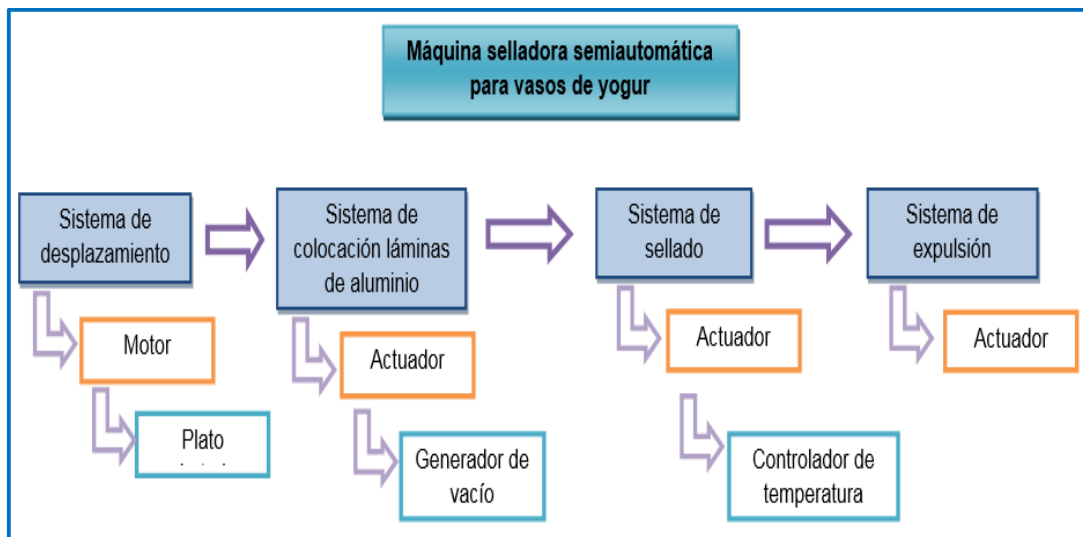


Figura 11: Diagrama de proceso de la máquina selladora semiautomática

La máquina consta de cuatro sistemas que son siguientes: Sistema de desplazamiento, sistema de colocación de las láminas de aluminio, sistema de sellado y sistema de expulsión, cada una con funciones específicas.

Antes de empezar el proceso de sellado, el operador es el encargado de alimentar a las cavidades del plato rotatorio con vasos previamente llenos de yogur.

El sistema de desplazamiento es una de las partes fundamentales en el funcionamiento de la máquina ya que tiene como objetivo hacer girar al plato rotatorio y posicionarlo con precisión en cada una de las estaciones que se

describen a continuación.

En la primera estación el operador coloca el envase lleno de yogur. La segunda estación es la encargada de colocar de forma automática las láminas de aluminio sobre el vaso. En la tercera estación se realiza el sellado aplicando calor y presión contra la tapa y el envase. En la cuarta y última se expulsa el envase del plato rotatorio para luego ser recogidos por el operador.

2.2 CRITERIOS DE DISEÑO

Entre los principales requerimientos están:

- Facilitar las actividades del sistema de sellado.
- Capacidad para sellar en mayor cantidad en un menor tiempo.
- Garantizar la seguridad tanto de las personas que operan la máquina como para el consumidor del producto final.
- Reducir cansancio físico y molestias ergonómicas.
- Vida Útil.
- Costo de la máquina.
- Facilidad de operación y mantenimiento.
- Inocuidad del alimento.

La alternativa de diseño y construcción debe estar basada con las normas ISO 22000 correspondientes a la norma internacional de sistemas de gestión de seguridad alimentaria, que abarca en su totalidad toda la cadena de elaboración de un producto es decir que se extiende desde los proveedores de productos no alimenticios y servicios, como la limpieza y fabricantes de equipos. Las ISO 22000 también especifica los requisitos de un sistema de gestión de seguridad alimentaria así como el programa de prerrequisitos (PPR) y a la vez se encuentra alineada con los Análisis de peligros y puntos críticos de control (APPCC o HACCP) los cuales son un proceso sistemático que previene y garantiza la inocuidad alimentaria aplicadas a todo tipo de industrias que fabriquen materiales en contacto con los alimentos estableciendo medidas preventivas y correctivas para su control tendentes a asegurar la inocuidad. (LRQA, 2014)

2.3 FORMULACIÓN DE ALTERNATIVAS

Para determinar las posibles soluciones se realiza un análisis de las alternativas de solución de los diferentes sistemas que intervienen en la máquina. Se debe evaluar las ventajas y desventajas de cada uno para determinar la solución más idónea; además se debe tomar en cuenta todos los parámetros que inciden en su funcionamiento.

2.3.1 EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN POR EL MÉTODO ORDINAL CORREGIDO DE CRITERIOS PONDERADOS.

Los criterios para el análisis de soluciones de los sistemas que conforman la máquina son los siguientes:

- Precisión.- Se requiere de exactitud en todos sus sistemas ya que todos los factores influyen en la presentación y hermeticidad del envase por lo que se debe tener el menor rango de falla posible para obtener buenos resultados.
- Seguridad.- Debe garantizar tanto que el personal que opera la máquina como el consumidor no tengan riesgos al momento de manipular los sistemas o consumir el producto final.
- Costo.- Se debe diseñar y construir un sistema confiable para cualquier microempresa y así justificar su inversión.
- Fialibilidad.- Debe tener buen funcionamiento en todas las partes que conforman la máquina, con el fin de obtener los resultados esperados.
- Robustez.- El sistema trabaja con una presión de 7 y 8 bares por lo tanto debe ser capaz de absorber dicha energía, además de los posibles golpeteos que puedan producirse en el sistema de rotación.

Después de a ver analizado todos los criterios que intervienen para llegar a la mejor solución se obtiene la siguiente relación. (Cruz & Villamarín, 2011)

Precisión > Fiabilidad = Seguridad > Costo > Robustez

En la siguiente tabla, se realiza la ponderación de criterios para el análisis de alternativas. Tomando en cuenta que la tabla 5 se basa en confrontar cada criterio con los restantes y se asignan los valores siguientes:

- **1.** Si el criterio (o solución) de las filas es superior (o mejor; >) que el de las columnas.
- **0,5.** Si el criterio (o solución) de las filas es equivalente (=) al de las columnas.
- **0.** Si el criterio (o solución) de las filas es inferior (o peor; <) que el de las columnas.

Luego, para cada criterio (o solución), se suman los valores asignados en relación a los restantes criterios (o soluciones) al que se le añade una unidad (para evitar que el criterio o solución menos favorable tenga una valoración nula); después, en otra columna se calculan los valores ponderados para cada criterio (o solución). (Riba, 2002)

Tabla 5: *Análisis de criterios ponderados*

ANÁLISIS DE CRITERIOS PONDERADOS							
CRITERIO	PRECISIÓN	FIABILIDAD	SEGURIDAD	COSTO	ROBUSTEZ	$\Sigma+1$	PONDERACIÓN
PRECISIÓN		1	1	1	1	5	0,333
FIABILIDAD	0		0,5	1	1	3,5	0,233
SEGURIDAD	0	0,5		1	1	3,5	0,233
COSTO	0	0	0		1	2	0,133
ROBUSTEZ	0	0	0	0		1	0,067
					SUMA	15	1

Se analizan los siguientes sistemas para evaluar las posibles soluciones:

- Sistema de desplazamiento.
- Sistema de colocación de las láminas de aluminio.
- Sistema de sellado.
- Sistema de expulsión.

2.3.2 SISTEMA DE DESPLAZAMIENTO

El sistema de desplazamiento consta de un plato rotatorio el que gira y se posiciona con precisión en un intervalo de tiempo en cada estación, donde se realiza determinada actividad para efectuar este movimiento se debe utilizar un

mecanismo apropiado y que cumpla con las características para desarrollar dicha actividad.

A continuación se detallan características que sirven de guía para comparar, evaluar y elegir la alternativa más adecuada para el diseño.

2.3.2.1 Solución A. Desplazamiento por medio de un motor eléctrico con variador de frecuencia y sensor de posición.

Con esta alternativa se trabaja directamente con las rpm de un motor eléctrico hasta llegar a unas revoluciones que permitan lograr el movimiento rotacional del plato de la máquina de manera apropiada. Este movimiento se logra mediante la utilización de un variador de frecuencia y un sensor de posición.

El sensor detecta la posición a la que el motor debe parar y esperar un cierto intervalo de tiempo para que se cumpla la actividad. El variador de frecuencia se encarga de controlar los parámetros del motor eléctrico como arranque-paro, rpm, freno, aceleración, etc.

Ventajas

- Mediano costo.
- Fácil de implementar.
- Costo de mantenimiento reducido.

Desventajas

- No es un mecanismo diseñado directamente para esta función.
- Su precisión y repetitividad dependerá de los parámetros de configuración del variador de frecuencia, además de la posición en la que se coloque el sensor.

2.3.2.2 Solución B. Desplazamiento por medio de un servomotor

Otra opción para lograr el movimiento rotacional de la máquina, es controlar un servomotor ya que es un dispositivo que tiene alta precisión, un control de velocidad (rpm) y se lo puede manejar a través de un driver. Son ideales para la construcción de mecanismos en donde se requieren movimientos muy precisos.

Ventajas

- Alto torque.
- Velocidades altas y bajas.
- Posicionamientos con precisión.
- Mantenimiento.

Desventajas

- Necesitan de un driver para controlar su posición y velocidad.
- Costo

2.3.2.3 Evaluación del sistema de desplazamiento

Solución A: Desplazamiento por medio de un motor eléctrico con variador de frecuencia y sensor de posición.

Solución B: Desplazamiento por medio de un servomotor.

2.3.2.3.1 Evaluación del peso específico por criterios

La siguiente tabla presenta la evaluación de alternativas según los diferentes criterios para el sistema de desplazamiento.

Tabla 6: Evaluación del criterio precisión, fiabilidad, seguridad, costo y robustez. Sistema de desplazamiento

EVALUACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO POR CRITERIOS							
CRITERIO	ANÁLISIS	SOLUCIÓN A			SOLUCIÓN B		
		CALIFICACIÓN	$\Sigma+1$	PONDERACIÓN	CALIFICACIÓN	$\Sigma+1$	PONDERACIÓN
Precisión	SOLUCIÓN B>SOLUCIÓN A	0	1	0,33	1	2	0,66
Fiabilidad	SOLUCIÓN A=SOLUCIÓN B	0,5	1,5	0,5	0,5	1,5	0,5
Seguridad	SOLUCIÓN A=SOLUCIÓN B	0,5	1,5	0,5	0,5	1,5	0,5
Costo	SOLUCIÓN B>SOLUCIÓN A	0	1	0,33	1	2	0,66
Robustez	SOLUCIÓN B>SOLUCIÓN A	0	1	0,33	1	2	0,66

2.3.2.3.2 Tabla de conclusiones

Tabla 7: Tabla de conclusiones. Sistema de desplazamiento

ANÁLISIS DE CRITERIOS PONDERADOS							
CRITERIO	PRECISIÓN	FIABILIDAD	SEGURIDAD	COSTO	ROBUSTEZ	Σ	PONDERACIÓN
SOLUCIÓN A	0,111	0,117	0,117	0,044	0,022	0,411	Segunda
SOLUCIÓN B	0,222	0,117	0,117	0,089	0,045	0,590	Primera

De los resultados obtenidos en la tabla 7 se llega a la conclusión que la mejor alternativa a seleccionar es la **Alternativa B** para el diseño.

2.3.3 SISTEMA DE COLOCACIÓN DE LAS LÁMINAS DE ALUMINIO

Este sistema es el encargado de mover a la ventosa, la misma que absorbe por medio de succión la tapa de aluminio y la coloca sobre el envase de forma automática.

A continuación se detallan las diferentes ventajas y desventajas de cada sistema, las mismas que nos sirven de guía para elegir la alternativa más adecuada para la aplicación.

2.3.3.1 Solución A. Desplazamiento por medio de un mecanismo piñón-cremallera accionado por un pistón neumático.

Con esta solución el movimiento de la ventosa se lo realiza por la acción de un pistón neumático, el mismo que va hacer que la cremallera suba y baje desde el punto donde absorbe la tapa de aluminio hasta colocarla sobre el envase como se observa en la figura 12.

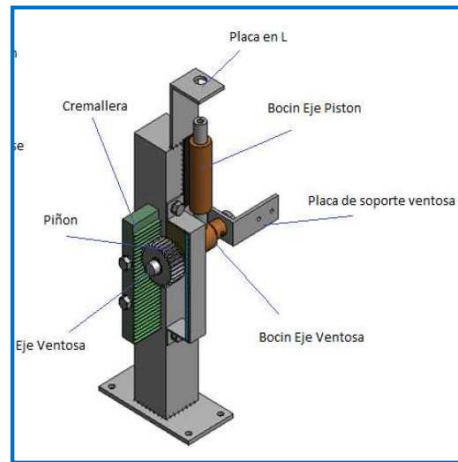


Figura 12: Mecanismo movimiento de la ventosa por medio de piñón-cremallera

Fuente: (Calapaqui & Durán, 2012)

Ventajas

- Mecanismo simple.
- Se puede acoplar a cualquier sistema.
- Alta precisión.

Desventajas

- Costo.
- Mantenimiento.
- Ocupa mucho espacio.

2.3.3.2 Solución B. Desplazamiento por medio de un actuador rotativo y un actuador lineal.

Esta alternativa nos permite mover a la ventosa por medio de un actuador rotativo que transforma la energía neumática en energía mecánica de rotación. El cilindro giratorio tiene unos topes mecánicos que permiten la regulación del giro que se encuentra limitado entre 90, 180 y 270 °C. El actuador lineal va ser el encargado de mover al actuador rotativo con el objetivo de desplazar a la ventosa hacia las láminas de aluminio y poder succionarlas como se puede observar en la figura 13.



Figura 13: Mecanismo de movimiento con el actuador neumático rotativo

Ventajas

- Contiene amortiguación en final de recorrido.
- La detección mecánica se ejecuta mediante elementos móviles exteriores ajustables en grados mediante un sistema graduado.
- Este tipo de actuadores recuperan siempre la posición.
- Montaje en espacios reducidos.
- Ángulo de giro graduable se puede ajustar a cualquier posición.
- Capaz de soportar los momentos de inercia similar al piñón-cremallera.
- Velocidad regulable.
- Fácil mantenimiento.

Desventajas

- Costo.
- Ángulo de giro limitado.

2.3.3.3 Evaluación del sistema de colocación de las láminas de aluminio.

Solución A: Desplazamiento por medio de un mecanismo piñón-cremallera accionado por un pistón neumático.

Solución B: Desplazamiento por medio de un actuador rotativo y un actuador lineal.

2.3.3.3.1 Evaluación del peso específico por criterios

La siguiente tabla presenta la evaluación de alternativas según los criterios descritos en la tabla 5 para el sistema de colocación de las láminas de aluminio.

Tabla 8: Evaluación del criterio precisión, fiabilidad, seguridad, costo y robustez. Sistema de colocación de las láminas de aluminio

EVALUACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO POR CRITERIOS							
CRITERIO	ANÁLISIS	SOLUCIÓN A			SOLUCIÓN B		
		CALIFICACIÓN	$\Sigma+1$	PONDERACIÓN	CALIFICACIÓN	$\Sigma+1$	PONDERACIÓN
Precisión	SOLUCIÓN B=SOLUCIÓN A	0,5	1,5	0,5	0,5	1,5	0,5
Fiabilidad	SOLUCIÓN A=SOLUCIÓN B	0,5	1,5	0,5	0,5	1,5	0,5
Seguridad	SOLUCIÓN A=SOLUCIÓN B	0,5	1,5	0,5	0,5	1,5	0,5
Costo	SOLUCIÓN B>SOLUCIÓN A	0	1	0,33	1	2	0,66
Robustez	SOLUCIÓN A>SOLUCIÓN B	1	2	0,66	0	1	0,33

2.3.3.3.2 Tabla de conclusiones

Tabla 9: Tabla de conclusiones. Sistema de colocación de las láminas de aluminio

ANÁLISIS DE CRITERIOS PONDERADOS							
CRITERIO	PRECISIÓN	FIABILIDAD	SEGURIDAD	COSTO	ROBUSTEZ	Σ	PONDERACIÓN
SOLUCIÓN A	0,167	0,117	0,117	0,044	0,089	0,534	Segunda
SOLUCIÓN B	0,167	0,117	0,117	0,089	0,044	0,534	Primera

De los resultados obtenidos de la tabla 9 se llega a la conclusión que las dos alternativas son factibles para el sistema, en esta caso se va a seleccionar la **Alternativa B**.

2.3.4 SISTEMA DE SELLADO

Es el sistema encargado de la fusión de la tapa que es una lámina de aluminio con el envase de plástico. Para cumplir con este objetivo es necesaria la presencia de calor de tal forma que al entrar en contacto el envase con la cara de la tapa puedan adherirse de manera permanente logrando así un sello hermético.

2.3.4.1 Solución A. Sellado por medio de resistencias eléctricas.

Las resistencias eléctricas transforman la energía eléctrica en calor, existen de diferente tipo, potencia y forma por lo que se las puede adaptar a cualquier sistema de sellado.

La resistencia seleccionada se ubica en el centro de un pisador de metal para generar calor y transferirlo hacia un perfil de sellado que se encuentra en la parte inferior como se puede observar en la siguiente figura. (Cruz & Villamarín, 2011)

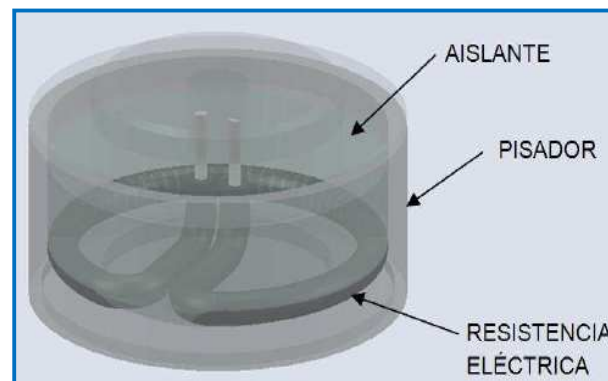


Figura 14: Sellado por medio de resistencias eléctricas.

Fuente: (Cruz & Villamarín, 2011)

Ventajas

- Facilidad de adquisición en el mercado.
- Bajo costo.
- Variedad de formas y tamaños.
- Sencillo en implementación y uso.
- La temperatura se la puede controlar fácilmente ya que no requiere de un control sofisticado.

Desventajas

- Se necesita un buen aislamiento, puesto que tiende a calentar todas las partes que están en contacto con el pisador.
- El consumo de energía eléctrica es elevado.
- Requiere tiempo de calentamiento previo de las resistencias.

2.3.4.2 Solución B. Sellado por medio de elevación de corriente eléctrica.

Este sistema se basa en el principio de los caudales eléctricos los que generalmente están compuestos por un alambre de níquel-cromo de alta resistencia devanado en forma de bobina alrededor de un núcleo de cobre. El calor desarrollado se transfiere a un metal obligándolo a calentarse sin necesidad de que sea altamente resistivo.

Como se aprecia en la figura 15 el calentamiento se realiza a un alambre de metal en el interior de preferencia níquel. Para evitar un excesivo calentamiento se utiliza un pisador de aluminio para robustecer el sistema, aislado en sus extremos con placas de baquelita. (Cruz & Villamarín, 2011)

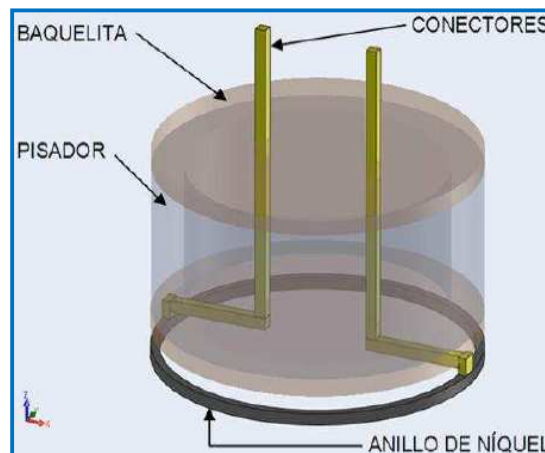


Figura 15: Sellado por elevación de corriente eléctrica

Fuente: (Cruz & Villamarín, 2011)

Ventajas

- El calentamiento se efectúa en rangos pequeños de tiempo.
- Bajo consumo de energía.
- Rangos altos de temperatura.

Desventajas

- Montaje complejo.
- Poca disponibilidad del anillo de níquel en el mercado.
- El calentamiento de la zona no es uniforme.

2.3.4.3 Evaluación del sistema de sellado

Solución A: Sellado por medio de resistencias eléctricas.

Solución B: Sellado por medio de elevación de corriente eléctrica.

2.3.4.3.1 Evaluación del peso específico por criterios

La siguiente tabla presenta la evaluación de alternativas según la precisión, fiabilidad, seguridad, costo y robustez para el sistema de sellado.

Tabla 10: Evaluación del criterio precisión, fiabilidad, seguridad, costo y robustez. Sistema de sellado

EVALUACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO POR CRITERIOS							
CRITERIO	ANÁLISIS	SOLUCIÓN A			SOLUCIÓN B		
		CALIFICACIÓN	$\Sigma+1$	PONDERACIÓN	CALIFICACIÓN	$\Sigma+1$	PONDERACIÓN
Precisión	SOLUCIÓN A>SOLUCIÓN B	1	2	0,66	0	1	0,33
Fiabilidad	SOLUCIÓN A>SOLUCIÓN B	1	2	0,66	0	1	0,33
Seguridad	SOLUCIÓN A=SOLUCIÓN B	0,5	1,5	0,5	0,5	1,5	0,5
Costo	SOLUCIÓN B=SOLUCIÓN A	0,5	1,5	0,5	0,5	1,5	0,5
Robustez	SOLUCIÓN A>SOLUCIÓN B	1	2	0,66	0	1	0,33

2.3.4.3.2 Tabla de conclusiones

Tabla 11: *Tabla de conclusiones. Sistema de sellado*

ANÁLISIS DE CRITERIOS PONDERADOS							
CRITERIO	PRECISIÓN	FIABILIDAD	SEGURIDAD	COSTO	ROBUSTEZ	Σ	PONDERACIÓN
SOLUCIÓN A	0,222	0,155	0,112	0,067	0,045	0,601	Primero
SOLUCIÓN B	0,111	0,078	0,112	0,067	0,045	0,413	Segundo

De los resultados obtenidos de la tabla 11 se llega a la conclusión que la alternativa más idónea es la **Alternativa A** para el diseño.

2.3.5 SISTEMA DE EXPULSIÓN

Es el sistema encargado de expulsar los envases terminados del plato rotatorio, para que posteriormente el operador los coloque en una gaveta.

A continuación se detallan las características técnicas y económicas que nos servirán de guía para comparar, evaluar y elegir la alternativa más adecuada para el diseño.

2.3.5.1 Solución A. Expulsión por medio de actuadores neumáticos.

Como se indica en la siguiente figura el sistema requiere de dos cilindros neumáticos y una base para el alojamiento del envase, para el correcto funcionamiento de los actuadores se requiere de dos electroválvulas para el control y operación. El cilindro 1 es el encargado de desplazar el envase fuera del plato giratorio en forma vertical y el cilindro 2 tiene como objetivo mover el envase en forma horizontal y así expulsar al vaso completamente.

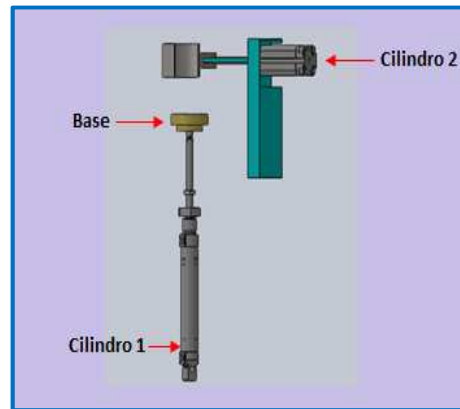


Figura 16: Cilindros neumáticos con base para le expulsión del vaso.

Ventajas

- Disponibilidad en el mercado.
- Facilidad de mantenimiento.
- Fácil montaje.
- Ocupa poco espacio.

Desventajas

- Costo de acuerdo a la elección del cilindro y electroválvula.
- Si el eje del cilindro es demasiado largo de tiene una tendencia al pandearse.

2.3.5.2 Solución B. Expulsión por medio de una guía.

En esta alternativa se va utilizar un guía tipo resbaladera en donde el vaso de acuerdo a su posición se irá desplazando hasta que llegue a la última posición en donde saldrá completamente del plato giratorio como se puede apreciar en la siguiente figura.

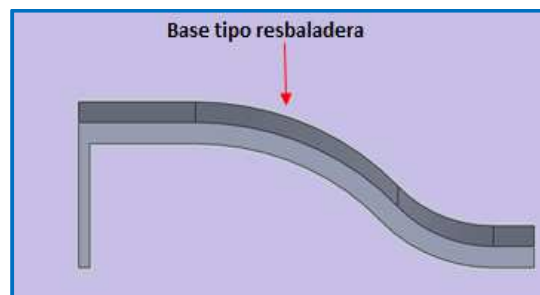


Figura 17: Base tipo resbaladera.

Ventajas

- No requiere mantenimiento
- Costo

Desventajas

- Ocupa mucho espacio.
- Sistema poco preciso.
- Montaje de mayor precisión.

2.3.5.3 Evaluación del sistema de expulsión

Solución A: Expulsión por medio de actuadores neumáticos.

Solución B: Expulsión por medio de una guía.

2.3.5.3.1 Evaluación del peso específico por criterios

La siguiente tabla presenta la evaluación de alternativas según la precisión, fiabilidad, seguridad, costo y robustez para el sistema de expulsión.

Tabla 12: Evaluación del criterio precisión, fiabilidad, seguridad, costo y robustez. Sistema de expulsión

EVALUACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO POR CRITERIOS							
CRITERIO	ANÁLISIS	SOLUCIÓN A			SOLUCIÓN B		
		CALIFICACIÓN	$\Sigma+1$	PONDERACIÓN	CALIFICACIÓN	$\Sigma+1$	PONDERACIÓN
Precisión	SOLUCIÓN A>SOLUCIÓN B	1	2	0,66	0	1	0,33
Fiabilidad	SOLUCIÓN A>SOLUCIÓN B	1	2	0,66	0	1	0,33
Seguridad	SOLUCIÓN A>SOLUCIÓN B	1	2	0,66	0	1	0,33
Costo	SOLUCIÓN A>SOLUCIÓN B	1	2	0,66	0	1	0,33
Robustez	SOLUCIÓN A>SOLUCIÓN B	1	2	0,66	0	1	0,33

2.3.5.3.2 Tabla de conclusiones

Tabla 13: *Tabla de conclusiones. Sistema de expulsión*

ANÁLISIS DE CRITERIOS PONDERADOS							
CRITERIO	PRECISIÓN	FIABILIDAD	SEGURIDAD	COSTO	ROBUSTEZ	Σ	PONDERACIÓN
SOLUCIÓN A	0,222	0,155	0,155	0,089	0,045	0,666	Primero
SOLUCIÓN B	0,111	0,078	0,078	0,044	0,022	0,333	Segundo

De los resultados obtenidos de la tabla 13 se llega a la conclusión de seleccionar la **Alternativa A** para el diseño.

2.4 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS ÓPTIMAS

En la siguiente tabla se muestra las alternativas seleccionadas para la realización de la máquina.

Tabla 14: *Alternativas para el diseño*

Sistema de desplazamiento	Desplazamiento por medio de un servomotor.
Sistema de colocación de las láminas de aluminio	Desplazamiento por medio de un actuador rotativo y un actuador lineal.
Sistema de sellado	Sellado por medio de resistencias eléctricas.
Sistema de expulsión	Expulsión por medio de actuadores neumáticos.

2.5 PROTOTIPO FINAL DE SELLADORA SEMIAUTOMÁTICA DE VASOS.

En la figura 18 se observa el prototipo final de la máquina selladora semiautomática para vasos.

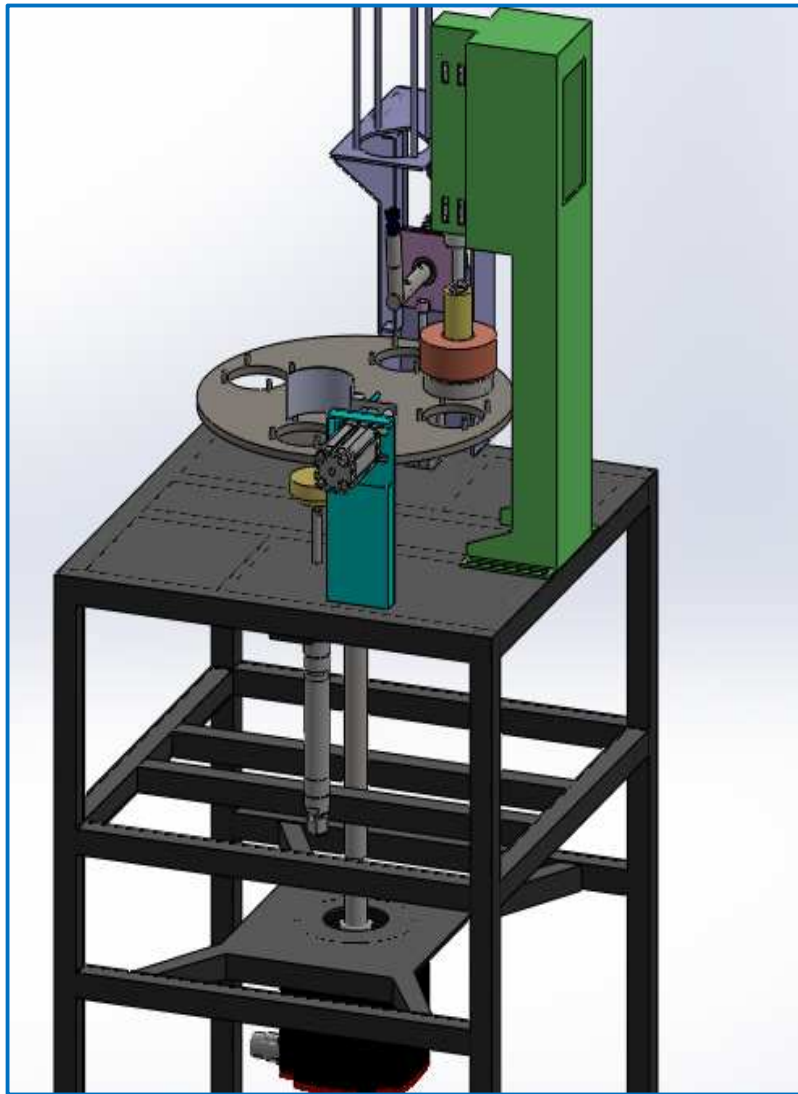


Figura 18: Prototipo máquina selladora semiautomática de vasos

CAPÍTULO III

DISEÑO MECÁNICO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES ELECTRÓNICOS

3.1 SISTEMA DE DESPLAZAMIENTO

3.1.1 DIMENSIONAMIENTO DEL ENVASE REQUERIDO

El envase que se utiliza para el envasado de productos alimenticios en pequeñas porciones como es el yogur generalmente tiene una capacidad de 200cc. Su forma y dimensiones están dadas de acuerdo a los requerimientos de la empresa.

En la siguiente figura se aprecia la forma y dimensiones del envase de 200cc que la mayoría de empresas artesanales utilizan para envasar su producto.

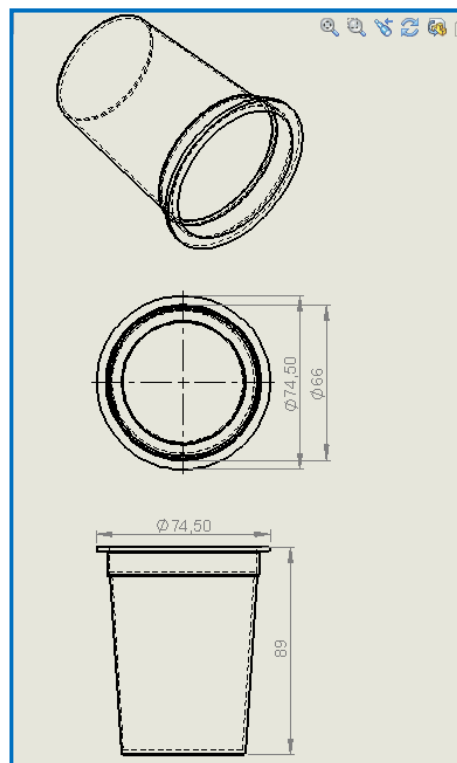


Figura 19: Forma y dimensiones del envase

3.1.2 DISEÑO DEL PLATO GIRATORIO

3.1.2.1 Función del plato rotativo

El plato rotativo es uno de los elementos más importantes debido a que en este se alojan los envases. Tiene como objetivo pasar por cuatro etapas para cumplir con todo el proceso de sellado del vaso.

3.1.2.2 Requerimientos de diseño

Los requerimientos de diseño para el plato son los siguientes:

- El plato consta de cuatro cavidades en las que van a ser alojados los envases como esta en contacto directo con el alimento debe ser construido en Acero Inoxidable AISI-304 por sus propiedades.
- Además de trasladar los envase hacia las diferentes estaciones, tiene como función soportar la fuerza ejercida por el pisador durante la etapa de sellado.
- El análisis teórico experimental realizado para determinar la fuerza que ejerce el pisador da como resultado 20kgf aproximadamente, pero se utiliza el valor validado de 25kgf obtenido de (Cruz & Villamarín, 2011).
- Es necesario verificar si el espesor seleccionado para el plato es suficiente para soportar la compresión y la flexión producida por la fuerza de sellado.
- Por la complejidad del cálculo se realiza un análisis del plato en el software Simulation SolidWorks.

En la Figura 20 se observa el esquema del plato que se propone utilizar en el diseño de esta máquina.



Figura 20: Plato giratorio en Solidworks

Las dimensiones del plato giratorio se muestran en la siguiente figura.

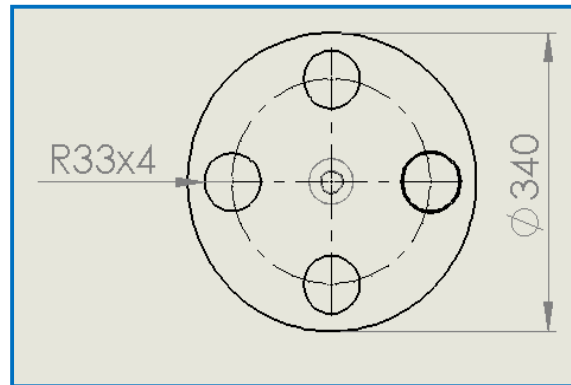


Figura 21: Dimensiones del plato giratorio

La dimensión de las cavidades del plato va en función al envase que requiere la empresa para envasar su producto. (Ver figura 19)

3.1.2.3 Propiedades del Acero Inoxidable AISI-304

Tabla 15: Propiedades de mecánicas del acero inoxidable AISI-304

Nombre de propiedad	Valor	Unidades
Coeficiente de Poisson	0,29	NA
Densidad	8000	kg/m ³
Límite elástico	2,06807e+008	N/m ²
Esfuerzo de fluencia	310000000	N/m ²
Esfuerzo máximo	620000000	N/m ²
Elongación	30% en 50	Mm
Módulo de elasticidad	200	GPa
Conductividad Térmica	0,132	$\left[\frac{W \cdot h}{Kg \cdot K} \right]$

Fuente: SolidWorks y SUMITEC. Catálogo de productos sumitec. Quito. (2012)

3.1.2.4 Análisis del plato giratorio por elementos finitos

Se realiza un análisis del plato con diferentes espesores para determinar la deformación que se produce al ejercer la fuerza de sellado y del envase lleno. En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos de acuerdo al criterio de

Von Mises los cuales ayudan a seleccionar el espesor más idóneo para esta aplicación.

Tabla 16: Resultado análisis de espesores

Espesor	Factor de seguridad	Desplazamiento (mm)	Deformación
4	2,55	0,773	0,000223
6	5,40	0,233	0,0000966
8	9,49	0,100	0,0000575

Fuente: Software Simulation SolidWorks 2012

De los resultados obtenidos en la tabla 15 se elige el espesor de 8mm ya que se tiene un máximo desplazamiento de 0,1. Además es de fácil adquisición en el mercado y su costo es reducido.

Para el análisis estático del plato giratorio se utiliza el SolidWorks. La carga que ejerce el sistema de sellado y el envase lleno está distribuida en un solo punto como se puede observar en la siguiente figura.

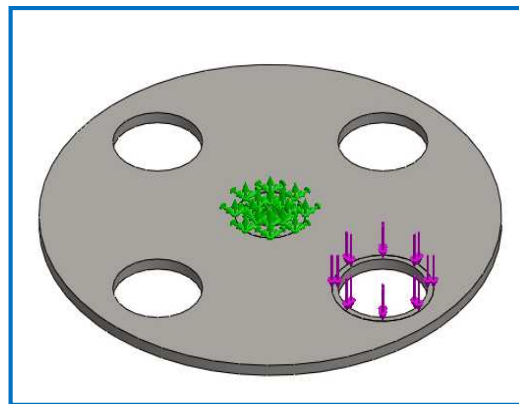
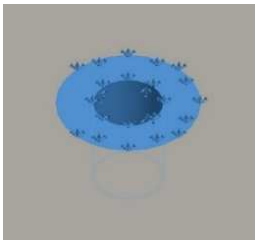


Figura 22: Carga aplicada en un punto del plato giratorio

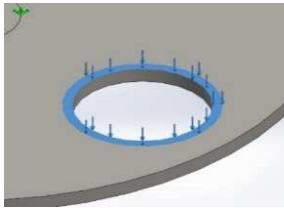
En tabla 17 y 18 se observa las sujeciones y cargas respectivamente aplicadas en el plato giratorio.

Tabla 17: Sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-3		Entidades: 2 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas Resultantes				
Componente	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción N	-0.0372391	246.345	-0.0640945	246.345
Momento de reacción N.m	0	0	0	0

Fuente: Software Simulation SolidWorks 2012

Tabla 18: Cargas

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 248 N		

Fuente: Software Simulation SolidWorks 2012

En la siguiente tabla podemos observar los resultados del factor de seguridad con relación a la tensión de Von Mises siendo un valor mínimo de 9, este criterio suele utilizarse para comprobar fallos de límite elástico de materiales dúctiles.

Tabla 19: Resultado del Factor de seguridad

Nombre	Tipo	Mínimo	Máximo
Factor de seguridad 1	Tensión de von Mises máximo.	9.48784 Nodo: 19346	99321.3 Nodo: 9528

Fuente: Software Simulation SolidWorks 2012

En la figura 23 se puede observar que el trazado no tiene ninguna parte en color rojo, lo que indica que todas las ubicaciones son seguras.

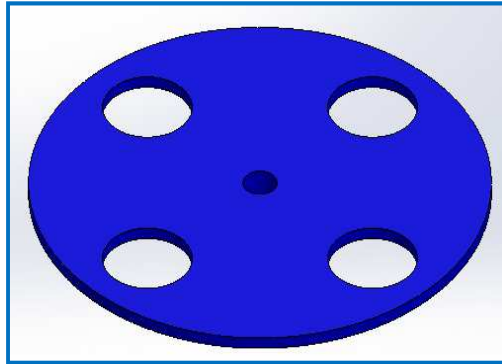


Figura 23: Factor de seguridad del plato con respecto a Von Mises

En la siguiente tabla se muestra el resultado de la tensión mínima y máxima aplicada al plato giratorio.

Tabla 20: Resultado de la distribución de tensiones

Nombre	Tipo	Mínimo	Máximo
Tensiones 1	VON: Tensión de Von Mises	2082.2 N/m ² Nodo: 9528	2.17971e+007 N/m ² Nodo: 19346

Fuente: Software Simulation SolidWorks 2012

En la figura 24 se observa claramente que la tensión máxima que experimenta el plato es de 2.17971e+007 N/m² y es menor a su límite elástico razón por la cual el elemento no presentará una deformación considerable durante su etapa de trabajo.

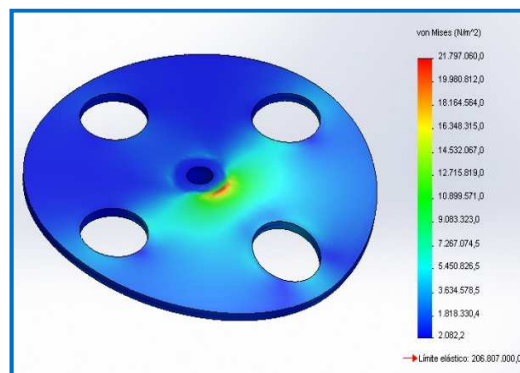


Figura 24: Análisis estático. Esfuerzo de Tensión de Von Mises

Los desplazamientos del material producidos en el plato se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 21: Resultado de la distribución de desplazamientos

Nombre	Tipo	Mínimo	Máximo
Desplazamientos 1	URES: Desplazamiento resultante	0 mm Nodo: 1	0.100136 mm Nodo: 420

Fuente: Software Simulation SolidWorks 2012

Como se observa en la siguiente figura los resultados obtenidos no son significativos ya que el desplazamiento máximo del elemento es de 0.100 mm el mismo que se encuentra en el extremo del plato.

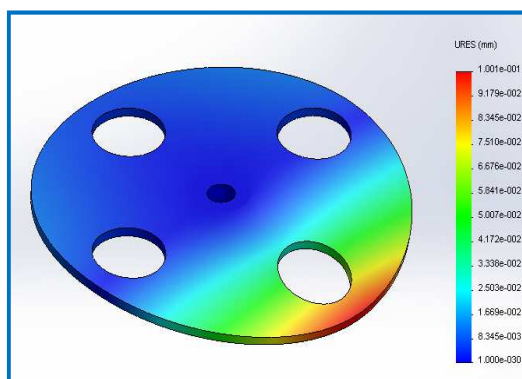


Figura 25: Resultado de la distribución de desplazamientos

Las deformaciones producidas en el plato giratorio se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 22: Resultado de la deformación

Nombre	Tipo	Mínimo	Máximo
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	3.27115e-008 Elemento: 7844	5.75172e-005 Elemento: 2434

Fuente: Software Simulation SolidWorks 2012

En la siguiente figura se muestra el resultado de la deformación máxima producida en el elemento y es de 0,000058 por lo que se puede asumir que el espesor seleccionado para el plato es aceptable.

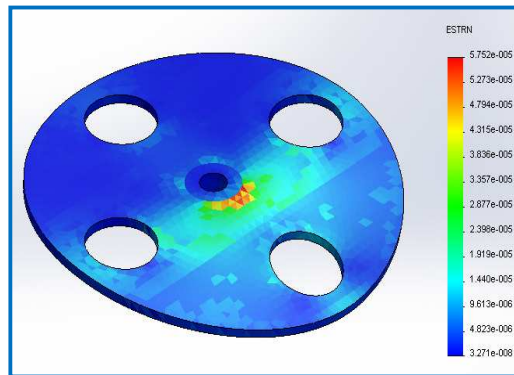


Figura 26: Resultado de la deformación

Con el análisis de convergencia realizado en el software Simulation SolidWorks 2012, se llega a la conclusión que mientras la malla se va haciendo más fina el esfuerzo de tensión de Von Mises va aumentando a un valor máximo de 54360160 N/m² como se muestra en siguiente figura.

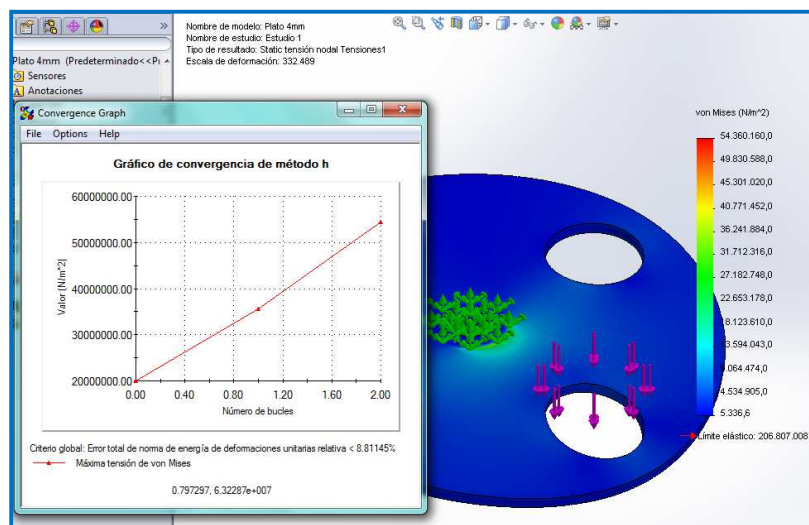


Figura 27: Análisis de convergencia del plato giratorio

Se emplea la siguiente ecuación para determinar el factor de seguridad del elemento:

$$n = \frac{S_y}{\sigma_{max}} \quad \text{Ecuación 1}$$

En donde:

n= factor de seguridad

S_y = Resistencia a la fluencia [Pa]

σ_{max} = Esfuerzo máximo de tensión [Pa]

$$n = \frac{310000000 Pa}{54360160 Pa}$$

$$n = 5,7$$

Siendo un factor de seguridad de 5,7 se deduce que el elemento es idóneo para cumplir con su actividad.

3.1.2.5 Análisis del plato giratorio por fatiga

Se realiza el análisis dinámico en el plato giratorio para evitar fallas por fatiga, mediante tablas se determina los diferentes factores de Marin los que influyen en el límite de resistencia a la fatiga.

Como se conoce el material a utilizar, se procede a calcular el límite de la resistencia a la fatiga: (Budinas R., 2008)

$$S'_e = 0,5 S_{ut} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

S'_e = Límite de resistencia a la fatiga

S_{ut} = Resistencia a la tensión mínima del material.

Resolviendo la ecuación anterior:

$$S'_e = 0,5 (620000000)$$

$$S'_e = 310 MPa$$

Según el Libro Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley se menciona que Marín identificó factores que cuantifican los efectos de la condición superficial, el tamaño, la carga, la temperatura y varios otros puntos. Por lo tanto la ecuación para determinar el límite de resistencia a la fatiga (S_e) se escribe: (Budinas R., 2008)

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e \quad \text{Ecuación 3}$$

En donde:

k_a = Factor de modificación de la condición superficial

k_b = Factor de modificación del tamaño

k_c = Factor de modificación de la carga

k_d = Factor de modificación de la temperatura

k_e = Factor de confiabilidad

k_f = Factor de modificación de efectos varios

S'_e = Límite de resistencia a la Fatiga

S_e = Límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica de una parte de máquina en la geometría y condición de uso.

Para determinar el factor de modificación de la condición superficial (K_a), se toma en cuenta el acabado superficial de la pieza mostrados en la siguiente tabla.

Tabla 23: *Parámetros en el factor de la condición superficial de Marín*

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	S_{ut} kpsi	S_{ut} MPa	
Esmerilado	1,34	1,58	-0,085
Maquinado o laminado en frío	2,70	4,51	-0,265
Laminado en caliente	14,40	57,7	-0,718
Como sale se forja	39,9	272	-0,995

Fuente: Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley. (Budinas R., 2008)

El factor de modificación de la condición superficial se encuentra empleando la siguiente ecuación. (Budinas R., 2008)

$$k_a = aS_{ut}^b \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

S_{ut} = Resistencia a la tensión mínima del material

Los factores a y b se encuentran en la tabla 23 de acuerdo al acabado superficial del elemento.

Resolviendo y reemplazando los valores en la fórmula anterior:

$$k_a = 4,51MPa \times (620 MPa)^{-0,265}$$

$$k_a = 0,82$$

Para calcular el factor de tamaño (K_b) se utiliza la siguiente expresión ya que el diámetro del plato rotativo varía entre $2,79 \leq d \leq 51mm$. (Budinas R., 2008)

$$k_b = 1,24d^{-0,107}$$

Ecuación 5

En donde:

d = Diámetro del plato rotativo.

Sustituyendo valores en la ecuación anterior:

$$k_b = 1,24 \times (340\text{mm})^{-0,107}$$

$$k_b = 0,66$$

Como el elemento está sometido una carga de flexión el valor del factor de modificación de carga es 1. (Budinas R., 2008)

$$k_c = 1$$

Ecuación 6

El factor de modificación de temperatura (k_d) tiene un valor de 1 tomando en cuenta que la máquina selladora va a trabajar a una temperatura de 20°C. (Budinas R., 2008)

$$k_d = 1$$

Ecuación 7

Para determinar el valor del factor de confiabilidad se emplea la tabla 24 que se muestra a continuación.

Tabla 24: Factores de confiabilidad k_e

Confiabilidad %	Variación de transformación z_a	Factor de confiabilidad k_e
50	0	1,000
90	1,288	0,897
95	1,645	0,868
99	2,326	0,814
99,9	3,091	0,753
99,99	3,719	0,702
99,999	4,265	0,659
99,9999	4,753	0,620

Fuente: Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley. (Budinas R., 2008)

El valor de k_e se establece con un porcentaje de confiabilidad del 99%. De acuerdo a la tabla anterior:

$$k_e = 0,814$$

El valor de k_f será igual a 1 ya que la pieza no va a trabajar en altas temperaturas ni va a estar sometida a recubrimientos electrolíticos.

$$k_f = 1$$

Entonces para encontrar el valor del límite de resistencia a la fatiga se reemplaza los valores obtenidos en la ecuación 3.

$$S_e = 0,82 \times 0,66 \times 1 \times 1 \times 0,814 \times 1 \times 310 \text{ MPa}$$

$$S_e = 136566408 \text{ Pa}$$

Para el cálculo de las componentes de los esfuerzos medios y de amplitud del elemento se toma en cuenta el valor del esfuerzo máximo de compresión $\sigma_{max} = 54360160 \text{ Pa}$.

El esfuerzo mínimo es cero ya que es un esfuerzo a compresión repetido en una dirección como se observa en la siguiente figura.

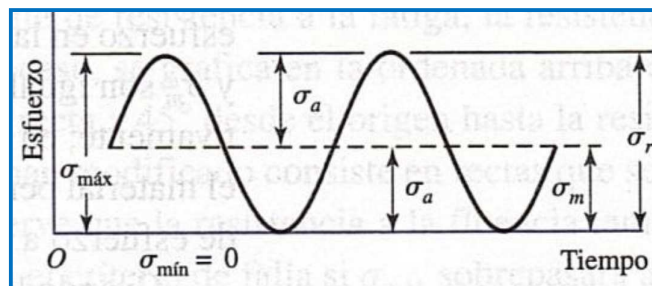


Figura 28: Esfuerzo repetido

Fuente: Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley (Budinas R., 2008)

Para calcular el esfuerzo medio y de amplitud se utilizan las siguientes ecuaciones:

Esfuerzo medio: (Budinas R., 2008)

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} \quad \text{Ecuación 8}$$

Esfuerzo de amplitud: (Budinas R., 2008)

$$\sigma_a = \left| \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} \right| \quad \text{Ecuación 9}$$

En donde:

σ_m = Componente esfuerzo medio

σ_{max} = Esfuerzo máximo

σ_{min} = Esfuerzo mínimo

σ_a = Componente esfuerzo de amplitud

Reemplazando valores en las ecuaciones anteriores:

$$\sigma_m = \frac{54360160 + 0}{2}$$

$$\sigma_m = 27180080 \text{ Pa}$$

$$\sigma_a = \frac{54360160 - 0}{2}$$

$$\sigma_a = 27180080 \text{ Pa}$$

Se toma en cuenta el criterio de Goodman modificado para calcular el factor de seguridad y se emplea el siguiente criterio: (Budinas R., 2008)

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n} \quad \text{Si } \sigma_m \geq 0 \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde:

S_{ut} = Resistencia a la tensión mínima del material.

S_e = Límite de Resistencia a la fatiga en la ubicación crítica de una parte de máquina en la geometría y condición de uso.

Despejando y reemplazando los valores en ecuación 10:

$$n = \frac{1}{\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}}}$$

$$n = \frac{1}{\frac{27180080}{136566408} + \frac{27180080}{620000000}}$$

$$n = \frac{1}{0,199 + 0,044}$$

$$n = 4,11$$

El factor de seguridad encontrado da como resultado que el espesor seleccionado para el plato giratorio es adecuado para una vida infinita.

3.1.3 SELECCIÓN DEL SERVOMOTOR

El motor es el encargado de hacer girar al plato y posicionarlo en cada estación de trabajo.

Para encontrar el servomotor adecuado, éste debe vencer la cantidad de inercia producida por el eje, el plato giratorio y los envases llenos de yogur.

El momento se determina empleando la siguiente ecuación:

$$\Sigma M = \Sigma I \times \alpha \quad \text{Ecuación 11}$$

En donde:

M= Momento [N.m].

I= Inercia de los elementos del sistema [$kg \cdot m^2$].

α = Aceleración angular [$\frac{rad}{s^2}$].

Para resolver la ecuación anterior, primero se determina la sumatoria de las inercias de los elementos que conforman el sistema:

$$\Sigma I = I_{eje} + I_{plato} + I_{vyogurT} \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde:

I_{eje} = Inercia del eje [$kg \cdot m^2$].

I_{plato} = Inercia del plato giratorio [$kg \cdot m^2$].

I_{plato} = Inercia del vaso de yogur [$kg \cdot m^2$].

3.1.3.1 Inercia del eje

Para calcular la inercia del eje, se asume un diámetro de 1 pulgada y el material de acero inoxidable AISI 304, utilizando la siguiente fórmula: (MERIAN, p. 443)

$$I_{eje} = \frac{\pi \times d_{eje}^4 \times L_{eje} \times \rho}{32} \quad \text{Ecuación 13}$$

En donde:

d_{eje} = Diámetro del eje [m].

L_{eje} = Longitud del eje [m].

ρ = Densidad del acero inoxidable AISI 304 $\left[\frac{Kg}{m^3}\right]$.

Reemplazando:

$$I_{eje} = \frac{\pi \times (0,0254 \text{ m})^4 \times (0,45 \text{ m}) \times \left(8000 \frac{Kg}{m^3}\right)}{32}$$

$$I_{eje} = 0,00015 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

3.1.3.2 Inercia del plato giratorio

Se puede considerar al plato giratorio como un disco circular delgado, para calcular su inercia se utiliza la siguiente ecuación. (MECÁNICA DE SOLIDOS, 2012)

$$I_{plato} = m \times \frac{r^2}{2} \quad \text{Ecuación 14}$$

Donde:

m = Masa del plato giratorio [m].

r = radio del plato [m].

Se utiliza la ecuación 15 para calcular la masa del plato giratorio:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{Ecuación 15}$$

$$m = V \times \rho$$

$$m = \pi \times r^2 \times e \times \rho$$

En donde:

m = masa del plato giratorio [Kg].

r = Radio del plato giratorio [m].

e = Espesor del plato giratorio [m].

ρ = Densidad del acero inoxidable AISI 304 $\left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}\right]$.

Reemplazando:

$$m_{\text{plato}} = \pi \times (0,17 \text{ m})^2 \times (0,008 \text{ m}) \times 8000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$m_{\text{plato}} = 5,81 \text{ Kg}$$

Como el plato tiene 4 agujeros se resta la masa de los mismos.

$$m_{\text{agujeros}} = \pi \times (0,033 \text{ m})^2 \times (0,008 \text{ m}) \times 8000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$m_{\text{agujeros}} = 0,22 \text{ Kg}$$

$$m_{\text{Tagujeros}} = 4 \times 0,22 \text{ Kg}$$

$$m_{\text{Tagujeros}} = 0,88 \text{ Kg}$$

Entonces la masa total del plato giratorio es:

$$m_{\text{Tplato}} = m_{\text{plato}} - m_{\text{Tagujeros}}$$

$$m_{\text{Tplato}} = 5,81 - 0,88$$

$$m_{\text{Tplato}} = 4,93 \text{ Kg}$$

Sustituyendo la ecuación 14:

$$I_{\text{plato}} = 4,93 \text{ Kg} \times \frac{(0,17)^2}{2}$$

$$I_{\text{plato}} = 0,07 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

3.1.3.3 Inercia del vaso de yogur

Para calcular la inercia de un vaso de yogur, se asume una superficie cilíndrica y se utiliza la fórmula 13:

$$I_{vyogur} = \frac{\pi \times d_{vyogur}^4 \times L_{vyogurt} \times \rho_{vyogur}}{32}$$

En donde:

d_{vyogur} = Diámetro del envase de yogur [m].

$L_{vyogurt}$ = Longitud del envase de yogur [m].

ρ = Densidad del yogur $\left[\frac{Kg}{m^3}\right]$.

Reemplazando:

$$I_{vyogur} = \frac{\pi \times (0,066 \text{ m})^4 \times (0,089 \text{ m}) \times \left(1030 \frac{Kg}{m^3}\right)}{32}$$

$$I_{vyogur} = 0,00017 \text{ Kg} \cdot \text{m}^2$$

Como el envase no se encuentra en el eje de referencia, se utiliza la teoría de ejes paralelos, siendo la siguiente: (MERIAN, p. 483)

$$I'_{vyogur} = I_{vyogur} + md^2 \quad \text{Ecuación 16}$$

En donde:

I'_{vyogur} = Inercia del vaso de yogur con respecto al eje de referencia $[Kg \cdot m^2]$.

I_{vyogur} = Inercia del vaso de yogur con respecto a su propio eje $[Kg \cdot m^2]$.

m = masa del envase lleno [Kg].

d = distancia entre los ejes paralelos [m].

$$I'_{vyogur} = 0,00017 + (0,314)(0,117)^2$$

$$I'_{vyogur} = 0,0045 \text{ Kg} \cdot \text{m}^2$$

Se analiza cuando la máquina está a carga completa es decir con las 4 cavidades llenas.

$$I_{vyogurT} = (0,0045) \times 4$$

$$I_{vyogurT} = 0,0179 \text{ Kg} \cdot \text{m}^2$$

Finalmente reemplazando los valores obtenidos en la ecuación 12:

$$\Sigma I = 0,00015 + 0,07 + 0,0179$$

$$\Sigma I = 0,0881 \text{ Kg} \cdot \text{m}^2$$

Para calcular la velocidad angular con la que gira el elemento, se utiliza la siguiente ecuación:

$$\omega = \frac{\theta}{t} \quad \text{Ecuación 17}$$

En donde:

ω = velocidad angular $\left[\frac{\text{rad}}{\text{s}}\right]$.

θ = desplazamiento angular [rad].

t = tiempo [s].

Reemplazando:

Como el plato se desplaza 90° en un tiempo aproximado de 3 segundos y en cada estación espera 10 segundos.

Transformando de grados a radianes el desplazamiento angular se tiene:

$$\theta = \frac{90^\circ \pi \text{rad}}{180} \quad \text{Ecuación 18}$$

$$\theta = 1,571 \text{ rad}$$

Reemplazando en la ecuación 17:

$$\omega = \frac{1,571 \text{ rad}}{3 \text{ s}}$$

$$\omega = 0,628 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$\omega = 6 \text{ rpm}$$

Para calcular la aceleración angular se emplea la siguiente fórmula:

$$\alpha = \frac{\omega_f - \omega_i}{t} \quad \text{Ecuación 19}$$

En donde la velocidad angular inicial = 0, ya que el movimiento se inicia desde el reposo.

Donde:

α = aceleración angular $\left[\frac{rad}{s^2}\right]$

ω_f = velocidad angular final $\left[\frac{rad}{s}\right]$.

ω_i = velocidad angular inicial $\left[\frac{rad}{s}\right]$.

Sustituyendo valores en la ecuación:

Como el tiempo en que se demora el servomotor para llegar a su aceleración angular es instantánea se utiliza el siguiente valor:

$$\alpha = \frac{0,628 - 0}{0,06}$$

$$\alpha = 10,47 \frac{rad}{s^2}$$

Reemplazando en la ecuación 11:

$$M = 0,0881 \times 10,47$$

$$M = 0,92 \text{ N.m}$$

Debido a cargas externas ya sean voluntarias o involuntarias y amigables con el medio ambiente se reutiliza el servomotor que se detalla a continuación:

Tabla 25: Datos técnicos servomotor

Tipo	Características
Motor	AC Servomotor
Marca	KINKO
Modelo	SMH80S-0075-30AAK-3LKH
Tensión	220 VAC
Rango de potencia	750 W
Corriente	3,9 A

Rango de velocidad		3000 rpm
Torque	Nominal	2,39 Nm
	Máximo	7,17 Nm
	Parada	2,63 Nm

Fuente: Manual de usuario servo (KINCO, 2013)

El servo motor que se detalla en la tabla 25 tiene un driver que se lo configura por medio de comandos para controlar al equipo.

En la siguiente tabla se observa las características técnicas del servo driver que se va a emplear de acuerdo a las especificaciones técnicas del servomotor:

Tabla 26: Datos técnicos servo driver

Tipo	Características
Driver	Servo driver
Marca	KINKO
Modelo	CD 420
Tensión	220 VAC
Entradas Digitales	7
Entradas Analógicas	2
Salidas de corriente 100[mA]	4
Salida de 24 [VDC] y 100[mA]	2
Entrada/Salida encoder	1/1

Fuente: Manual de usuario servo (KINCO, 2013)

3.1.4 DISEÑO DEL EJE

3.1.4.1 Función del eje

El eje de la máquina selladora tiene como objetivo mover al plato. A través del eje se transmite directamente la potencia del servomotor hacia el plato giratorio.

3.1.4.2 Requerimientos de diseño

- El eje será construido en Acero Inoxidable AISI 304.
- En el diseño del eje se debe tener en cuenta todas las cargas que va soportar.

- El eje está sometido a una carga de compresión y torsión.

Para realizar el diseño estático del eje se realiza el diagrama de cuerpo libre en donde se indica todas las reacciones y momentos que intervienen en el mismo.

La fuerza aplicada al eje es:

$$F_v = 3,08 \text{ [N]}$$

$$F_s = 245,25 \text{ [N]}$$

$$F_T = F_v + F_s$$

$$F_T = 248,33 \text{ [N]}$$

Donde:

F_v = Fuerza aplicada del vaso [N].

F_s = Fuerza de sellado [N].

F_T = Fuerza total [N].

A continuación se muestra el diagrama de las fuerzas que actúan en el eje.

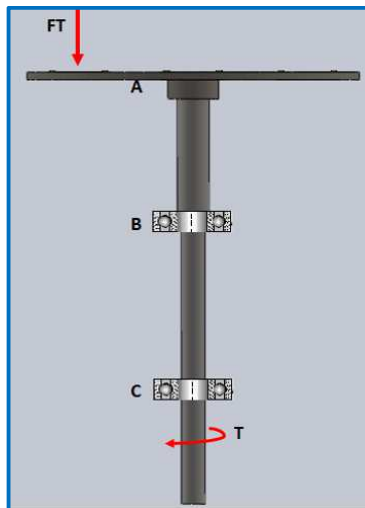


Figura 29: Diagrama de fuerzas del eje

En la figura 30 se observa el diagrama de cuerpo libre de las fuerzas y reacciones que se producen en el eje.

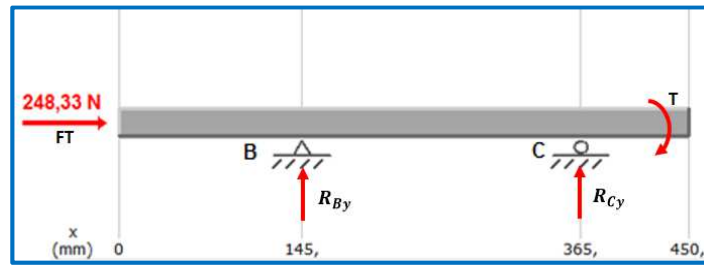


Figura 30: Diagrama de cuerpo libre

Sumatoria de fuerzas en x para determinar las reacciones en el punto B.

$$\Sigma F_x = 0$$

$$F_T - R_{Bx} = 0$$

$$F_T = R_{Bx}$$

$$R_{Bx} = 248,33 \text{ N}$$

En la siguiente figura se observa el diagrama en el eje x de la fuerza axial.

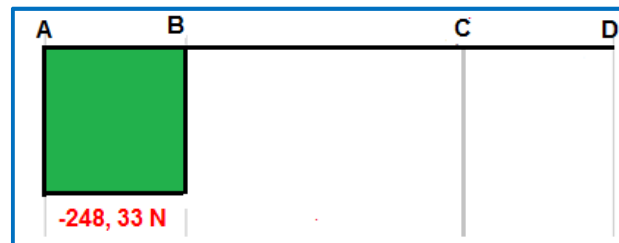


Figura 31: Diagrama de fuerza axial

La fuerza total genera un momento flector y se calcula con la siguiente ecuación:

$$M_{FF} = F_T \times \left(\frac{D}{2}\right) \quad \text{Ecuación 20}$$

Donde:

M_{FF} = Momento flector [N.m].

F_T = Fuerza total [N].

D = Diámetro del plato giratorio [m].

Reemplazando la ecuación anterior.

$$M_{FF} = 248,33 \times \left(\frac{0,34}{2}\right)$$

$$M_{FF} = 42,22 \text{ N.m}$$

Para determinar las reacciones que producen los rodamientos en el eje y, se realiza sumatoria de fuerzas y momentos:

$$\Sigma F_y = 0$$

$$R_{By} + R_{Cy} = 0$$

$$R_{Cy} = -R_{By}$$

$$\curvearrowright \Sigma M_{Axy} = 0$$

$$(0,22 \times R_{Cy}) - M_{FF} = 0$$

$$R_{Cy} = \frac{42,22}{0,22}$$

$$R_{Cy} = 191,91 \text{ [N]}$$

$$R_{By} = -191,91 \text{ [N]}$$

En la siguiente figura se muestra el diagrama de fuerza cortante en el eje y.

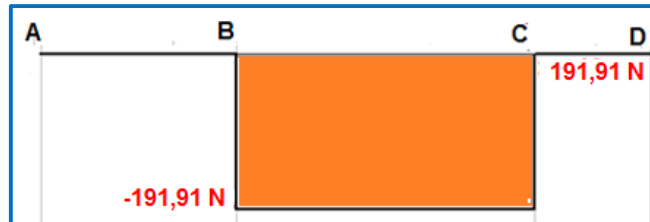


Figura 32: Diagrama de fuerza cortante en y

Se observa en la figura 32 el diagrama de momento flector máximo que se produce en el eje.

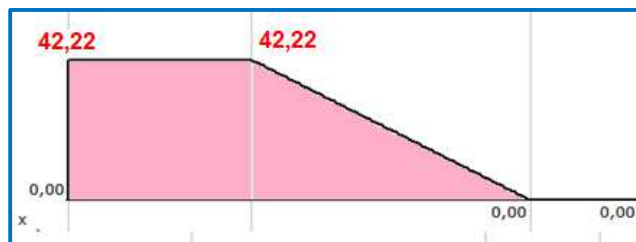


Figura 33: Diagrama de momento flector xy

En la figura se muestra el diagrama de momento torsor.

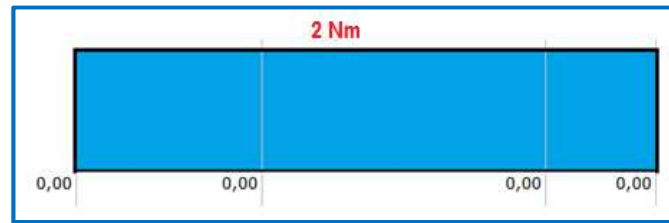


Figura 34: Diagrama de momento torsor

Como la sección más cargada se encuentra en el punto B. Para el diseño del eje interviene la fuerza axial, momento flector y torque se utiliza la ecuación de Von Mises para el análisis estático con la que se puede determinar el diámetro. (Tecnológica, 2010)

$$\left(\frac{S_y \pi}{4N}\right)^2 d^6 - (F^2)d^2 - (16MF)d - (64M^2 + 48T^2) = 0 \quad \text{Ecuación 21}$$

En donde:

S_y = Esfuerzo de fluencia del material AISI 304 $\left[\frac{N}{m^2}\right]$.

F= Fuerza axial de compresión [N].

M= Momento flector [N.m].

T= Par de torsión [N.m]

Reemplazando la formula anterior:

$$\left[\frac{(310 \times 10^6)\pi}{4 \times 3}\right]^2 d^6 - [(248,33)^2]d^2 - [16(42,22 \times 248,33)]d - [64(42,22)^2 + 48(2)^2] = 0$$

Resolviendo la ecuación mediante software MATHCAD se tiene:

$$d = 0,0162 \text{ m}$$

$$d = 16,2 \text{ mm}$$

El diámetro mínimo del eje es de 16mm, se selecciona el diámetro de 1[in] es decir 25,4 [mm] por la facilidad de adquisición en el mercado.

3.1.4.3 Análisis del eje por fatiga

Para analizar la variación que sufre el esfuerzo con relación al tiempo se realiza el diseño del eje de manera dinámica.

En la siguiente figura se observa el cambio que tiene el esfuerzo durante el transcurso del tiempo.

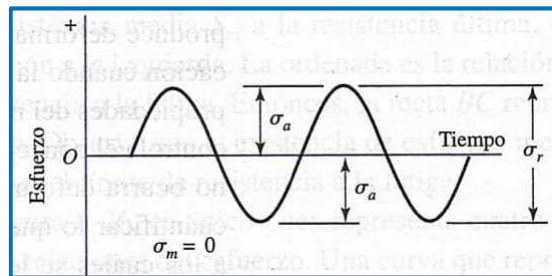


Figura 35: Diagrama esfuerzo-tiempo

Fuente: Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley (Budinas R., 2008)

En la sección anterior se obtuvieron los siguientes resultados:

$$d=25,4 \text{ [mm]}$$

$$M= 42,22 \text{ [N.m]}$$

$$T= 2 \text{ [N.m]}$$

Con estos datos y con las siguientes ecuaciones se procede a calcular los esfuerzos. Como la carga axial es relativamente pequeña se puede despreciar para este análisis ya que predomina la flexión y torsión.

Los esfuerzos cortantes máximo se determinan mediante la ecuación:

$$\tau = \frac{16T}{\pi d^3} \quad \text{Ecuación 22}$$

Esfuerzo cortante medio

$$\tau_{xym} = \frac{16 \times 2}{\pi(0,0254)^3}$$

$$\tau_{xym} = 621582,75 \text{ [Pa]}$$

Esfuerzo cortante alternante

$$\tau_{xya} = \frac{16 \times 0}{\pi(0,0254)^3}$$

$$\tau_{xya} = 0$$

Para determinar los esfuerzos, calcularemos la componente media y la componente alternativa del esfuerzo producido por flexión con la siguiente ecuación:

$$\sigma = \frac{32M}{\pi d^3} \quad \text{Ecuación 23}$$

Esfuerzo de flexión medio

$$\sigma_{xm} = \frac{32 \times 0}{\pi(0,0254)^3}$$

$$\sigma_{xm} = 0$$

Esfuerzo de flexión alternante

$$\sigma_{xa} = \frac{32 \times (42,22)}{\pi(0,0254)^3}$$

$$\sigma_{xa} = 26243223,84 \text{ [Pa]}$$

Para diseñar el eje con el método de resistencia a la fatiga y como se conoce el material a utilizar, se procede a calcular el límite de la resistencia a la fatiga:

$$S'_e = 0,5 S_{ut}$$

Donde:

S'_e = Límite de resistencia a la fatiga

S_{ut} = Resistencia a la tensión mínima del material.

Resolviendo la ecuación anterior:

$$S'_e = 0,5 (62000000)$$

$$S'_e = 310 \text{ MPa}$$

Como se menciona anteriormente la ecuación para determinar el límite de resistencia a la fatiga (S_e) es:

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e$$

Para determinar el factor de modificación de la condición superficial (K_a), se toma en cuenta el acabado superficial del eje mostrados en la tabla 23.

Se utiliza el valor de una superficie maquinado y se determina el factor de modificación de la condición superficial.

$$k_a = aS_{ut}^b$$

$$k_a = 4,51MPa \times (620 MPa)^{-0,265}$$

$$k_a = 0,82$$

Para calcular el factor de tamaño (k_b) se utiliza la ecuación 5 ya que el diámetro del eje varía entre $2,79 \leq d \leq 51mm$.

$$k_b = 1,24d^{-0,107}$$

$$k_b = 0,88$$

Como el elemento está sometido una carga axial el valor del factor de modificación de carga es 0,85.

$$k_c = 0,85$$

El factor de modificación de temperatura (k_d) tiene un valor de 1 ya que el eje no va a trabajar a una temperatura mayor de 20°C.

$$k_d = 1$$

Para determinar el valor del factor de confiabilidad se emplea la tabla 24 y se trabaja con una confiabilidad del 99%.

$$k_e = 0,814$$

$$k_f = 1$$

Reemplazando los valores obtenidos:

$$S_e = 0,82 \times 0,88 \times 0,85 \times 1 \times 0,814 \times 1 \times 310 [MPa]$$

$$S_e = 154775262,4 [Pa]$$

Como en el eje existen discontinuidades geométricas el factor de efectos varios (k_f) se determina de la siguiente manera:

$$k_f = 1 + q(k_t - 1) \quad \text{Ecuación 24}$$

$$q = \frac{1}{\left(1 + \frac{\sqrt{a}}{\sqrt{r}}\right)} \quad \text{Ecuación 25}$$

De las figuras del anexo A se obtiene los valores de k_t , k_{ts} y k_{tf} . Además estos coeficientes se calculan asumiendo el radio de redondeo y el diámetro mayor del escalón.

$$\frac{D}{d} = \frac{32 \text{ mm}}{25,4 \text{ mm}} = 1,26$$

$$\frac{r}{d} = \frac{3 \text{ mm}}{25,4 \text{ mm}} = 0,1$$

$$k_t = 1,9$$

$$k_{ts} = 1,45$$

$$k_{tf} = 1,7$$

De acuerdo a la siguiente tabla se determinan los valores de \sqrt{a} .

Tabla 27: Constante de Nueber para aceros

S_u (MPa)	\sqrt{a}	
	Carga axial y flexion (mm)	Torsión
345	0,66	0,47
380	0,59	0,44
415	0,54	0,40
485	0,47	0,35
550	0,40	0,31
620	0,35	0,28
690	0,31	0,25

Fuente: Cargas variables teoría de fatiga. (Tecnológica, 2010, p. 24)

Para carga de flexión:

$$\sqrt{a_{(M)}} = 0,35 \text{ mm}$$

$$q_{(M)} = \frac{1}{\left(1 + \frac{\sqrt{a}}{\sqrt{r}}\right)}$$

$$q_{(M)} = \frac{1}{\left(1 + \frac{0,35}{\sqrt{3}}\right)}$$

$$q_{(M)} = 0,83$$

Torsión:

$$\sqrt{a_{(T)}} = 0,28 \text{ mm}$$

$$q_{(T)} = \frac{1}{\left(1 + \frac{0,28}{\sqrt{3}}\right)}$$

$$q_{(T)} = 0,86$$

$$k_{f(T)} = 1 + 0,86 \times (1,45 - 1)$$

$$k_{f(T)} = 1,38 = k_{fs}$$

$$k_{f(M)} = 1 + 0,83 \times (1,7 - 1)$$

$$k_{f(M)} = 1,58 = k_f$$

Reemplazando valores en la siguiente ecuación:

$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi d^3} \left\{ \frac{1}{S_e} \left[4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2 \right]^{1/2} + \frac{1}{S_{ut}} \left[4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2 \right]^{1/2} \right\} \text{Ecuación 26}$$

$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi d^3} \left\{ \frac{1}{S_e} \left[4(K_f M_a)^2 \right]^{1/2} + \frac{1}{S_{ut}} \left[3(K_{fs} T_m)^2 \right]^{1/2} \right\}$$

$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi(0,0254)^3} \left\{ \frac{1}{154775262,4} \left[4(1,58 \times 42,22)^2 \right]^{1/2} + \frac{1}{620000000} \left[3(1,38 \times 2)^2 \right]^{1/2} \right\}$$

$$\frac{1}{n} = 0,27$$

$$n = 3,7$$

El valor del factor de seguridad es aceptable para vida infinita del eje y va soportar todas las cargas al que se encuentre sometido.

De acuerdo al Libro de Shigley los criterios de Gerber y Goodman modificado no protegen contra la fluencia, por lo que se requiere una verificación adicional de este aspecto. Para tal propósito, se calcula el esfuerzo máximo de von Mises.

$$\sigma'_{max} = \left[\left(\frac{32K_f(M_m + M_a)}{\pi d^3} \right)^2 + 3 \left(\frac{16K_{fs}(T_m + T_a)}{\pi d^3} \right)^2 \right]^{1/2} \text{Ecuación 27}$$

$$\sigma'_{max} = \left[\left(\frac{32 \times 1,58 \times (0 + 42,22)}{\pi(0,0254)^3} \right)^2 + 3 \left(\frac{16 \times 1,38 \times (2 + 0)}{\pi(0,0254)^3} \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$\sigma'_{max} = 41,50 \text{ [MPa]}$$

Para verificar la fluencia este esfuerzo se compara con la resistencia a la fluencia.

$$n_y = \frac{S_y}{\sigma'_{max}}$$

$$n_y = \frac{310 \text{ [MPa]}}{41,50 \text{ [MPa]}}$$

$$n_y = 7,47$$

3.1.5 SELECCIÓN DE RODAMIENTOS

Para cargas combinadas, se usan principalmente los rodamientos de una y de dos hileras de bolas de contacto angular y los rodamientos de una hilera de rodillos cónicos, aunque los rodamientos rígidos de bolas y los rodamientos de rodillos a rótula también son adecuados. (SKF, s.f.)

Para la selección de un rodamiento se toma en cuenta las siguientes características:

- Facilidad de adquisición en el mercado
- Cargas al que va estar sometido
- Diámetro del eje
- Espacio disponible en la máquina
- Condiciones de funcionamiento

Con los datos que se muestran a continuación se procede a realizar una serie de cálculos para escoger el rodamiento adecuado.

$$R = \sqrt{R_{Bx}^2 + R_{By}^2}$$

$$R = \sqrt{(248,33)^2 + (-191,91)^2}$$

$$R = 313,84 \text{ N}$$

$$T_e = 248,33 \text{ N} = F_T$$

En donde:

R= Carga radial aplicada.

T_e = Carga de empuje aplicada.

e= Factor de carga radial y empuje.

$$\frac{T_e}{R} > e \quad \text{Ecuación 28}$$

$$\frac{248,33}{313,84} > e$$

$$0,79 > e$$

Tabla 28: Factores de carga radial y de empuje para rodamientos de una hilera de bolas y ranura profunda siendo $x=0,56$.

e	$\frac{T}{C_o}$	Y
0,19	0,014	2,30
0,22	0,028	1,99
0,26	0,056	1,71
0,28	0,084	1,55
0,30	0,110	1,45
0,34	0,170	1,31
0,38	0,280	1,15
0,42	0,420	1,04
0,44	0,560	1,00

Nota: $x=0,56$ para todos los valores de Y

Fuente: Diseño de elementos de máquinas. (Mott, 2006, p. 614)

En la tabla 28 se observa que Y y e dependen de la relación $\frac{T}{C_o}$. Donde C_o es la capacidad de carga estática de determinado rodamiento, esto dificulta la selección del rodamiento, porque no se conoce el valor de la carga estática sino hasta que se ha seleccionado. Según (Mott, 2006) si se aplica una carga apreciable a un rodamiento, junto con una carga radial, se hace lo siguiente:

1. Suponga un valor de Y, de la tabla anterior. El valor de $Y=1,50$ es razonable, porque está más o menos a la mitad del intervalo de valores.
2. Calcule la carga equivalente.

$$P = VXR + YT \quad \text{Ecuación 29}$$

En donde:

P= Carga equivalente.

X= Factor radial.

Y= Factor de empuje.

V= Factor de rotación (V=1).

$$P = (1)(0,56)(313,84) + (1,50)(248,33)$$

$$P = 548,25 \text{ N}$$

3. Calcule la capacidad de carga dinámica básica requerida C.

$$C = P \frac{f_L}{f_N} \quad \text{Ecuación 30}$$

Donde:

C= Capacidad de carga dinámica.

Tabla 29: Duración recomendada para rodamientos

Aplicación	Duración de diseño L_{10} (h)
Electrodomésticos	1000-2000
Motores de aviación	1000-4000
Automotores	1500-5000
Equipo agrícola	3000-6000
Elevadores, ventiladores industriales, transmisiones de usos múltiples	8000-15000
Motores eléctricos, sopladores industriales, máquinas industriales en general	20000-30000
Bombas compresores	40000-60000
Equipo crítico en funcionamiento de 24h	100000-200000

Fuente: Diseño de elementos de máquinas. (Mott, 2006)

Como se puede ver en la tabla anterior la duración recomendada para rodamientos en máquina industriales en general es $L_{10} = 20000$ siendo $f_L = 3,41$.

Para una velocidad constante de 10 rpm el factor $f_N = 1,5$ de acuerdo a la figura que se muestra a continuación.

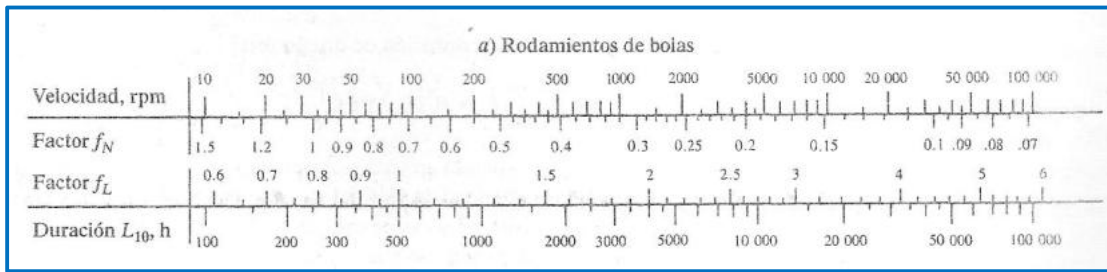


Figura 36: Factores por duración y velocidad para rodamientos de bolas y rodillos

Fuente: Diseño de elementos de máquinas. (Mott, 2006)

Reemplazando la ecuación anterior.

$$C = 548,25 \left(\frac{3,41}{1,5} \right)$$

$$C = 1246,36$$

4. Seleccione un rodamiento probable que tenga un valor de C, cuando menos igual al valor requerido.

Con el valor de C que se obtuvo se elige del Anexo B el rodamiento de acuerdo al diámetro del eje y el valor de la carga siendo el 6205.

3.2 SISTEMA DE COLOCACIÓN DE LAS LÁMINAS DE ALUMINIO

3.2.1 DISEÑO DEL SOPORTE DE LA VENTOSA

3.2.1.1 Función del soporte de la ventosa

Este sistema tiene como objetivo desplazar a la ventosa de forma que succione en la parte superior las láminas de aluminio y las coloque en el envase lleno, el mismo que se encuentra en el plato giratorio.

3.2.1.2 Requerimientos de diseño

Los requerimientos de diseño para el tubo de soporte de la ventosa son los siguientes:

- El tubo va girar 90° siendo la encargada de trasladar a la ventosa de arriba hacia abajo.
- El soporte debe ser construido en acero inoxidable AISI 304.

- El espesor del tubo va ser de 2 mm ya que no está sometido a grandes cargas.

Analizando los criterios antes mencionados, la forma de la pieza se muestra en la siguiente figura.



Figura 37: Forma del soporte de la ventosa

Una vez determinada su forma, se realiza el diseño dimensional de la pieza y se muestra en la siguiente figura.

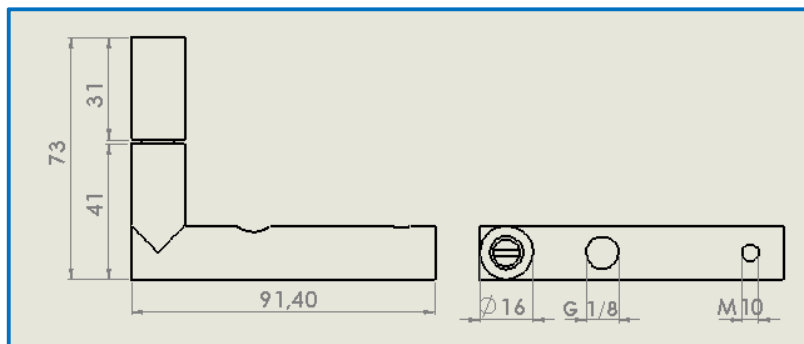


Figura 38: Dimensiones del tubo

No se hace otro análisis debido a que la carga que la placa soporta durante el proceso de colocación de las láminas de aluminio es baja y no está afectado por otro tipo de cargas.

3.2.2 SELECCIÓN DEL ACTUADOR NEUMÁTICO

Como el tubo en donde se encuentra la ventosa debe trasladarse 90° para posicionar la lámina de aluminio sobre el envase lleno, esta acción se la va

realizar por medio de un cilindro neumático circular capaz de ejecutar dicho movimiento.

Para determinar el actuador rotativo que se va a usar en esta aplicación, se debe conocer el momento de inercia y la forma del elemento que va a estar sujeto al eje del cilindro. Como se puede observar en la siguiente figura la pieza que se va a acoplar al cilindro es un eje delgado.

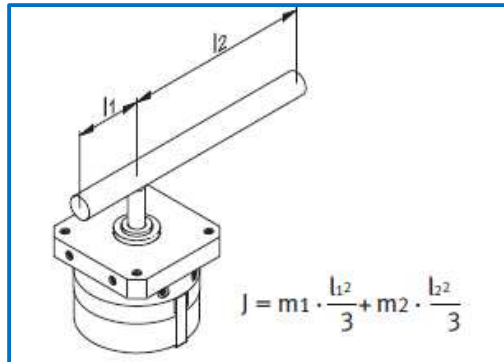


Figura 39: Eje delgado montado excéntricamente (posición horizontal)

Fuente: Actuadores Rotatorios DSM (FESTO, 2003)

Para calcular el momento de inercia se utiliza la siguiente fórmula: (FESTO, 2003)

$$J_1 = m_1 \times \frac{l_1^2}{3} + m_2 \times \frac{l_2^2}{3} \quad \text{Ecuación 31}$$

En donde:

J= Momento de inercia [$Kg \cdot m^2$].

m= masa del elemento [Kg].

l= Longitud del elemento [m].

r= Radio del elemento [m].

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$m = V \times \rho$$

$$m = \pi \times r^2 \times l \times \rho$$

$$m_1 = 0 \frac{Kg}{m^3}$$

$$m_2 = \{[\pi \times (0,008m)^2 \times 0,085 m] - [\pi \times (0,0045m)^2 \times 0,082 m]\} \times 8000 \frac{Kg}{m^3}$$

$$m_2 = 0,098 Kg$$

Reemplazando los valores obtenidos en la ecuación anterior:

$$J_1 = 0 + 0,098 \times \frac{(0,085)^2}{3}$$

$$J_1 = 0,00024 Kg.m^2$$

Con la siguiente ecuación se calcula la inercia del tubo que se va a sujetar directamente al eje del actuador:

$$J_2 = \frac{\pi \times d_{eje}^4 \times L_{eje} \times \rho}{32}$$

$$J_2 = \frac{\pi \times (0,016m)^4 \times 0,075m \times 8000 \frac{Kg}{m^3}}{32}$$

$$J_2 = 0,0000039 Kg.m^2$$

Siendo el momento de inercia total:

$$J = J_1 + J_2$$

$$J = 0,000243 Kg.m^2$$

Con este valor se determina el cilindro DMS-16 con amortiguador el mismo que permite un giro de hasta 270°. Además cumple con los requerimientos necesarios para realizar esta actividad.

En la siguiente tabla se muestra los momentos de inercia permisibles para cada actuador giratorio.

Tabla 30: *Momento de inercia permisible por el actuador*

Tipo de Actuador	Momento en masa admisible de inercia sin amortiguador	Momento en masa admisible de inercia con amortiguador
Rotativo		
DMS-12	$0,35 \times 10^{-4}$	7×10^{-4}

DMS-16	$0,7 \times 10^{-4}$	12×10^{-4}
DMS-25	$1,1 \times 10^{-4}$	16×10^{-4}
DMS-32	$1,7 \times 10^{-4}$	21×10^{-4}

Fuente: Actuadores Rotatorios DSM (FESTO, 2003)

En la tabla 31 se observa las características técnicas del cilindro rotatorio DMS-16-270-P-A-B.

Tabla 31: Datos técnicos actuador rotativo DMS

Conexión neumática	M5
Forma constructiva	Actuador giratorio con paleta basculante
Amortiguación	Amortiguación elástica en ambos lados
Ángulo de giro	270°
Ajuste de ángulo de giro	-6
Precisión de repetición	1
Presión de funcionamiento	1,8-10 bar
Temperatura ambiente	-10 a 60 °C
Torque a 6 bar	2,5 Nm
Consumo de aire con ángulo de giro máximo	163 cm ³

Fuente: Actuadores Rotatorios DSM (FESTO, 2015)

3.2.2.1.1 Selección de la ventosa generador de vacío

El diámetro de la ventosa es un factor fundamental ya que de este depende la fuerza de retención de la misma. Además del número de ventosas que intervengan en el sistema y las propiedades del objeto a desplazar.

Con la siguiente ecuación se puede calcular el diámetro requerido para la ventosa: (SCHMALZ, 2014)

$$d = 1,12 \times \sqrt{\frac{m \times S}{P_u \times n \times \mu}} \quad \text{Ecuación 32}$$

En donde:

m = masa de la pieza en [Kg].

P_u = Depresión (-0,6) [bar].

n = Número de ventosas.

μ = Coeficiente de fricción (0,5 para elementos secos como vidrio, piedra y plástico). (SCHMALZ, 2014)

S = Factor de seguridad.

Cálculo de la masa de la lámina de aluminio.

$$m = V \times \rho$$

$$m_{lámina} = \pi \times r^2 \times e \times \rho$$

$$m_{lámina} = \pi \times (0,0375 \text{ m})^2 \times (0,0001 \text{ m}) \times \left(2700 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}\right)$$

$$m_{lámina} = 0,0012 \text{ Kg}$$

Donde:

$m_{lámina}$ = masa lámina de aluminio [Kg].

r = Radio de la lámina de aluminio [m].

e = Espesor de la lámina de aluminio [m].

ρ = Densidad de la lámina de aluminio $\left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}\right]$.

Reemplazando los valores obtenidos en la ecuación 28:

$$d = 1,12 \times \sqrt{\frac{0,0012 \text{ Kg} \times 2}{0,6 \text{ bar} \times 1 \times 0,5}}$$

$$d = 1,12 \times \sqrt{0,008}$$

$$d = 0,10 \text{ cm}$$

$$d = 1 \text{ mm}$$

Se elige un elemento que sea ideal para láminas finas y papel, además que no produzca arrugas al aspirar. Como va estar en contacto directo con el alimento debe tener un material adecuado (silicona). La ventosa SGPN reúnen las especificaciones mencionadas y su diámetro mínimo existente en el mercado es de 20 mm, sus características se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 32: Características técnicas ventosas plana SGPN

Modelo	Fuerza de aspiración [N]	Volumen [cm^3]	Diámetro interior tubo recomendado d [mm]	Familia de boquillas
SGPN 15	5,5	0,12	2	N 016
SGPN 20	8,5	0,31	2	N 016
SGPN 24	11,0	0,80	4	N 016
SGPN 30	19,0	1,50	4	N 033
SGPN 34	25,0	2,10	4	N 033
SGPN 35	31,0	2,20	4	N 034

Fuente: Innovación en vacío para automatización. Componentes de vacío (SCHMALZ, 2014, p. 218)

La fuerza de retención se la puede determinar con la fórmula que se muestra a continuación:

$$F_{TH} = \left(\frac{m}{\mu}\right) \times (g + a) \times s \quad \text{(SCHMALZ, 2014)} \quad \text{Ecuación 33}$$

En donde:

F_{TH} = Fuerza de retención teórica [N].

m= Masa [Kg].

g= Aceleración terrestre $\left[9,81 \frac{m}{s^2}\right]$.

a= aceleración $\left[5 \frac{m}{s^2}\right]$ de la instalación.

s= Factor de seguridad.

Resolviendo la ecuación anterior:

$$F_{TH} = \left(\frac{0,0012 \text{ Kg}}{0,5} \right) \times \left(9,81 \frac{m}{s^2} + 5 \frac{m}{s^2} \right) \times 2$$

$$F_{TH} = 0,071 \text{ N}$$

A continuación se realiza el cálculo de la fuerza de aspiración de la ventosa: (SCHMALZ, 2014)

$$F_S = \frac{F_{TH}}{n} \quad \text{Ecuación 34}$$

Donde:

F_S = Fuerza de aspiración [N].

n = Número de ventosas.

Reemplazando la ecuación 34:

$$F_S = \frac{0,071 \text{ N}}{1}$$

$$F_S = 0,071 \text{ N}$$

Para definir el generador de vacío que se va a utilizar se debe determinar la capacidad de aspiración del mismo y va de acuerdo al diámetro de la ventosa.

En la tabla 33 se muestra datos empíricos de la capacidad de aspiración de un generador de vacío.

Tabla 33: Capacidad de aspiración de un generador de vacío

\varnothing ventosa	Capacidad de aspiración V_s	
Hasta 20 [mm]	0,17 [m^3/h]	2,83 [l/min]
Hasta 40 [mm]	0,35 [m^3/h]	5,83 [l/min]
Hasta 60 [mm]	0,5 [m^3/h]	8,3 [l/min]
Hasta 90 [mm]	0,75 [m^3/h]	12,7 [l/min]
Hasta 120 [mm]	1,0 [m^3/h]	16,6 [l/min]

Fuente: (Acosta Jaramillo, 2014, p. 76)

El diámetro de la ventosa que se va a utilizar es de 20 mm por ende la capacidad de aspiración es de 2,83 [l/min].

Con éste valor se calcula la capacidad de aspiración que debe tener el generador de vacío. (SCHMALZ, 2014)

$$V = n \times V_s \quad \text{Ecuación 35}$$

En donde:

V = Cantidad de aspiración total $\left[\frac{l}{min}\right]$.

n = Número de ventosas.

V_s = Capacidad de aspiración necesaria para una sola ventosa $\left[\frac{l}{min}\right]$.

Reemplazando la ecuación anterior:

$$V = 1 \times 2,83$$

$$V = 2,83 \frac{l}{min}$$

La siguiente figura muestra el comportamiento del generador de vacío en función de la capacidad de aspiración y la presión de funcionamiento.

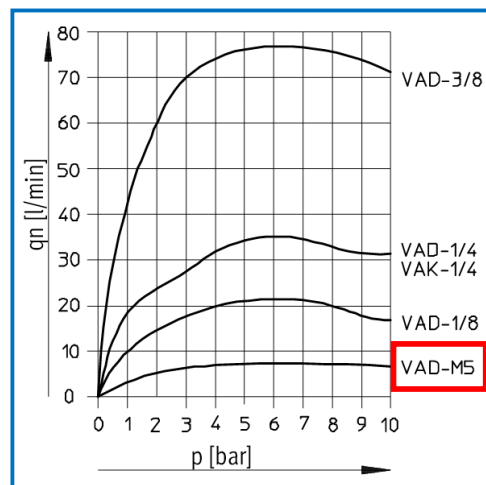


Figura 40: Capacidad de aspiración q_n en función de la presión de funcionamiento p

Fuente: Catálogo Generadores de vacío VAD/VAK (FESTO, 2014, p. 7)

De acuerdo al resultado de la capacidad de aspiración y la presión a la que funciona el sistema 7 bares. Se selecciona el generador de vacío VAD-M5 FESTO.

En la siguiente tabla se detallan las características técnicas del generador de vacío que se va a emplear, el mismo que tiene como objetivo succionar la lámina

de aluminio y trasladarla hacia el plato giratorio para luego posicionarla en el envase lleno.

Tabla 34: *Características del generador de vacío VAD-5M*

Tipo	VAD
Tamaño	M5
Diámetro nominal de la tobera	0,5 mm
Características del eyector	Alto vacío
Vacío máximo	80%
Presión de funcionamiento	1,5-10 bar
Temperatura ambiente	-20 a 80 °C

Fuente: Catálogo Generadores de vacío VAD/VAK (FESTO, 2014, p. 6)

3.3 SISTEMA DE SELLADO

3.3.1 DISEÑO PISADORES PARA EL SELLADO

3.3.1.1 Función del pisador de sellado

El diseño de los pisadores para el sellado son dependientes de la forma del envase que se va a sellar por lo que se debe tomar en cuenta sus dimensiones. Tiene como objetivo principal sellar la lámina con el envase y obtener un sello hermético.

3.3.1.2 Requerimientos de diseño

Los requerimientos de diseño para el pisador son los siguientes:

- Se toma en cuenta el diámetro de la cavidad del envase siendo igual a 74mm.
- Las resistencias que se emplean para el calentamiento de los pisadores son de tipo tubular.
- El pisador de acuerdo a la forma de los envases debe ser cilíndrico.
- De acuerdo a (Cruz & Villamarín, 2011). Se determina un perfil mínimo de sellado de 2 [mm] de espesor ya que proporciona la seguridad y el hermetismo suficiente para los envases.

- El material del pisador es de acero inoxidable ya que el elemento está el contacto directo con el alimento.

Analizando los criterios antes mencionados, la forma del pisador de sellado se muestra en la siguiente figura.

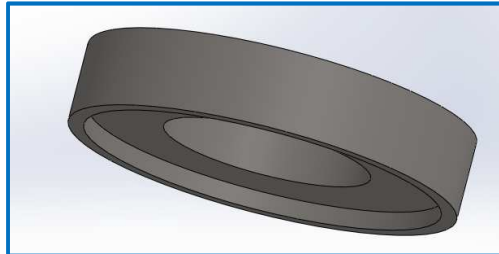


Figura 41: Forma del pisador de sellado

Una vez determinada su forma, se realiza el diseño dimensional del pisador de sellado que se muestra en la figura 41.

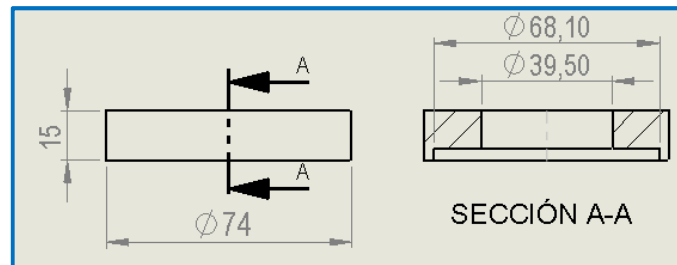


Figura 42: Dimensiones del pisador de sellado

No se hace otro análisis debido a que la carga que el pisador soporta durante la etapa de sellado es baja y no está afectado por otro tipo de cargas.

3.3.2 TIEMPO, FUERZA Y TEMPERATURA DE SELLADO

El tiempo, fuerza y temperatura son factores decisivos en la etapa de sellado ya que de estos parámetros depende obtener un sello hermético y de buena calidad.

3.3.2.1 Requerimientos de diseño

- Para el sellado del envase se debe tener en cuenta el tiempo, fuerza y temperatura ya que los tres factores son dependientes entre sí.

- A mayor fuerza aplicada se requiere menos tiempo de contacto entre el pisador de sellado y el envase de plástico, la temperatura se mantiene constante. Es decir si uno de los tres parámetros varía necesariamente debe cambiar el otro. En conclusión los factores son dependientes uno del otro por lo que si se quiere llegar a un buen sello se debe analizarlos en conjunto.

De acuerdo a las pruebas realizadas en la Tesis (Cruz & Villamarín, 2011) se describe la siguiente tabla:

1: NULO

2: MALO

3: REGULAR

4: BUENO

Tabla 35: *Pruebas de sellado para una fuerza constante*

TEMPERATURA [°C]	TIEMPO [s]	FUERZA [Kg]	RESULTADO
120	2	15	1
130	2	20	2
140	2	25	2
150	2	30	3
120	3	15	2
130	3	20	3
140	3	25	3
150	3	30	4
120	4	15	2
130	4	20	4
140	4	25	4
150	4	30	4

Fuente: (Cruz & Villamarín, 2011)

Con los resultados mostrados en la tabla 35, se puede concluir que los valores óptimos y que generan los mejores resultados son:

$$F_s = 25 \times 9,8$$

$$F_s = 245 [N]$$

$$t_s = 4 [s]$$

Con un rango de temperatura de sellado de 135°C a 150°C.

3.3.2.2 Cálculo de la potencia eléctrica

En el sistema es necesario un elemento que controle el suministro de energía hacia el pisador de sellado. Para obtener un buen sello se toma en cuenta todas las variables que intervienen y como estas se relacionan.

- Energía de entrada (suministrada).
- Temperatura de sellado.
- Temperatura del ambiente en el cual va a trabajar la máquina.
- Tiempo de calentamiento del pisador.
- Temperatura en los pisadores en cada instante de tiempo.

Para el análisis se utiliza la ecuación de la conservación de la energía, tomando al pisador de sellado como un volumen de control.

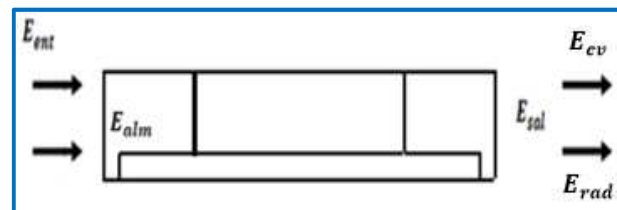


Figura 43: Volumen de Control. Pisador de sellado

Entonces: (Incropera)

$$E_{ent} + E_g - E_{sal} = E_{alm} \quad \text{Ecuación 36}$$

$$E_{ent} = E_{alm} + E_{cv} + E_{rad} \quad \text{Ecuación 37}$$

Donde:

E_{ent} = Energía de entrada o aplicada [w].

E_g = Conversión de energía

E_{sal} = Energía de salida

E_{alm} = Energía almacenada en el pisador [w/h].

E_{cv} = Energía perdida por convección [w].

E_{rad} = Energía perdida por radiación [w].

Con la siguiente ecuación se calcula la energía acumulada en el pisador la misma que sirve para mantener la temperatura de sellado dentro de un rango de tiempo constante.

$$E_{alm} = m \times c \times \frac{dT}{dt} \quad \text{Ecuación 38}$$

Donde:

m = masa del pisador [Kg].

c = calor específico del aluminio $\left[\frac{W.h}{Kg.K}\right]$.

$\frac{dT}{dt}$ = Variación de la temperatura en el tiempo $\left[\frac{K}{h}\right]$.

Como la energía que se acumula en el pisador depende de la temperatura que alcance en un determinado tiempo, el proceso de calentamiento inicia en la parte interior del pisador donde se encuentra el elemento de generación de calor en este caso las resistencias.

En la siguiente tabla se muestra las propiedades del material del pisador.

Tabla 36: *Propiedades del acero inoxidable AISI 304*

Calor específico	$0,132 \left[\frac{W.h}{Kg.K}\right]$.
Densidad	$7900 \left[\frac{Kg}{m^3}\right]$.

Fuente: Fundamentos de transferencia de masa y calor. (Incropera)

La masa del pisador se calcula con la siguiente ecuación:

$$V = \frac{m}{\rho}$$

Donde:

m = masa del pisador [Kg].

$V =$ volumen del pisador [m^3]

$\rho =$ densidad del aluminio [$\frac{Kg}{m^3}$].

El volumen del pisador es igual:

$$V = \pi \frac{D^2}{4} \times h \quad \text{Ecuación 39}$$

$$V = \pi \left[\left(\frac{74^2 \times 15}{4} \right) - \left(\frac{(39,05)^2 \times 11,5}{4} \right) - \left(\frac{(68,10)^2 \times 3,5}{4} \right) \right]$$

$$V = \pi(12550,12)$$

$$V = 39427,37 \text{ mm}^3$$

$$V = 0,0000394 \text{ m}^3$$

Resolviendo la anterior ecuación y despejando m , se tiene:

$$m = V \times \rho$$

$$m = (0,0000394 \text{ m}^3) \times 7900 \frac{Kg}{m^3}$$

$$m = 0,31 \text{ Kg}$$

Reemplazando la fórmula 38:

$$E_{atm} = 0,31 \times 0,132 \times \frac{dT}{dt}$$

$$E_{atm} = 0,040 \frac{dT}{dt}$$

Para calcular las pérdidas de energía que se producen por convección se utiliza la siguiente fórmula: (Incropera)

$$E_{cv} = h_{cv} \times A \times \Delta T \quad \text{Ecuación 40}$$

En donde:

$h_{cv} =$ Coeficiente de transferencia de calor por convección [$\frac{Wm^2}{K}$].

$A_T =$ Área total [m^2].

$\Delta T =$ Variación de temperatura [K].

El área de convección del pisador se calcula tomando en cuenta la superficie externa del mismo así como su parte interior.

$$A_T = A_1 + A_2$$

$$A_1 = \pi \left[(75 \times 11,5) - (39,05 \times 11,5) + \left(\frac{(75)^2 - (39,05)^2}{2} \right) \right]$$

$$A_1 = 7667 \text{ mm}^2$$

$$A_2 = \pi \left[(75 \times 3,5) - (68,10 \times 3,5) + \left(\frac{(75)^2 - (68,10)^2}{2} \right) \right]$$

$$A_2 = 1627 \text{ mm}^2$$

$$A_T = 9294 \text{ mm}^2$$

$$A_T = 0,009 \text{ m}^2$$

Considerando al pisador como una superficie vertical con convección libre se calcula utilizando correlaciones empíricas como son los números de Rayleigh, Grashot, Prandti y Nuselt de la siguiente forma: (Incropera)

$$N_{UL} = \frac{h \times L}{K} = CRa_L^n \quad \text{Ecuación 41}$$

El número de Grashot para una convección libre laminar sobre una superficie vertical se expresa como: (Incropera)

$$Gr_L = \frac{g \times \beta \times (T_s - T_\infty) \times L^3}{\nu^2} \quad \text{Ecuación 42}$$

Donde:

N_{UL} = Número de Nuselt

L = Longitud crítica [m].

K = Conductividad térmica del aire $\left[\frac{W}{m} K \right]$

Gr_L = Número de Grashot.

P_r = Número de Prandti.

g = Gravedad $\left[\frac{m}{s^2} \right]$.

β = Coeficiente de dilatación lineal = $\frac{1}{T_f} \left[\frac{1}{K} \right]$

T_s = Temperatura superficial [°K]

T_∞ = Temperatura ambiente [°K]

L = Longitud característica [m].

Como el pisador de sellado debe estar aproximadamente a una temperatura de 140°C \pm 5% y se encuentra a una temperatura ambiente de trabajo de 20°C, utilizando la siguiente ecuación se obtiene la temperatura de película: (Incropera)

$$T_f = \frac{T_s + T_\infty}{2} \quad \text{Ecuación 43}$$

$$T_f = \frac{140 + 20}{2}$$

$$T_f = 80^\circ\text{C}$$

$$T_f = 80 + 273,15$$

$$T_f = 353 \text{ }^\circ\text{K}$$

En la siguiente tabla se muestran las propiedades de los gases a presión atmosférica:

Tabla 37: Propiedades termo físicas de gases a presión atmosférica.

T [K]	ρ $\left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}\right]$	C_p $\left[\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}\right]$	$\mu \cdot 10^2$ $\left[\text{K} \frac{\text{s}}{\text{m}^2}\right]$	$\nu \cdot 10^6$ $\left[\frac{\text{m}^2}{\text{s}}\right]$	$k \cdot 10^{-3}$ $\left[\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}\right]$	$\alpha \cdot 10^6$ $\left[\frac{\text{m}^2}{\text{s}}\right]$	Pr
350	0,9950	1,009	208,2	20,92	30,0	29,9	0,70

Fuente: Fundamentos de transferencia de masa y calor. (Incropera, p. 839)

Reemplazando los valores de la tabla en la ecuación 42, se tiene:

$$Gr_L = \frac{9,81 \times \frac{1}{350} \times (140 - 20) \times (0,015)^3}{(20,92 \times 10^{-6})^2}$$

$$Gr_L = 25937,769$$

Como el gradiente de temperatura adimensional en la superficie es una función del número de Prandtl se calcula de la siguiente forma si $0 \leq Pr \leq \infty$: (Incropera)

$$g(Pr) = \frac{0,75 Pr^{1/2}}{(0,609 + 1,221 Pr^{1/2} + 1,238 Pr)^{1/4}} \quad \text{Ecuación 44}$$

Sustituyendo:

$$g(P_r) = \frac{0,75 \times (0,70)^{1/2}}{(0,609 + 1,221 \times (0,70)^{1/2} + 1,238 \times 0,70)^{1/4}}$$

$$g(P_r) = 0,499$$

Para encontrar el número de Nusselt se emplea la fórmula que se muestra a continuación: (Incropera)

$$Nu_L = \frac{4}{3} \left(\frac{Gr_L}{4} \right)^{1/4} \times g(P_r) \quad \text{Ecuación 45}$$

$$Nu_L = \frac{4}{3} \left(\frac{25937,769}{4} \right)^{1/4} \times 0,499$$

$$Nu_L = 5,97$$

De la ecuación 41 despejamos el coeficiente de transferencia de calor por convección (h) y sustituimos los valores encontrados:

$$h = \frac{Nu_L K}{L}$$

$$h = \frac{5,97 \times 30 \times 10^{-3} \left[\frac{W}{m.K} \right]}{0,015[m]}$$

$$h = 11,94 \left[\frac{W}{m^2.K} \right]$$

En la ecuación 40, se reemplaza los obtenidos anteriormente:

$$E_{cv} = 11,94 \left[\frac{W}{m^2.K} \right] \times 0,009 [m^2] \times (413 - 293)^\circ K$$

$$E_{cv} = 12,89 [W]$$

$$E_{cv} = 0,107 \times (T_s - T_\infty)[W]$$

Para calcular las pérdidas de energía que se producen por radiación se utiliza la siguiente ecuación: (Incropera)

$$E_{rad} = \varepsilon \times \sigma \times A \times (T_s^4 - T_\infty^4) \quad \text{Ecuación 46}$$

Donde:

ε = Emisividad del recubrimiento exterior a temperatura exterior.

$$\sigma = \text{Constante de Stefan Boltzman} = 5,6704 \times 10^{-8} \left[\frac{W}{m^2 \cdot K^4} \right]$$

A= Área efectiva de transferencia de calor [m^2].

T_s = Temperatura de la superficie [$^{\circ}K$].

T_{∞} = Temperatura de los alrededores [K].

Como la temperatura de sellado es de $140^{\circ}C$ siendo igual a $413,15^{\circ}K$, se tiene:

Tabla 38: Emisivilidad total de superficies seleccionadas

Acero inoxidable típico pulido	T ($^{\circ}K$)	ϵ
Altamente pulido	400	0,17

Fuente: Fundamentos de transferencia de masa y calor. (Incropera, p. 851)

Resolviendo la ecuación anterior:

$$E_{rad} = 0,17 \times 5,6704 \times 10^{-8} \left[\frac{W}{m^2 \cdot K^4} \right] \times 0,009[m^2] \times (413^4 - 293^4)^{\circ}K^4$$

$$E_{rad} = 1,88 [W]$$

$$E_{rad} = 8,675 \times 10^{-11} \times (T_s^4 - T_{\infty}^4)$$

Como se requiere conocer el coeficiente de transferencia de calor por radiación se emplea la siguiente fórmula:

$$h_{rad} = \frac{\epsilon \times \sigma \times (T_s^4 - T_{\infty}^4)}{T_s - T_{\infty}} \quad \text{Ecuación 47}$$

$$h_{rad} = \frac{0,17 \times 5,6704 \times 10^{-8} \left[\frac{W}{m^2 \cdot K^4} \right] \times (413^4 - 293^4)^{\circ}K^4}{(413 - 293)^{\circ}K}$$

$$h_{rad} = 1,74 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

Se realiza un análisis de transferencia de calor en estado transitorio del pisador con lo que se puede determinar el tiempo que le toma al elemento llegar a la temperatura de trabajo.

Sustituyendo en la ecuación 37:

$$E_{ent} = 0,040 \frac{dT}{dt} + 0,107 \times (T_s - T_{\infty}) + 8,675 \times 10^{-11} \times (T_s^4 - T_{\infty}^4)$$

Como las pérdidas de energía por radiación tienen un valor muy pequeño en relación a los demás, se puede suprimir esta expresión. Con lo que se tiene:

$$E_{ent} = 0,040 \frac{dT}{dt} + 0,107 \times (T_s - T_\infty)$$

En donde la diferencia de temperaturas es:

$$\theta = T_s - T_\infty$$

Reemplazando

$$E_{ent} = 0,040 \frac{d\theta}{dt} + 0,107 \times \theta$$

Dividiendo la ecuación para θ

$$\left(\frac{E_{ent}}{\theta} - 0,107\right) dt = 0,040 \frac{d\theta}{\theta}$$

Separando valores e integrando:

$$\left(\frac{E_{ent}}{\theta} - 0,107\right) t = 0,040 \ln \frac{\theta}{\theta_i}$$

Reemplazando $\theta_i = T_i - T_\infty$, se tiene:

$$\left(\frac{E_{ent}}{T_s - T_\infty} - 0,107\right) t = 0,040 \ln \frac{T_s - T_\infty}{T_i - T_\infty}$$

$$t = \frac{0,040 \ln \frac{T_s - T_\infty}{T_i - T_\infty}}{\left(\frac{E_{ent}}{T_s - T_\infty} - 0,107\right)}$$

Para reemplazar valores en la anterior ecuación se toma en cuenta la temperatura máxima de sellado $T_s = 140^\circ C$, la temperatura ambiente de trabajo $T_\infty = 20^\circ C$ y la diferencia inicial de temperatura entre el ambiente y el pisador de sellado $T_i - T_\infty = 1^\circ C$.

En la siguiente tabla se muestran los valores calculados del tiempo, para diferentes valores de la energía de entrada o suministrada por el sistema.

Tabla 39: *Energía suministrada al pisador y tiempo de calentamiento*

E_{ent} [vatios]	θ (h)	θ (min)
50	0,618	37,08
100	0,263	15,78
150	0,167	10,02
200	0,122	7,32
300	0,080	4,80
400	0,059	3,54
500	0,047	2,82

Considerando un tiempo de calentamiento razonable de 1 a 5 min y la cantidad de consumo de energía, se toma un valor de energía de entrada de 300 vatios con un tiempo de calentamiento según la tabla mostrada 4,8 minutos.

3.3.3 Selección del cilindro neumático para el sellado del envase.

El pisador de sellado se traslada por la acción de un cilindro neumático colocado en la estructura de este sistema.

La fuerza aproximada necesaria para que se realice un sellado hermético es de 245 N además este actuador debe ser anti giro para garantizar la estabilidad del pisador.

El factor de seguridad mínimo para la fuerza de $n = 2$.

$$F_n = 2 \times 245 [N]$$

$$F_n = 490 [N]$$

Para el cálculo del cilindro de doble efecto:

Avance: (FESTO, 2007)

$$F_n = A \times P - F_R$$

Ecuación 48

Donde:

F_n = Fuerza efectiva o real del émbolo [N]

P = Presión de trabajo [bares].

A = Superficie útil del émbolo [m^2].

F_R = Fuerza de rozamiento [N].

D = Diámetro del émbolo [m].

Retorno: (FESTO, 2007)

$$F_n = A \times P - F_R \quad \text{Ecuación 49}$$

En donde:

A = Superficie útil del anillo del émbolo [m^2].

d = Diámetro del vástago [m].

Por lo tanto para el avance, despejando el área del émbolo, se tiene:

$$A = \frac{F_n + F_R}{P}$$

En donde el área del embolo es:

$$A = \frac{D^2 \times \pi}{4}$$

Reemplazando

$$\frac{D^2 \times \pi}{4} = \frac{F_n + F_R}{P}$$

$$D^2 = \frac{4 \times (F_n + F_R)}{\pi \times P}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \times (F_n + F_R)}{\pi \times P}}$$

De acuerdo al manual de estudios de FESTO la fuerzas ocasionadas por la fricción suelen equivaler a más o menos un 10 por ciento de la fuerza teórica del émbolo.

$$F_R = F_n \times 10\% \quad \text{Ecuación 50}$$

$$F_R = 490 \times 10\% [N]$$

$$F_R = 49 [N]$$

Suponiendo una presión normal de funcionamiento igual a 600 [KPa] o 6 [bar].

Reemplazando los valores obtenidos:

$$D = \sqrt{\frac{4 \times (490 + 49)[N]}{\pi \times 600000 \left[\frac{N}{m^2}\right]}}$$

$$D = \sqrt{0,001}$$

$$D = 0,032 \text{ m} = 32 \text{ mm}$$

Para el retroceso:

De la ecuación anterior:

$$A = \frac{F_n + F_R}{P}$$

En donde el área del vástago es:

$$A = \frac{(D^2 - d^2) \times \pi}{4}$$

Reemplazando

$$\frac{(D^2 - d^2) \times \pi}{4} = \frac{F_n + F_R}{P}$$

$$d^2 = D^2 - \frac{4 \times (F_n + F_R)}{\pi \times P}$$

$$d = \sqrt{D^2 - \frac{4 \times (F_n + F_R)}{\pi \times P}}$$

$$d = \sqrt{(0,033\text{m})^2 - \frac{4 \times (490 + 49)[N]}{\pi \times 600000 \left[\frac{N}{m^2}\right]}}$$

$$d = \sqrt{0,000024}$$

$$d = 0,0049 \text{ m}$$

$$d = 5 \text{ mm}$$

Una vez evaluado los factores de dimensionamiento, se selecciona un cilindro que satisface las necesidades con un diámetro de 32mm cuyas características se muestran a continuación en la figura.

Tabla 40: Características técnicas cilindro DZH-32-75-PPV-A

Diámetro del embolo	32 mm
Conexión neumática	G 1/8
Amortiguación	Amortiguación neumática regulable en ambos lados
Detección de posiciones	Para detectores de proximidad
Presión de funcionamiento	1-10 bar
Temperatura ambiente	-20 a 80 °C
Fuerza teórica con 6 bar en avance	483 N
Fuerza teórica con 6 bar en retroceso	415 N
Momento giro máximo en el vástago	1

Fuente: Cilindros planos EZH/DZF/DZH (FESTO, 2015)

3.4 SISTEMA DE EXPULSIÓN

3.4.1 DISEÑO DEL PORTA ENVASE DE EXPULSIÓN.

3.4.1.1 Función del porta envase de expulsión

Es el encargado de empujar el envase hacia arriba del plato giratorio para luego ser desplazado fuera de la máquina selladora por un actuador neumático.

3.4.1.2 Requerimientos de diseño

- Este elemento tiene la función de soportar la fuerza ejercida por el peso del envase lleno que es aproximadamente de 1,96 N.

- El material del elemento es teflón por su fácil maquinado además de ser ampliamente utilizado en industrias alimenticias por sus propiedades de durabilidad, resistencia y bajo costo.

Analizando los criterios antes mencionados, la forma del elemento se muestra en la siguiente figura.

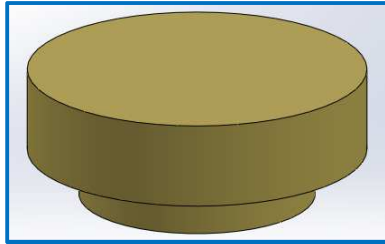


Figura 44: Forma de porta envase

Una vez determinada su forma, se realiza el diseño dimensional de la pieza que se muestran en la figura 44.

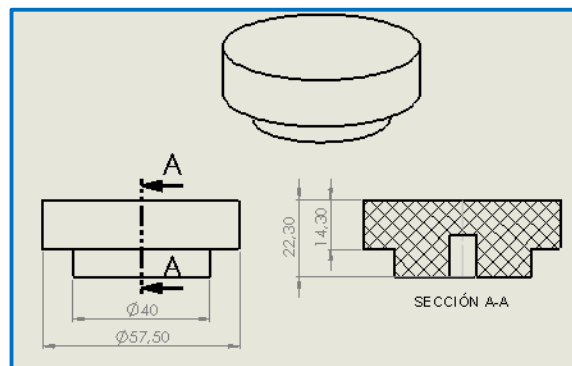


Figura 45: Dimensiones de porta envase de expulsión

No se hace otro análisis debido a que la carga que el elemento soporta durante la etapa de expulsión es baja y no está afectado por otro tipo de cargas.

3.4.1.3 Selección del cilindro neumático para la expulsión del envase.

El porta envase se mueve por la acción de un cilindro neumático colocado en la parte inferior del plato giratorio.

La fuerza aproximada necesaria para mover la porta envase y el vaso lleno es de 7 N.

Tomando un factor de seguridad para la fuerza de $n = 2$.

$$F_n = 2 \times 7 [N]$$

$$F_n = 14 [N]$$

Para el cálculo del avance y retroceso del cilindro se utilizan las ecuaciones 49 y 50 respectivamente.

$$F_n = A \times P - F_R$$

Despejando el área del émbolo para el avance, se tiene:

$$A = \frac{F_n + F_R}{P}$$

En donde el área del embolo es:

$$A = \frac{D^2 \times \pi}{4}$$

Reemplazando e igualando se tiene:

$$\frac{D^2 \times \pi}{4} = \frac{F_n + F_R}{P}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \times (F_n + F_R)}{\pi \times P}}$$

Utilizando la ecuación 50.

$$F_R = F_n \times 10\%$$

$$F_R = 14 \times 10\% [N]$$

$$F_R = 1,4 [N]$$

Suponiendo una presión normal de funcionamiento igual a 600 [KPa] o 6 [bar].

Reemplazando los valores obtenidos:

$$D = \sqrt{\frac{4 \times (14 + 1,4)[N]}{\pi \times 600000 \left[\frac{N}{m^2}\right]}}$$

$$D = \sqrt{0,0000326}$$

$$D = 5,7 \text{ mm}$$

Para el retroceso:

De la ecuación anterior:

$$A = \frac{F_n + F_R}{P}$$

En donde el área del vástago es:

$$A = \frac{(D^2 - d^2) \times \pi}{4}$$

Reemplazando e igualando:

$$\frac{(D^2 - d^2) \times \pi}{4} = \frac{F_n + F_R}{P}$$

$$d = \sqrt{D^2 - \frac{4 \times (F_n + F_R)}{\pi \times P}}$$

$$d = \sqrt{(0,0057m)^2 - \frac{4 \times (245 + 24,5)[N]}{\pi \times 600000 \left[\frac{N}{m^2} \right]}}$$

$$d = \sqrt{0,00000049}$$

$$d = 0,7 \text{ mm}$$

Una vez determinado el diámetro mínimo del vástago del cilindro neumático, se selecciona un actuador que fácilmente se encuentre en el mercado ya que es complicado encontrar un cilindro que se ajuste a los parámetros calculados y sobre todo a la longitud de carrera requerida para esta aplicación. A continuación se observa las características del actuador DSNU.

Tabla 41: Características técnicas cilindro DSNU-10-100PPV-A

Diámetro del embolo	10 mm
Conexión neumática	M5
Amortiguación	Anillos y discos elásticos en ambos lados
Detección de posiciones	Para detectores de proximidad

Presión de funcionamiento	1-10 bar
Temperatura ambiente	-10 a 80 °C
Fuerza teórica con 6 bar en avance	47 N
Fuerza teórica con 6 bar en retroceso	40 N
Energía máx. de impacto en las posiciones finales con amortiguación	0,05 J

Fuente: Cilindros normalizados DSNU/DSNUP/DSN/ESNU/ESN (FESTO, 2015)

3.4.1.4 Selección de la unidad de mantenimiento

La unidad de mantenimiento es una parte fundamental en el funcionamiento de los actuadores neumáticos, está constituida de filtro, un regulador y lubricador los mismos que se encargan de enviar aire libre de impurezas, con una presión uniforme y con lubricante.

En la siguiente tabla se muestra las especificaciones técnicas:

Tabla 42: Características técnicas unidad de mantenimiento SNS

Modelo	AFC 2000
Presión máxima	0,5 a 8,5 bar
Temperatura de operación	4 a 60 °C
Conexión	1/4

Fuente: Combinación de aire (SNS, 2008)

3.4.1.5 Consumo de aire

Se determina el consumo de aire de cada actuador para seleccionar el compresor adecuado además este cálculo permite conocer el consumo total de la máquina.

De acuerdo al software de Festo se obtiene la siguiente tabla. La presión de trabajo para todos los actuadores neumáticos es de 6 bares.

Tabla 43: Cilindros elegidos y su consumo de aire

Actividad	Modo de operación	Tamaño	Carrera/ Longitud	# ciclos	Consumo de aire	
		[mm]	[mm]	[1/min]	[l/ciclo]	[l/min]
Láminas	Doble efecto	16		8	0,2094	1,6748
	Tubo flexible	6	1500	8	0,2545	2,0368
	Tubo flexible	6	1500	8	0,2545	2,0368
	Doble efecto	25	90	8	0,5690	4,5522
	Tubo flexible	6	1500	8	0,2545	2,0368
	Tubo flexible	6	1500	8	0,2545	2,0368
Sellado	Doble efecto	32	75	8	0,7851	6,2807
	Tubo flexible	6	1000	8	0,1696	1,3572
	Tubo flexible	6	1000	8	0,1696	1,3572
Expulsión	Doble efecto	10	100	8	0,1012	0,8093
	Tubo flexible	6	1000	8	0,1696	1,3572
	Tubo flexible	6	1000	8	0,1696	1,3572
	Doble efecto	25	90	8	0,5690	4,5522
	Tubo flexible	6	1000	8	0,1696	1,3572
	Tubo flexible	6	1000	8	0,1696	1,3572
Generador de vacío						12
TOTAL CONSUMO DE AIRE SIN PÉRDIDAS						46,1596

Fuente: Software Festo consumo de aire de los cilindros (Portal de soporte tecnico FESTO, 2015)

En la tabla anterior se obtiene el consumo total de aire siendo igual 46,16 [l/min], a este valor se le suma un 30% del valor del consumo por pérdida que pueda existir ya sea por accesorios y válvulas.

$$Q_{T1} = 46,16 + (46,16 \times 30\%) \quad \text{Ecuación 51}$$

$$Q_{T1} = 60,01 \frac{l}{min}$$

Transformando a cfm.

$$1 \frac{l}{min} = 0,0353 \text{ cfm} \quad \text{Ecuación 52}$$

$$Q_{T1} = 60,01 \frac{l}{min} = 2,12 \text{ cfm}$$

En donde:

$$1 \text{ HP} = 4 \text{ cfm}$$

$$2,12 \text{ cfm} \times 8 \text{ bar} = 1,07 \text{ HP}$$

De acuerdo al valor obtenido se necesita un compresor de 1 ½ HP para que el sistema funcione correctamente.

3.5 ESTRUCTURA DE LA MÁQUINA

Para la construcción de la estructura uno de los factores más importantes es la selección del material que se va a utilizar ya que es en donde se sujetarán todos los componentes de la máquina selladora de vasos de yogur.

3.5.1 ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA PRINCIPAL

En la estructura se apoyará lo siguiente: estructura del sistema de colocación de la lámina de aluminio, estructura de sellado, bases del sistema de expulsión del envase, eje, plato giratorio y carcasa de la máquina.

Como la estructura va estar en un área en donde se elaboran productos alimenticios se va a emplear un tubo cuadrado en acero inoxidable AISI 304 por sus propiedades y facilidad de adquisición en el mercado.

Para calcular el espesor del tubo que se utilizará para la construcción de la máquina se toma en cuenta las vigas más comprometidas eslabones AB y CD como se observa en la figura 46. Se analizan las vigas como perfectamente empotradas.



Figura 46: Estructura de la máquina selladora de vasos

Se tiene en cuenta el peso que recae sobre la viga AB y se calcula la fuerza utilizando la siguiente ecuación.

$$F = m \times g \quad \text{Ecuación 53}$$

Donde:

F= Fuerza [N].

m= Masa total de la estructura, plato giratorio, sellador y envases llenos [Kg].

g= Fuerza de gravedad $\left[\frac{m}{s^2}\right]$.

Resolviendo la ecuación 53:

$$F = 50 \times 9,81$$

$$F = 490,5 \text{ N}$$

Para este análisis se utiliza el software MDSolid en el que ubica la fuerza estática de 490,5 N como una carga puntual en el centro de la viga y se obtiene el siguiente diagrama de fuerzas:

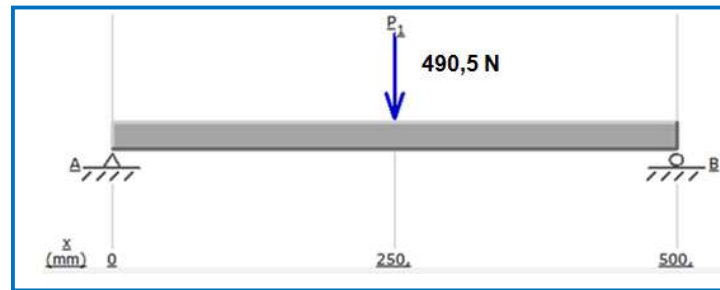


Figura 47: Diagrama de fuerzas de la viga.

Para calcular el momento flector máximo se utiliza la tabla 44 de vigas perfectamente empotradas.

Tabla 44: Vigas perfectamente empotradas

SOLICITACION	MOMENTOS DE EMPOTRAMIENTO PERFECTO	REACCIONES EN LOS APOYOS
	$M_A = \frac{FL}{8}$ $M_B = -\frac{FL}{8}$	$R_A = \frac{F}{2}$ $R_B = \frac{F}{2}$

Fuente: Formulario de vigas. <http://www.slideshare.net/marggot696/formulario-de-vigas>

Para determinar el momento flector máximo se emplea una fórmula de la tabla anterior.

$$M_{max} = \frac{F \times L}{8} \quad \text{Ecuación 54}$$

En donde:

M_{max} = Momento Flector máximo [N.m].

F = Fuerza que ejerce sobre la viga [N].

L = Longitud de la viga AB [m].

$$M_{max} = \frac{490,5 \text{ N} \times 0,5 \text{ m}}{8}$$

$$M_{max} = 30,66 \text{ N.m}$$

Para calcular el espesor se toma en cuenta el esfuerzo máximo de flexión que soporta la viga y se emplea la siguiente ecuación:

$$M = Z \times R$$

Ecuación 55

En donde:

M= Momento de las fuerzas exteriores que producen la flexión [N.m].

Z= Módulo de la sección [m^3].

R= Resistencia del material a la tracción [N/m^2].

Cómo deseamos conocer el módulo de la sección, despejamos Z.

$$Z = \frac{M}{R}$$

$$Z = \frac{30,66 \text{ N.m}}{620\,000\,000 \text{ N/m}^2}$$

$$Z = 0,0000000495 \text{ m}^3$$

$$Z = 0,0495 \text{ cm}^3$$

De acuerdo al resultado el módulo de sección mínimo que debe tener el tubo es de $0,0495 \text{ cm}^3$. Esta información nos ayuda a seleccionar el espesor del tubo con el que se va a construir la estructura de la máquina.

Se escoge un tubo estructural cuadrado AISI 304 de una pulgada por ser el más común en el mercado. En la siguiente tabla se muestra sus características.

Tabla 45: Especificaciones generales tubo cuadrado AISI 304

in	H[mm]	e[mm]	A[cm^2]	I[cm^4]	W[cm^3]	r[cm]	Sy[MPa]	Su[MPa]
1	25	1,50	1,35	1,21	0,97	0,95	310	620

Fuente: DIPAC Manta S.A. (2012). Catálogo de productos DIPAC.

En donde:

A= Área sección transversal del tubo [cm^2].

I= Momento de inercia de la sección [cm^4].

W= Módulo resistente de la sección [cm^3].

r= Radio de giro de la sección [cm].

S_u= Resistencia de tensión del material [Mpa].

S_y= Resistencia a la fluencia [Mpa].

El peso aproximado de toda la máquina, suponiendo una carga crítica en la estructura es de 100 Kg la misma que puede aplicarse debido a cargas que se presenten sobre la máquina ya sean voluntarias o involuntarias.

Con la siguiente ecuación se encuentra el esfuerzo de compresión al que está sometida la estructura.

$$\sigma_c = \frac{W_{pt}}{A} \quad \text{Ecuación 56}$$

En donde:

σ_{cT} = Esfuerzo de compresión total [N/m^2].

W_{pt} = Peso de la estructura de tubo AISI 304 [N].

A = Área transversal de la estructura [m^2].

Entonces:

$$\sigma_{cT} = \frac{981 \text{ N}}{0,000135 \text{ m}^2}$$

$$\sigma_{cT} = 7266666,67 \text{ N/m}^2$$

El esfuerzo de compresión en cada punto de apoyo es $\sigma_c = 1816666,67 \text{ N/m}^2$. Este valor se emplea para obtener el factor de seguridad de la estructura utilizando la siguiente fórmula:

$$F_S = \frac{S_y}{\sigma_{cT}} \quad \text{Ecuación 57}$$

Donde:

F_S = Factor de seguridad.

S_y = Límite de fluencia del material tubo AISI 304 [N/m^2].

σ_{cT} = Esfuerzo de compresión total [N/m^2].

Resolviendo la ecuación:

$$F_s = \frac{310000000 \text{ N/m}^2}{7266666,67 \text{ N/m}^2}$$

$$F_s = 42,66$$

Una vez encontrado este valor se concluye que la utilización del tubo estructural cuadrado con las especificaciones antes mencionadas es aceptable para realizar la estructura de la máquina comprendiendo que el factor de seguridad es de 42,66 un valor muy alto.

3.5.1.1 Cálculo de pandeo de la estructura.

Se calcula los esfuerzos en cada uno de los soportes de la máquina por el método de pandeo para determinar si el material que se va a emplear en la estructura es el idóneo.

Para calcular la relación de esbeltez se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Relación de esbeltez} = \frac{kL}{r} \quad \text{Ecuación 58}$$

Donde:

k = Constante dependiente del extremo fijo.

L = Longitud de la columna [m].

r = Radio de giro [m].

Para resolver la ecuación 58 se toma un valor K que se analiza en la siguiente figura.

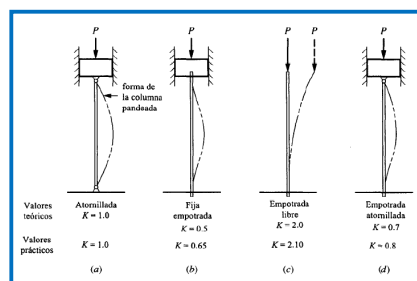


Figura 48: Valores k para longitud efectiva

Fuente: Diseño de elementos de máquinas (Mott, pág. 234)

El valor k seleccionado es de 2,1 ya que se toma a los soportes como de tipo empotrado libre.

$$\text{Relación de esbeltez} = \frac{2,1 \times 0,8 \text{ m}}{0,0095 \text{ m}}$$

$$\text{Relación de esbeltez} = 176,84$$

Para calcular la relación de esbeltez de transición se utiliza la siguiente ecuación:

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{S_y}} \quad \text{Ecuación 59}$$

En donde:

C_c = Relación de esbeltez de transición.

E = Módulo de elasticidad [MPa].

S_y = Límite de fluencia del material tubo AISI 304 [MPa].

Reemplazando la ecuación:

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 200000 \text{ MPa}}{310 \text{ MPa}}}$$

$$C_c = 112,85$$

Como se puede ver la relación de esbeltez = 176,84 es mayor que la relación de transición $C_c = 112,85$. Por lo que se procede a calcular el valor de la carga crítica con la siguiente ecuación de EULER.

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EA}{\left(\frac{kL}{r}\right)^2} \quad \text{Ecuación 60}$$

Donde:

P_{cr} = Carga crítica.

A = Área transversal [m^2].

E= Módulo de elasticidad [MPa].

Relación de esbeltez= 176, 84.

Resolviendo la ecuación:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2(200000 \times 0,000135)MPa.m^2}{(176,84)^2}$$

$$P_{cr} = 8521,23 N$$

Este valor se emplea para obtener el factor de seguridad con la ecuación que se muestra a continuación.

$$n_s = \frac{P_{cr}}{P_r} \quad \text{Ecuación 61}$$

En donde:

n_s = Factor de seguridad.

P_{cr} = Carga crítica [N].

P_r = Carga real [N].

$$n_s = \frac{8521,23 N}{981 N}$$

$$n_s = 8,69$$

Como se observa el factor de seguridad es un valor alto con lo que se puede concluir que el tubo estructural cuadrado AISI 304 que se escogió para la construcción de la estructura de la máquina va a soportar las cargas a las se encuentra sometido.

3.5.2 ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA DEL SISTEMA DE SELLADO

En esta estructura se apoya todo el sistema de sellado. Para calcular el espesor del tubo se toma en cuenta el peso aproximado de todos los elementos (cilindro, resistencia, pisador) que forman este sistema (10 Kgf) y la fuerza de 245,45 N que va ejercer el cilindro neumático siendo la fuerza total de 343,35 N.

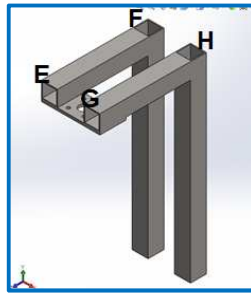


Figura 49: Estructura sistema de sellado

Para este análisis se utiliza el software MDSolid en el que ubica la fuerza de 343,35N como una carga puntual a una distancia de 129 mm y se obtiene el siguiente diagrama de fuerzas:

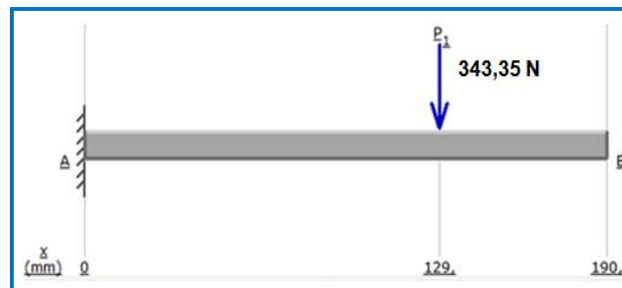


Figura 50: Diagrama de fuerzas de la viga.

Se encuentra el momento flector máximo mediante la utilización de la tabla 46 de vigas empotradas en un solo punto.

Tabla 46: Viga empotrada en un punto

SOLICITACION	DIAGRAMA DE MOMENTOS FLECTORES MOMENTO MAXIMO	DIAGRAMA DE ESFUERZOS CORTANTES REACCION EN APOYO
	 $M = F \cdot a$	 $R = F$
	 $M = F \cdot l$	 $R = F$

Fuente: Formulario de vigas. <http://www.slideshare.net/marggot696/formulario-de-vigas>

Para determinar el momento flector máximo se emplea una fórmula de la tabla anterior.

$$M_{max} = F \times a$$

En donde:

M_{max} = Momento Flector máximo [N.m].

F = Fuerza que se ejerce sobre la viga [N].

a = Longitud de la viga [m].

$$M_{max} = 343,35 \text{ N} \times 0,129 \text{ m}$$

$$M_{max} = 44,29 \text{ N.m}$$

Para calcular el espesor se considera el esfuerzo máximo de flexión que soporta la viga y se emplea la ecuación 55:

$$M = Z \times R$$

Despejamos Z para conocer el módulo de la sección

$$Z = \frac{M}{R}$$

$$Z = \frac{44,29 \text{ N.m}}{620\,000\,000 \text{ N/m}^2}$$

$$Z = 0,000000071 \text{ m}^3$$

$$Z = 0,071 \text{ cm}^3$$

El tubo debe tener un módulo de sección mínimo de $0,071 \text{ cm}^3$, con este valor se selecciona el espesor del tubo con la que se va a construir la estructura del sistema de sellado.

Se escoge un tubo estructural cuadrado AISI 304 de una pulgada, sus características se detallaron en la tabla 45.

El peso aproximado que se genera en toda la estructura del sistema de sellado, suponiendo una carga crítica en la estructura es de 50 Kg la misma que puede aplicarse debido a cargas que se presenten sobre ese soporte ya sean voluntarias o involuntarias.

Con la ecuación 56 se encuentra el esfuerzo de compresión al que está sometida la estructura.

$$\sigma_c = \frac{W_{pt}}{A}$$

$$\sigma_{cT} = \frac{490,5 \text{ N}}{0,000135 \text{ m}^2}$$

$$\sigma_{cT} = 3633333,33 \text{ N/m}^2$$

El esfuerzo de compresión en cada punto de apoyo es $\sigma_c = 1816666,67 \text{ N/m}^2$.
Con este valor se encuentra el factor de seguridad, empleando la fórmula 57.

$$F_s = \frac{S_y}{\sigma_{cT}}$$

Resolviendo la ecuación:

$$F_s = \frac{310000000 \text{ N/m}^2}{3633333,33 \text{ N/m}^2}$$

$$F_s = 85,32$$

El tubo seleccionado es adecuado para la construcción de la estructura de sellado ya que el factor de seguridad obtenido 85,32 es un valor alto.

3.5.2.1 Cálculo de pandeo de la estructura del sistema de sellado.

Para calcular la relación de esbeltez se utiliza la ecuación 58:

$$\text{Relación de esbeltez} = \frac{kL}{r}$$

El valor k que se selecciona es de 0,65 ya que se toma a los soportes como de tipo fija empotrada. (Ver figura 48)

$$\text{Relación de esbeltez} = \frac{0,65 \times 0,250 \text{ m}}{0,0095 \text{ m}}$$

$$\text{Relación de esbeltez} = 17,10$$

Se utiliza la fórmula 59 para calcular la relación de esbeltez de transición.

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{S_y}}$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 200000 \text{ MPa}}{310 \text{ MPa}}}$$

$$C_c = 112,85$$

Como se puede ver la relación de transición o constante de la columna $C_c = 112,85$ es mayor relación de esbeltez = 17,10. Lo que quiere decir que esta es una columna corta y se debe aplicar la siguiente fórmula de J.B.Johnson.

$$P_{cr} = AS_y \left[1 - \frac{S_y \left(\frac{KL}{r} \right)^2}{4\pi^2 E} \right] \quad \text{Ecuación 62}$$

Donde:

P_{cr} = Carga crítica.

A = Área transversal [m^2].

E = Módulo de elasticidad [MPa].

Relación de esbeltez = 17,10.

Resolviendo la ecuación:

$$P_{cr} = (0,000135 \times 310000000) \left[1 - \frac{310 (17,10)^2}{4\pi^2 (200000)} \right]$$

$$P_{cr} = 41850 \left[1 - \frac{90647,1}{7895683,52} \right]$$

$$P_{cr} = 41850 [1 - 0,012]$$

$$P_{cr} = 41347,8 \text{ N}$$

Para conocer el factor de seguridad de emplea la fórmula 61:

$$n_s = \frac{P_{cr}}{P_r}$$

$$n_s = \frac{41347,8 N}{490,5 N}$$

$$n_s = 84,29$$

El factor de seguridad que se obtuvo es un valor muy alto por lo que se puede deducir que el tubo cuadrado seleccionado es adecuado para la construcción de la estructura de sellado.

3.6 DISEÑO DE SISTEMA DE CONTROL

3.6.1.1 Función del sistema de control

El sistema de control se encarga de recibir las señales de los sensores y enviar señales de respuesta a los diferentes actuadores que constituyen la máquina selladora.

3.6.1.2 Requerimientos de diseño

- El sistema va a manejar diferentes variables de control por lo tanto el controlador lógico programable debe tener varias entradas y salidas digitales.
- Además de ser capaz de enviar una respuesta en tiempo real.
- Robusto y confiable para las industrias.

En la figura 51 se observa un diagrama de proceso de la máquina selladora.

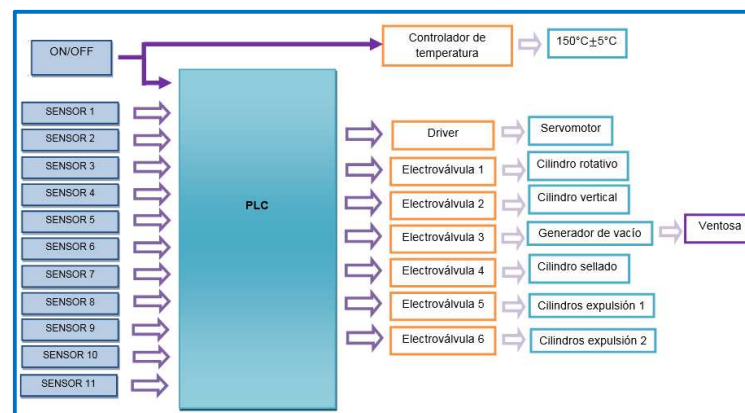


Figura 51: Proceso de la máquina selladora

3.6.2 SELECCIÓN DEL CONTROLADOR

Un Controlador Lógico Programable PLC es un dispositivo digital utilizado para el control de máquinas y operación de procesos industriales; además puede ser programado por el usuario.

Para el control del sistema de desplazamiento del plato giratorio, sistema de colocación de las láminas de aluminio, sistema de sellado y sistema de expulsión se utiliza un PLC mediante el cual se controla los sensores y actuadores que intervienen en el proceso de la máquina selladora de vasos.

En la siguiente tabla se muestra una breve comparación de marcas y modelos para seleccionar el PLC más adecuado para la aplicación.

Tabla 47: *Característica técnicas generales plcs*

MODELOS DE PLC			
MARCA	TELEMECANIQUE	SIEMENS	ALLEN-BRADLEY
MODELO	TWDLMDA20DRT	S7 200	SLC-500
# I/O	12/12	14/10	12/8
Memoria	8 kb/5kb	32kb/64kb	8 kb
PUERTO DE EJECUCIÓN	1 Puerto comunicación Serie RS485	1 Puerto comunicación Serie RS485	1 Puerto de comunicación Serie RS232
TIEMPO DE EJECUCIÓN	0.37 us	40 ms	8 ms

Se elige el PLC SIMENS S7-200 por sus características y facilidad de adquisición en el mercado.

3.6.2.1 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE SIMENS S7-200

El SIMATIC S7-200 es ciertamente un micro PLC al máximo nivel: es compacto y potente, particularmente en lo que atañe a respuesta en tiempo real. Ofrece una conectividad extraordinaria y todo tipo de facilidades en el manejo del software y del hardware. (SIEMENS, SIMATIC S7-200. Tecnología de control al máximo nivel)

El PLC S7-200 tiene una carcasa compacta, un microprocesador, una fuente de alimentación integrada, así como entradas y salidas como se puede mostrar en la siguiente figura:

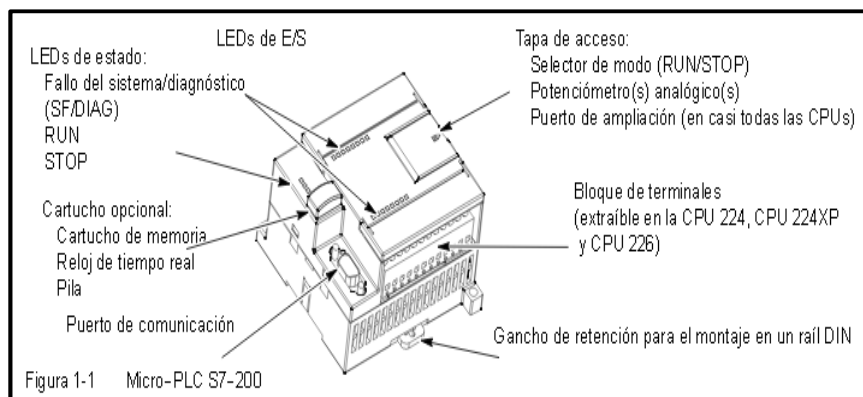


Figura 52: Micro PLC S7-200

Fuente: Manual del sistema de automatización S7-200 (SIEMENS, 2008)

3.6.2.2 Característica CPU 224

En la siguiente tabla se muestran los datos específicos para el CPU 224.

Tabla 48: Característica técnicas CPU 224

Entradas/Salidas Digitales Integradas	14ED/10SD
Entradas/Salidas Analógicas Integradas	0ED/0SD
Puertos de comunicación RS485	1
Potenciómetros analógicos de 8 bits integrados	2
Reloj en tiempo real	si
Memoria de datos	8192 bytes
Módulos de ampliación	7

Fuente: Tecnología de control al máximo nivel (SIEMENS)

3.6.3 SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS DE CONTROL

En el proceso de la máquina selladora de vasos intervienen varios elementos que tienen como función censar las distintas variables y activar a los diferentes sistemas para realizar una selección adecuada se debe determinar las características técnicas de los componentes.

3.6.3.1 Sensores

En la tabla se observa las características principales de los diferentes sensores, la misma que nos ayudará a elegir los más óptimos de acuerdo a su función en el sistema.

Tabla 49: Descripción de tipos de sensores

SENSORES	CARACTERÍSTICAS
INDUCTIVOS	<p>Este sensor incorpora una bobina electromagnética la misma que detecta la presencia de objetos metálicos.</p> <p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - No entran en contacto directo con el objeto a detectar. - No se desgasta - Son insensibles al polvo y a la humedad <p>Desventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Solo detectan la presencia de objetos metálicos. - El margen de operación es más corto en comparación de otros sensores
CAPACITIVO	<p>Son similares a los inductivos. La diferencia principal es que este produce un campo electrostático en lugar de un campo electromagnético.</p> <p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Detecta la presencia de objetos metálicos y no metálicos. - No entran en contacto directo con el objeto a detectar. <p>Desventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Detectan distancias cortas.

	<ul style="list-style-type: none"> - Sensibles a factores ambientales como la humedad. - Costosos
MAGNÉTICO	<p>También se denominan relés. Constan de un sistema de contacto cuyo accionamiento será provocado por la aparición de un campo magnético.</p> <p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Detectan la posición de fin de carrera a través del vástago del cilindro. <p>Desventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Detectan distancias muy reducidas.
FOTOELÉCTRICO	<p>Está basado en la generación de un haz de luz luminoso por parte de un foto-emisor que se proyecta bien sobre un foto-receptor o bien sobre un dispositivo reflejante del haz por parte del objeto a detectar, provocando el cambio de estado de la salida de la fotocélula. Existen 4 tipos de sensores fotoeléctricos: de barrera réflex, auto-réflex y de fibra óptica.</p> <p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Detección de todo tipo de objetos. - Fácil instalación. - Su costo varía de acuerdo a su tipo. <p>Desventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Corto alcance la distancia depende de las características de objeto a detectar.

Fuente: <http://cmapublic2.ihmc.us/rid=1H2B63T5G-1SLKJ1L-J52/Sensores%20fundamentos,%20tipos%20y%20caracter%20C3%ADsticas.pdf>

La actividad que realiza cada sensor está relacionada directamente con la posición en la que se encuentre el plato giratorio.

3.6.3.1.1 Sensor de proximidad magnéticos

Algunos sensores magnéticos tienen en su interior interruptores de lámina o llamados red switch.

Los red switch son pequeños bulbos de vidrio que en su interior tienen dos láminas de contacto que atraen al detectar un campo magnético (imán). En la siguiente figura se observa el funcionamiento del sensor magnético en donde al momento de detectar un campo magnético las láminas de contacto se atraen produciendo que el indicador se encienda. Consta de tres hilos alimentación, tierra y señal.

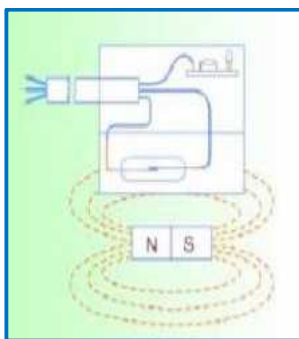


Figura 53: Principio de funcionamiento de un sensor magnético

Fuente:

http://www.leomar.com.br/modelix/index.php?option=com_content&view=article&id=131:sensor-magnetico&catid=46:data-sheets&Itemid=61&lang=pt

Este sensor tiene como objetivo detectar la posición en la que se encuentra el émbolo y enviar una señal al controlador lógico programable si este está en su posición inicial.

Se utiliza estos sensores en el cilindro sellador, cilindro de expulsión y cilindros de posicionamiento de la ventosa ya que son procesos de suma importancia para el buen funcionamiento de la máquina selladora.

A continuación se muestra las especificaciones técnicas del sensor de proximidad magnético empleado:

Tabla 50: Característica técnicas sensor

Marca	SICK
Modelo	MZT8
Voltaje de operación	10 a 30 VDC

Tiempo de conexión	≤1 ms
Tiempo de desconexión	≤1 ms
Temperatura de funcionamiento	-30 a 80 °C
Grado de protección	IP 68

Fuente: Características técnicas del sensor de proximidad magnético (SICK, Sensor MZT8)

3.6.3.1.2 Sensor de proximidad inductivo

Los sensores de proximidad, son sensores que detectan la presencia sin contacto de metales ferrosos convirtiendo una señal de movimiento o presencia de un objeto en una señal eléctrica.

Se emplea este sensor en la detección de la lámina de aluminio para que se realice la etapa de sellado caso contrario se detenga el proceso.

Tabla 51: Característica técnicas sensor de proximidad

Modelo	XS1 N18PA349D
Voltaje de operación	12 a 24 VDC
Distancia nominal de operación	10mm
Retardo de respuesta	0,3 ms
Grado de protección	IP 69

Fuente: Características técnicas XS1 N18PA349D. (Schneider Electric)

3.6.3.1.3 Sensor fotoeléctrico de proximidad

Se utiliza este tipo de sensor para la detección del envase plástico e iniciar el proceso de colocación de las láminas de aluminio y sellado.

Tabla 52: Característica técnicas sensor

Marca	SICK
Modelo	V18-AP2612
Voltaje de operación	10 a 30 VDC

Distancia nominal de operación	45mm
Retardo de respuesta	≤2 ms
Temperatura de funcionamiento	-25 a 70 °C
Grado de protección	IP 67

Fuente: Características técnicas sensor V18. (SICK, Catalogo sensores SICK, 2006)

3.6.3.2 Electroválvulas

Las electroválvulas son las encargadas de dar una señal a los actuadores para que realicen una determinada actividad.

La electroválvula 1 que se va a emplear en este sistema, permitirá la activación del generador de vacío en el momento en el que el plato se posicione en esta estación para iniciar el proceso de succión, cuando el cilindro este en su posición inicial se activará la electroválvula para succionar la lámina y depositarla en el envase lleno.

En la siguiente tabla se detallan las características técnicas de la electroválvula a utilizar:

Tabla 53: *Característica técnicas electroválvula*

Marca	MAC
Modelo	M681
Válvula	3/2
Voltaje de operación	24 VDC
Presión de trabajo	1-10 bar
Potencia	8,5 W
Tamaño	¼"

Fuente: <http://cdn2.hubspot.net/hub/97890/docs/100catalog.pdf?t=1424376152000>

Las electroválvulas 2 y 3 son las encargadas de dar el movimiento al sistema de sujeción de la ventosa, las mismas que se activarán en el momento en el que el plato se posicione en esta estación. La electroválvula 4 activará al cilindro de

sellado el mismo que va descender y presionar la lámina en contra del envase por 4 segundos.

Finalmente la electroválvula 5 tiene como objetivo dar la señal al cilindro para que se realice la expulsión del envase cuando el plato se haya posicionado en la última estación.

En la tabla que se muestra a continuación se observa las características técnicas de las electroválvulas a utilizar:

Tabla 54: *Característica técnicas electroválvula*

Marca	SNS
Modelo	4V210-08
Válvula	5/2
Voltaje de operación	24 VDC
Presión de trabajo	1-8 bar
Potencia	3 W
Tamaño	1/4"

Fuente: Pneumatic components (SNS, 2008)

3.6.3.3 Controlador de temperatura

Es el encargado de mantener una temperatura estable en el pisador. Este controlador se detalla a continuación.

Tabla 55: *Característica técnicas controlador de temperatura*

Marca	WATLOW
Serie	PM6
Voltaje de operación	85/264 VAC
Tipo de control	ON/OFF
Exactitud de medición	±0.1%
Temperatura ambiente de trabajo	-18 a 65 °C

Fuente: Manual de usuario (WATLOW)

La temperatura del pisador esta censada por un sensor de temperatura que tiene como objetivo enviar la señal al controlador para que este se active o desactive para obtener el rango de temperatura deseado. Existen una variedad de tipos de termocuplas en la siguiente tabla se muestran las más comunes:

Tabla 56: *Tipos de temocuplas comunes*

Tipo	Cable(+) Aleación	Cable(-) Aleación	°C	Rango (max, min) mV
J	Hierro	Cobre/Níquel	-180 a 750	42,2
K	Níquel/Cromo	Níquel/Aluminio	-180 a 1372	54,8
T	Cobre	Cobre/Níquel	-250 a 400	20,8
R	87% Platino 13% Rhodio	100% Platino	0,1767	21,09
S	90% Platino 100% Rhodio	100% Platino	0,1767	18,68
B	70% Platino 30% Rhodio	94% Platino 6% Rhodio	0,1820	13,814

Fuente: <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=1502>

Como el controlador de temperatura admite una temocupla tipo K se elige la misma, además de ser una de las más utilizada en la industria ya que tiene un rango de temperatura de medición muy amplia como se puede observar en la tabla anterior.

Debido a que el rango de trabajo es de 140 y 150 se utiliza un control ON-OFF ya que es un sistema confiable, fácil de controlar. Además de ser comúnmente utilizado en las industrias.

3.6.3.4 Pulsadores

Los pulsadores son dispositivos que tienen como función realizar una determinada actividad como encender y apagar un proceso. Existen una variedad de tipos, formas, colores y su elección es de acuerdo al criterio del diseñador.

En la tabla que se muestra a continuación se detallan las características y la función de los pulsadores a utilizar en el sistema de control.

Tabla 57: Pulsadores empleados en los tableros de control

Tipo	Características		Función
Pulsador ON	Contacto	NO	Energiza la máquina
	Voltaje de operación	110 VAC	
	Amperaje	6 A	
	Color	Verde	
Pulsador OFF	Contacto	NC	Desenergiza la máquina
	Voltaje de operación	110 VAC	
	Amperaje	6 A	
	Color	Rojo	
Botón paro de emergencia	Contacto	NC	Desconecta la máquina y mientras este se encuentre enclavado no se puede encender.
	Voltaje de operación	110 VAC	
	Amperaje	3 A	
	Color	Rojo	
Pulsador ON	Contacto	NO	Enciende el sistema de control.
	Voltaje de operación	24 VDC	
	Amperaje	3 A	
	Color	Verde	
Pulsador OFF	Contacto	NC	Apaga el sistema de control
	Voltaje de operación	24 VDC	
	Amperaje	3 A	
	Color	Rojo	

3.6.3.5 Luces piloto

Son indicadores que tienen como objetivo mostrar las condiciones en que se encuentra un proceso.

En la siguiente tabla se observa las características y la función de las luces piloto a implementar en el sistema de control.

Tabla 58: *Indicadores empleados en el tablero de control*

Tipo	Características		Función
Indicador ON	Voltaje de operación	24 VDC	Inicio del proceso
	Amperaje	20 mA	
	Color	Verde	
Indicador OFF	Voltaje de operación	24 VDC	Paro del proceso
	Amperaje	20 mA	
	Color	Rojo	

3.7 SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE PROTECCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

3.7.1 BREAKER

Es un elemento capaz de interrumpir el paso de corriente si esta se excede de un valor determinado evitando que los dispositivos sufran daño alguno; además es el encargado de proteger a todo el sistema de control por lo que es un componente indispensable en la implementación de un sistema de control.

A continuación se observa las especificaciones técnicas del breaker que se va a emplear:

Tabla 59: *Características técnicas del breaker*

Marca	LS
Tensión máxima	400 VAC
Tensión nominal	230/400 VAC

Corriente	25 A
Polos	2

Fuente: <http://pdf.directindustry.es/pdf/ls-industrial-systems/miniature-circuit-breakers/19851-4057.html>

3.7.2 CONTACTORES

Un contactor eléctrico funciona como un interruptor ya que tiene como objetivo permitir o no el paso de la corriente a través de sus contactos. Se emplea para energizar los elementos eléctricos del tablero de control y el servomotor.

En la siguiente tabla se muestra las especificaciones técnicas del contactor a utilizarse.

Tabla 60: *Características técnicas del contactor*

Marca	LS
Tensión nominal	230 VAC
Corriente	32 A
Potencia	4 Kw

Fuente: http://www.slideshare.net/maianhbao_6519/low-voltage-circuit-breakers-contactors-general-leaflet-ls

3.7.3 FUSIBLES

Los fusibles son elementos de seguridad que permiten salvaguardar dispositivos eléctricos y electrónicos. Este componente permite el paso de corriente mientras esta no supere su valor establecido.

Se los selecciona de acuerdo al amperaje que se va manejar en la siguiente tabla se observa las características técnicas de los dispositivos a utilizar.

Tabla 61: *Características técnicas de los fusibles*

Marca	CAMSCO
Tensión nominal	500 VAC
Corriente (SERVOMOTOR)	16 A

Corriente (PLC)	8 A
------------------------	------------

Fuente: <http://www.camscointernational.com/productos/fusibles.html>

3.7.4 CONDUCTORES ELECTRICOS

Son hilos de metal de cobre o aluminio y se usan principalmente para conducir la corriente eléctrica.

El calibre o sección del conductor se seleccionan de acuerdo al amperaje que este va a transportar.

Existen varios sistemas para establecer el calibre de los conductores, y de entre ellos el sistema americano AWG (American Wire Gage) es el más popular y conocido en nuestro medio.

Tabla 62: *Especificaciones técnicas de conductores eléctricos*

Calibre AWG	Sección (mm ²)	Capacidad de corriente
		Para 1 cond. Al aire libre (A)
20	0,519	5
18	0,823	7
16	1,310	10
14	2,08	25
12	3,31	30
10	5,26	40

Fuente: http://disensa.com/main/images/pdf/electro_cables.pdf

$$I_{servo} = 11,7 A$$

$$I_{driver} = 4 A$$

$$I_{plc} = 4 A$$

$$I_{controladorT} = 1 A$$

$$I_{resistencia} = 3A$$

$$I_T = I_{servo} + I_{driver} + I_{plc} + I_{controladorT} + I_{resistencia}$$

$$I_T = 11,7 + 4 + 4 + 1 + 3$$

$$I_T = 23,4 A$$

Este tipo de conductores se utiliza para tableros eléctricos de control y circuitos de fuerza. De acuerdo a la tabla anterior y el cálculo realizado se selecciona el conductor de calibre 18 para los circuitos de control además de ser el más utilizado y el conductor de calibre 12 para circuitos de potencia.

CAPÍTULO IV

IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS

4.1 CONSTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA

Una vez diseñados todos los sistemas que conforman la máquina selladora de vasos de yogur se procede a elaborar todas sus partes.

4.1.1 OPERACIONES DE MECANIZADO

Para la realizar las partes que conforman la máquina selladora se utilizaron operaciones tecnológicas y se enumeran en la siguiente tabla.

Tabla 63: *Operaciones de mecanizado*

ACTIVIDADES	
PRIORIDADES	DESCRIPCIÓN
1	Trazado del plano
2	Corte del material
3	Torneado
4	Fresado
5	Soldado
6	Esmerilado
7	Doblado
8	Taladrado
9	Roscado
10	Pulido

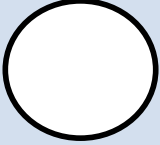
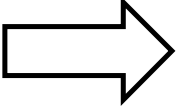

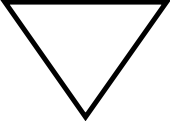
4.1.2 REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA CONSTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA

Se utiliza un diagrama de flujo para detallar todas las operaciones mecánicas realizadas a las partes que constituyen la máquina.

La norma ASME (American Society of Mechanical Engineer) ha desarrollado símbolos para representar diagramas de flujo de diseño, materiales, procesos de

fabricación y pruebas sobre equipos. En la tabla que se muestra a continuación se describe la simbología empleada.

Tabla 64: *Simbología ASME para diagramas de flujo*

Símbolo	Significado	Utilización
	Operación	Fases del proceso
	Desplazamiento o transporte	Movimiento del material o elemento de un lugar a otro.
	Inspección	Inspección de calidad o cantidad.
	Fin de proceso	Término del proceso.

Fuente: (Acosta Jaramillo, 2014)

En los siguientes diagramas de flujo se muestra todas las actividades de mecanizado realizadas para la construcción de las partes que intervienen en la máquina:

- Plato giratorio
- Eje
- Sistema de colocación de las láminas de aluminio
- Sistema de sellado.
- Sistema de expulsión.
- Soportes actuadores neumáticos.
- Estructura

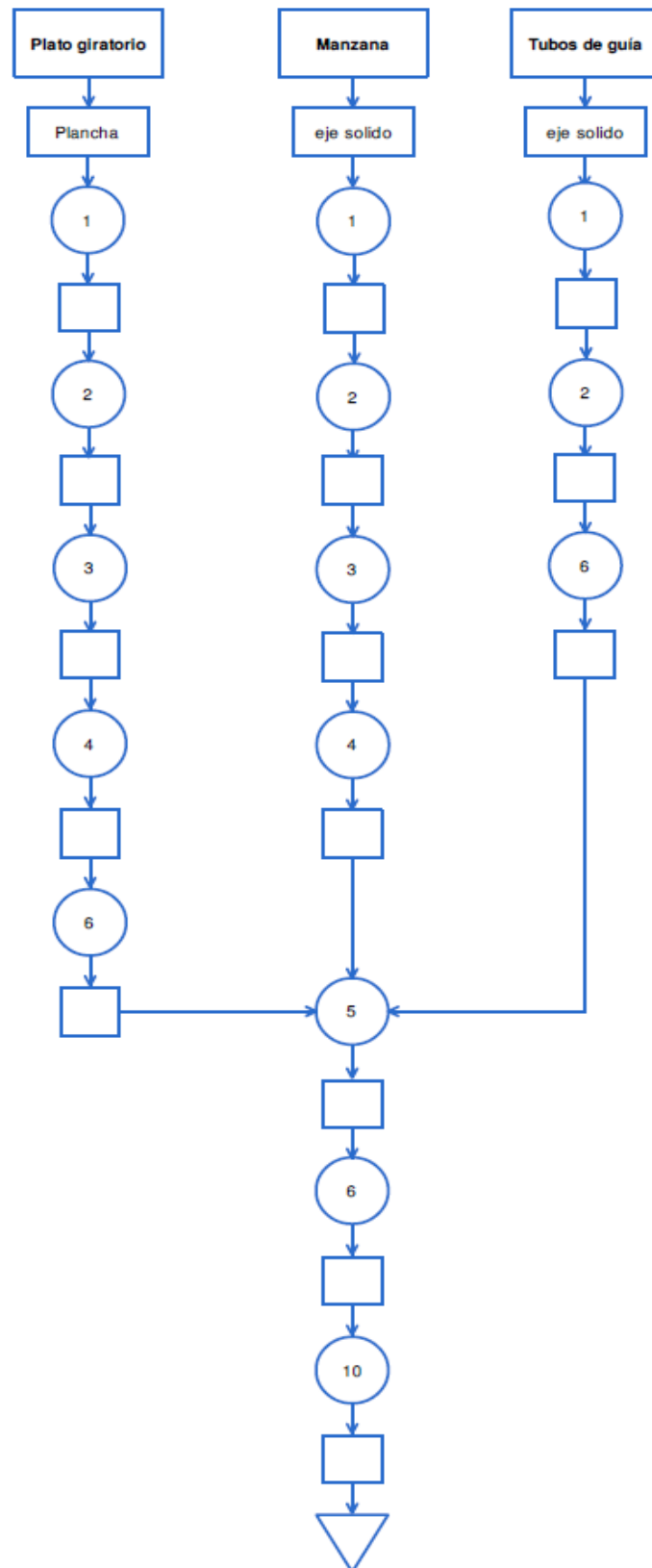


Figura 54: Construcción plato giratorio y sus elementos



Figura 55: Maquinado plato giratorio

En la siguiente figura se observa el acabado final del plato giratorio.



Figura 56: Plato giratorio terminado

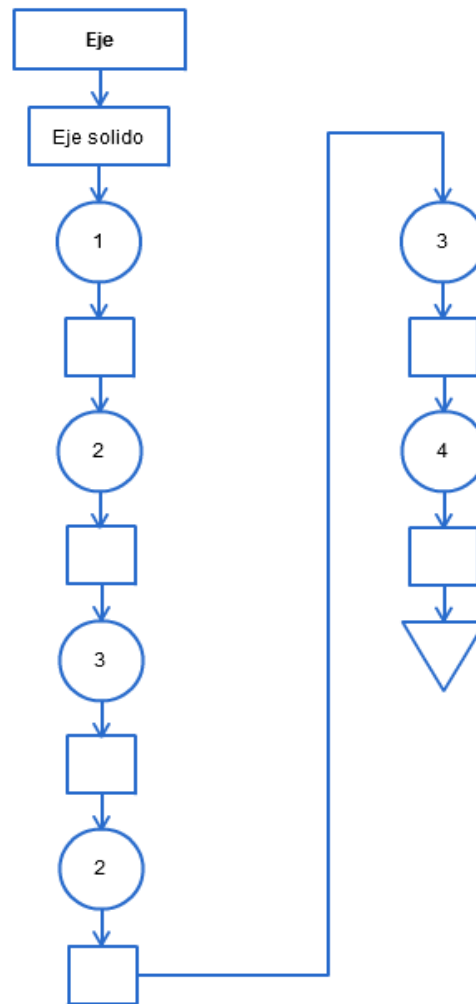


Figura 57: Construcción eje

En la figura 57 se observa el eje terminado.



Figura 58: Eje en su etapa final

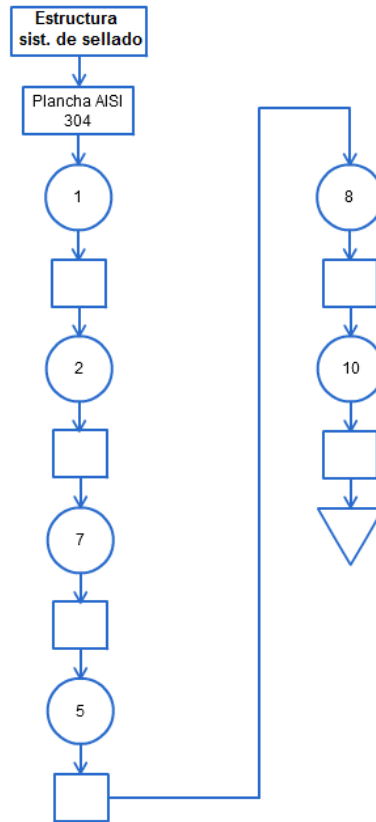


Figura 59: Construcción de la base del sellador

En las siguientes figuras se observa la vista frontal y lateral de la base del sistema de sellado.



Figura 60: Estructura del sistema de sellado

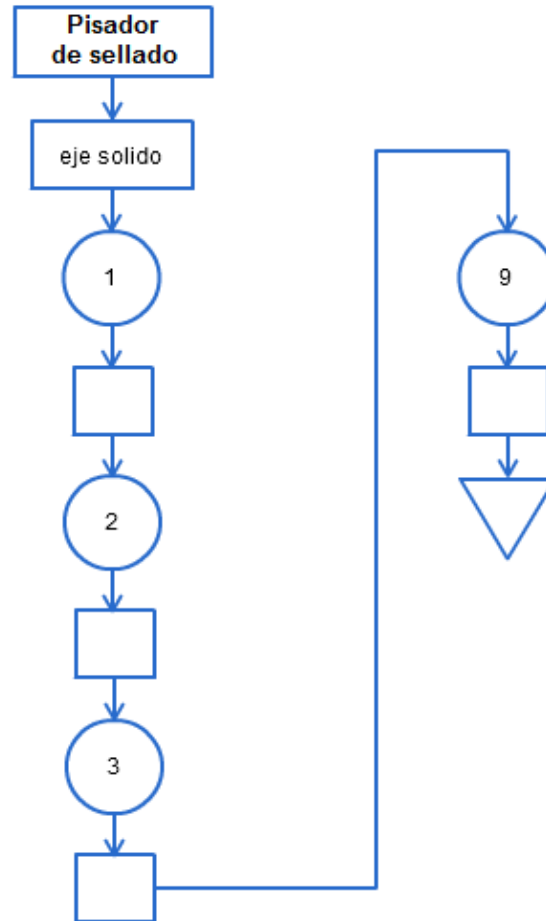


Figura 61: Construcción pisador de sellado

En la figura se observa el pisador de sellado construido en acero inoxidable AISI 304.

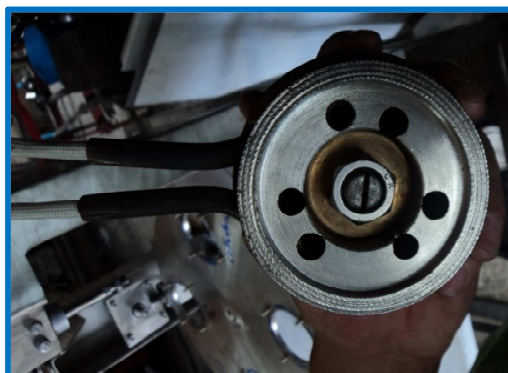


Figura 62: Construcción final base sellador

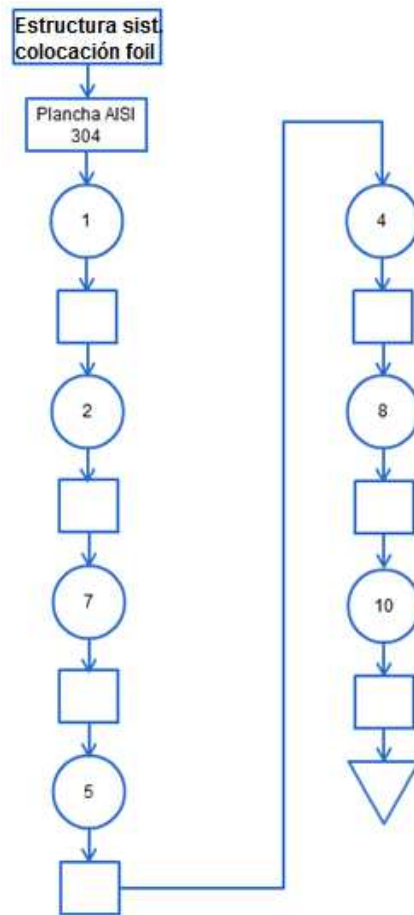


Figura 63: Construcción del soporte láminas de aluminio

En las figura 63 se muestra la vista frontal y lateral de la estructura del sistema de colocación de láminas de aluminio.



Figura 64: Vista de la estructura de soporte de las láminas de aluminio

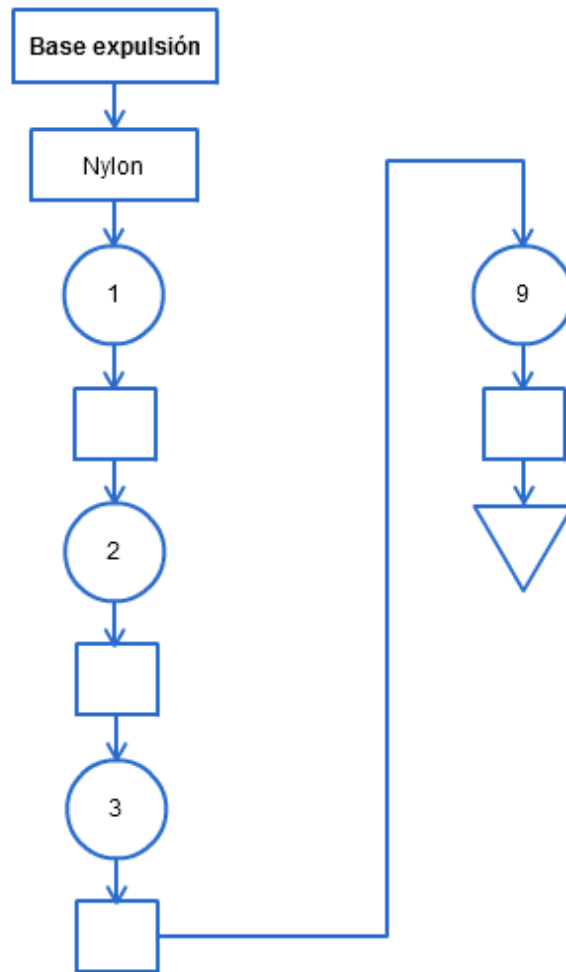


Figura 65: Construcción base de expulsión



Figura 66: Vista lateral de la base del cilindro de expulsión

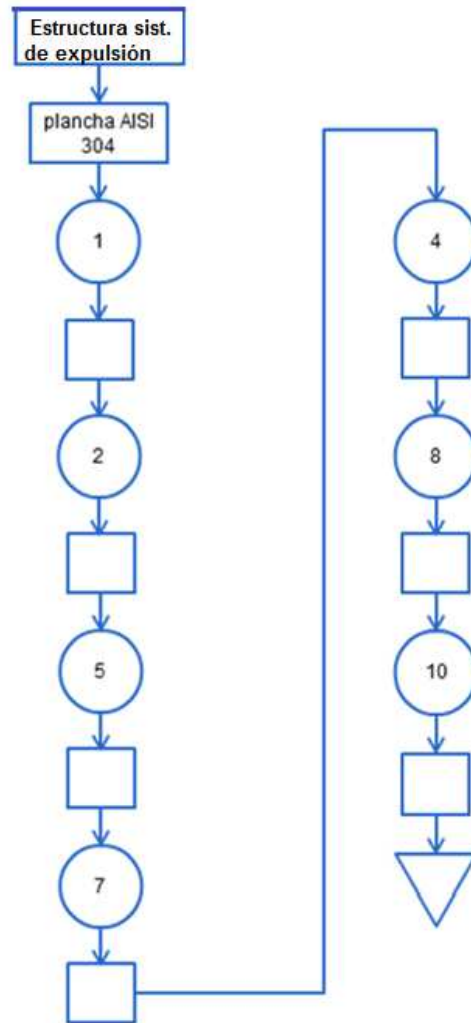


Figura 67: Construcción estructura sistema de expulsión

En las figura se muestra la estructura que se utiliza para la expulsión del envase luego de haber terminado el proceso de sellado.



Figura 68: Vista lateral del soporte del brazo de expulsión

4.2 ENSAMBLAJE DE LA MÁQUINA

Se detallan las actividades que se realizan para el ensamblaje de los elementos neumáticos que constituyen la máquina mediante un diagrama de flujo y de acuerdo a la norma ASME.

En la siguiente tabla se muestra las actividades que se efectúan:

Tabla 65: *Actividades del ensamblaje de la máquina*

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES
E1	Instalación estructura principal
E2	Instalación de chumaceras
E3	Instalación del eje
E4	Instalación del plato giratorio
E5	Instalación estructura de soporte láminas de aluminio
E6	Instalación tubo de succión
E7	Instalación estructura sistema de sellado
E8	Instalación pisador de sellado
E9	Instalación estructura de sistema de expulsión
E10	Instalación de los actuadores neumáticos
E11	Instalación de los sensores
E13	Instalación de la caja de control

A continuación se observa un diagrama de flujo de las actividades realizadas:

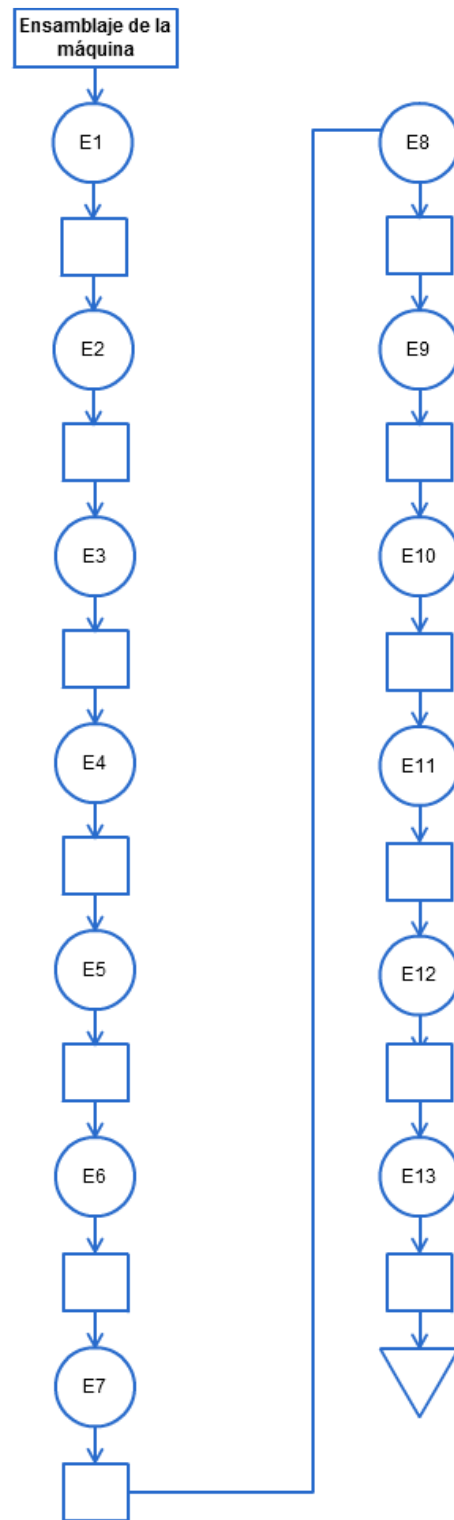


Figura 69: Diagrama de flujo del ensamble de la máquina

4.2.1 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA NEUMÁTICO

En la tabla 66 se enumeran los pasos que se emplearon para la implementación de todos los elementos que conforman el sistema neumático de la máquina con su respectiva nomenclatura.

Tabla 66: *Actividades de implementación de los componentes neumáticos*

ITEM	DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES
1	Ubicación de los cilindros neumáticos para el sistema de colocación de las láminas de aluminio.
2	Ubicación del cilindro neumático para el sistema de sellado.
3	Colocación de los cilindros del sistema de expulsión.
4	Ubicación de los racores, reguladores de presión y silenciadores.
5	Colocación y conexión de las electroválvulas.
6	Ubicación y conexión del generador de vacío
7	Colocación y conexión unidad de mantenimiento
8	Conexión red de aire del compresor
9	Etiquetado de mangueras.

En la siguiente figura se muestra un diagrama de flujo de la implementación del sistema neumático de la máquina.

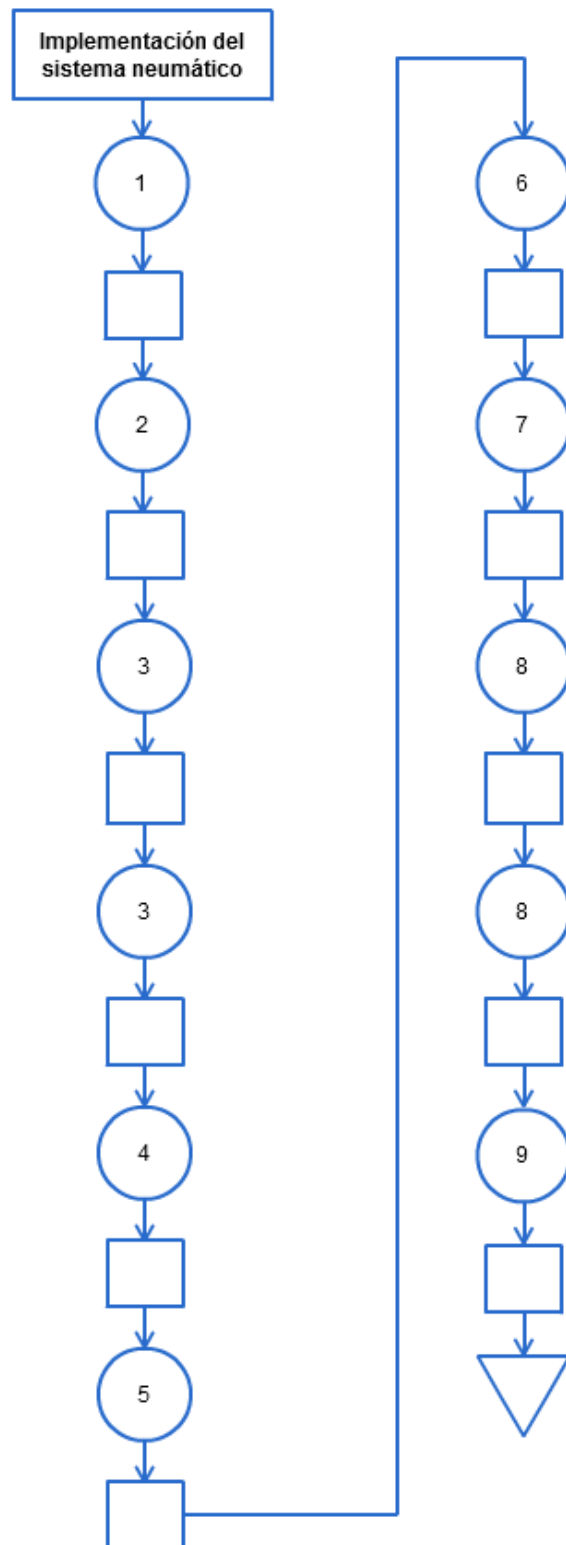


Figura 70: Diagrama de flujo de la implementación del sistema neumático

Tabla 67: *Actividades realizadas en el sistema neumático*

ACTIVIDAD 1 Y 4	
	
ACTIVIDAD 2 Y 4	ACTIVIDAD 3 Y 4
	
	

ACTIVIDAD 4,5,6,7,8 Y 9



4.2.2 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

Para implementar el tablero de control de la máquina se realiza las actividades que se describen en la siguiente tabla:

Tabla 68: *Actividades para la implementación del sistema de control*

ÍTEM	DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES
1	Evaluación y selección de la caja metálica.
2	Ubicación de los rieles DIN y ductos de cableado
3	Colocación de los componentes eléctricos de control (breakers, contactores, fusibles).
4	Ubicación de la fuente de poder del servo driver y plc.
5	Colocación servo driver.
6	Ubicación del plc.
7	Colocación de las borneras.
8	Ubicación de los relés.
9	Colocación del controlador de temperatura
10	Conexión del plc
11	Conexión de los pulsadores y paro de emergencia.
12	Conexión de los sensores
13	Conexión de las electroválvulas.
14	Conexión del servo driver.
15	Conexión de las fuentes de poder y etiquetado de los cables

4.2.2.1 Implementación del tablero de control

De igual forma se realiza un diagrama de flujo de acuerdo a las norma ASME y se observa en la siguiente figura:

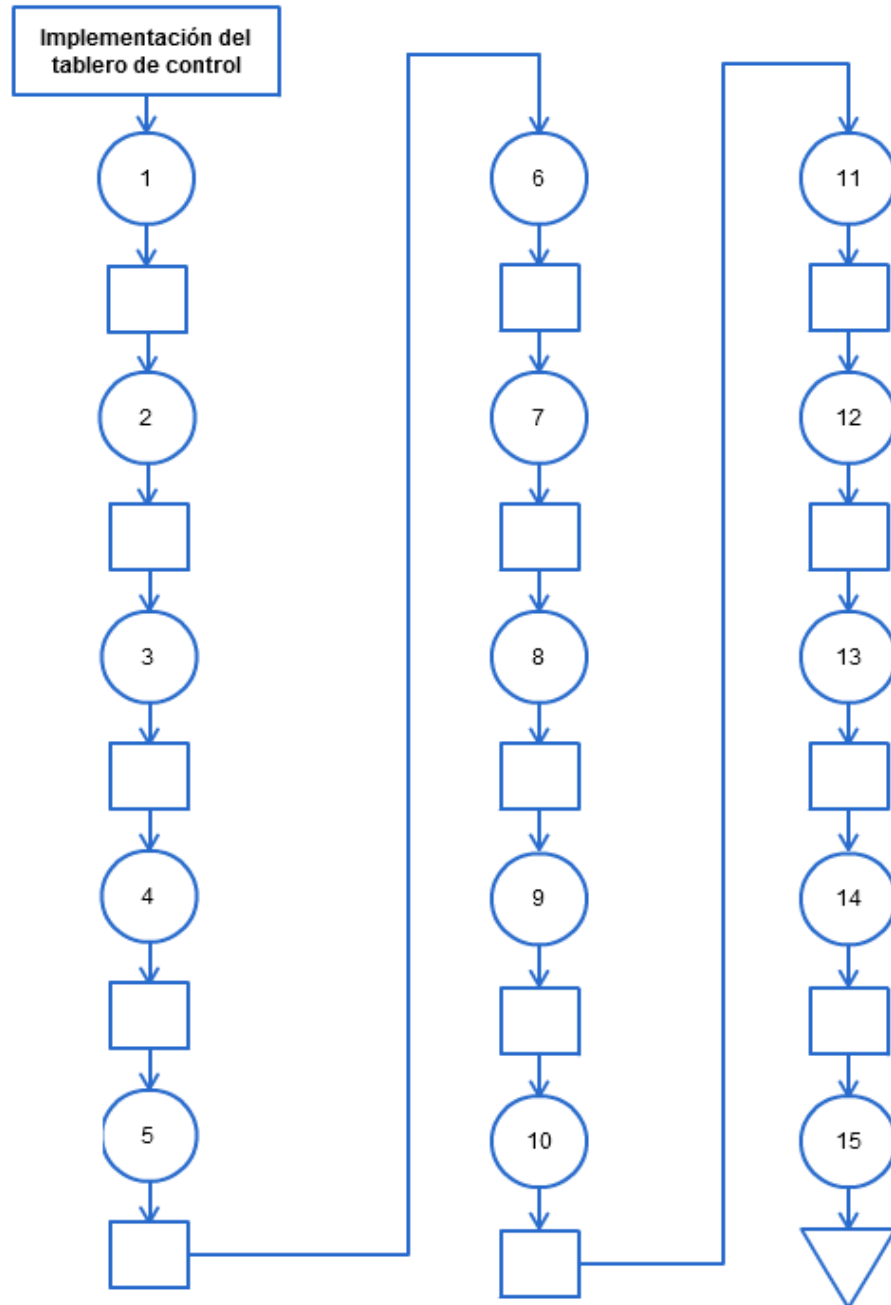
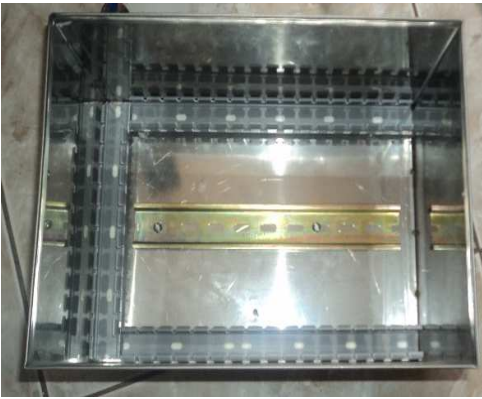
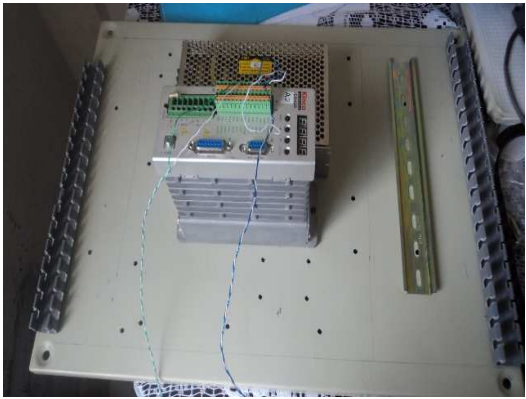

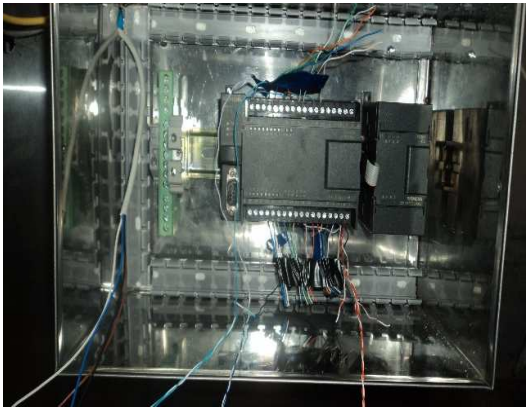


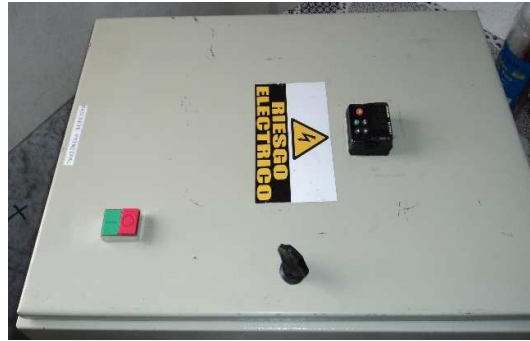
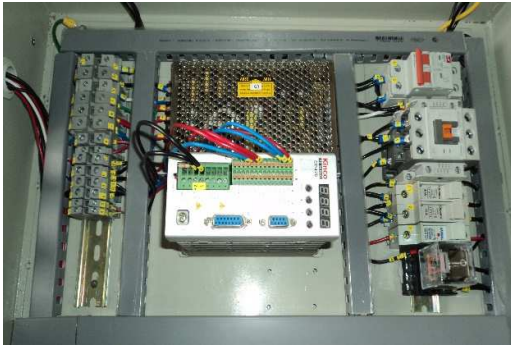


Figura 71: Diagrama de flujo para la implementación del tablero de control

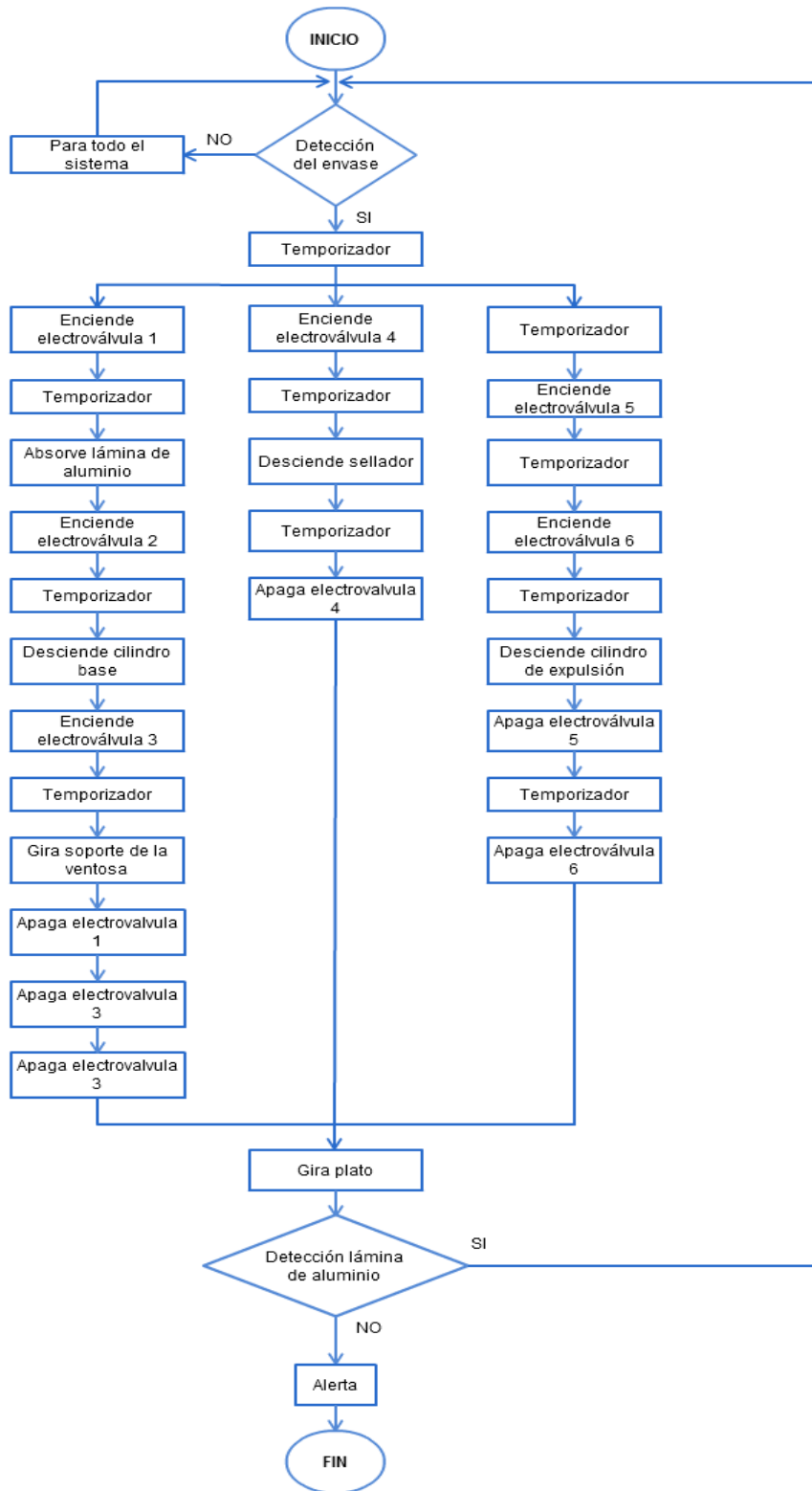
Tabla 69: *Actividades realizadas en el sistema de control*

ACTIVIDAD 1 Y 2	
	
ACTIVIDAD 3, 4 Y 5	ACTIVIDAD 6 Y 7
	
ACTIVIDAD 7, 8 y 9	ACTIVIDAD 8, 10, 11, 12 y 13
	

ACTIVIDAD 14 y 15



4.2.3 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA DE CONTROL



4.2.4 DISEÑO DEL PROGRAMA DE CONTROL

4.2.3.1 Tabla de variables control plc

En la siguiente tabla se observa las variables que se utilizan para la programación del PLC.

Tabla 70: *Variables de programación*

Nombre	Dirección	Descripción de la variable
Botón de encendido	I0.0	Pulsador de encendido proceso.
Botón de paro	I0.1	Pulsador de apagado proceso.
Sensor 1	I0.2	Detecta la presencia envase para dar inicio al proceso.
Sensor 2	I0.3	Detecta la posición del plato.
Sensor 3	I0.4	Detecta la presencia del émbolo en posición inicial (expandido) del cilindro 1 (sistema de colocación de las láminas de aluminio).
Sensor 4	I0.5	Detecta la presencia del émbolo en posición final (contraído) del cilindro 1 (sistema de colocación de las láminas de aluminio).
Sensor 5	I0.6	Detecta la presencia del émbolo en posición inicial (derecha) del cilindro rotativo (sistema de colocación de las láminas de aluminio).
Sensor 6	I0.7	Detecta la presencia del émbolo en posición inicial (izquierda) del cilindro rotativo (sistema de colocación de las láminas de aluminio).
Sensor 7	I1.0	Detecta la presencia del émbolo en posición inicial (contraído) del cilindro 2 (sistema de sellado).
Sensor 8	I1.1	Detecta la presencia del émbolo en posición inicial (expandido) del cilindro 2 (sistema de sellado).
Sensor 9	I1.2	Detecta la presencia del émbolo en posición inicial (contraído) del cilindro 3 (sistema de

		expulsión).
Sensor 10	I1.3	Detecta la presencia del émbolo en posición inicial (expandido) del cilindro 3 (sistema de expulsión).
Sensor 11	I1.4	Detecta la presencia del émbolo en posición inicial (expandido) del cilindro 4 (sistema de expulsión).
Sensor 12	I1.5	Detecta la presencia del émbolo en posición inicial (contraído) del cilindro 4 (sistema de expulsión).
Luz de encendido	Q0.0	Indicador de inicio de proceso de la máquina selladora.
Luz de paro	Q0.1	Indicador de parada de la máquina selladora.
Electroválvula 1	Q0.2	Activación electroválvula para desplazar el cilindro 1.
Electroválvula 2	Q0.3	Activación electroválvula para girar el cilindro rotativo.
Electroválvula 3	Q0.4	Activación generador de vacío.
Electroválvula 4	Q0.5	Activación electroválvula para desplazar el cilindro 2.
Electroválvula 5	Q0.6	Activación electroválvula para desplazar el cilindro 3.
Electroválvula 6	Q0.7	Activación electroválvula para desplazar el cilindro 4.
Servomotor	Q1.0	Activación servomotor

4.2.5 CONFIGURACIÓN PARAMETROS DE CONTROL SERVO MOTOR

En la tabla que se describe a continuación se establece las funciones que se utilizaron para configurar y controlar el servomotor.

Tabla 71: Grupo de funciones del control para el servo driver

INSTRUCCIONES DE CONTROL	
FUNCIONES	DESCRIPCIÓN

F000	Establece un grupo de instrucciones del controlador. Los parámetros de este grupo no se pueden guardar.
F001	Se emplea para ajustar en tiempo real la visualización de datos.
F002	Sirve para ajustar los parámetros de bucle de control.
F003	Ajuste de los parámetros del modo de funcionamiento de entradas/salidas.
F004	Establece los parámetros del motor.
F005	Establece los parámetros del driver.
F006	Operación de prueba.
F007	Visualización del historial de registro de errores.

Fuente: Manual de usuario servo driver (KINCO, 2013)

Para configurar los parámetros del servo driver primeramente se debe definir los puertos de entrada digital de señales que se envían al mismo. En la siguiente tabla se describe la función de cada puerto:

Tabla 72: Configuración de los puertos de control del servo driver

PUERTOS	DESCRIPCIÓN
DIN1	Restauración por fallos del controlador
DIN2	Establece el modo de operación del controlador
DIN5	Activa las señales del límite de posición positiva.
DIN6	Control de velocidad interna 0
DIN7	Control de velocidad interna 1

Fuente: Manual de usuario servo driver (KINCO, 2013)

A continuación se debe configurar el control de velocidad interna del servo motor para lo cual se utiliza una tabla de verdad:

Tabla 73: *Tabla de verdad para el control interno de velocidad*

DIN6	DIN7	VELOCIDAD (RPM)
0	0	0
1	0	6
0	1	0
1	1	10

Fuente: Manual de usuario servo driver (KINCO, 2013)

Finalmente se debe ajustar los parámetros en el servo driver para el control interno de velocidad del servo motor como se puede observar en la siguiente tabla:

Tabla 74: *Parámetros de control interno servo driver*

PANTALLA NUMÉRICA	NOMBRE DE LA VARIABLE	CONFIGURACIÓN	DESCRIPCIÓN
d3.01	Din1_Function	000.2	Restauración por fallos
d3.02	Din2_Function	000.4	Modo de operación.
d3.05	Din2_Function	001.0	Límite positivo
d3.06	Din6_Function	010.0	Control de velocidad interna 0.
d3.07	Din7_Function	020.0	Control de velocidad interna 1.
d3.10	Switch_On_Auto	0001	Habilitación de la función de suministrar energía de forma automática en el controlador
d3.16	Din_Mode0	0.003	Modo de velocidad instantánea
d3.17	Din_Mode1	0.003	Modo de velocidad instantánea.

d3.18	Din_Speed0_RPM	000.0	Velocidad 0 rpm.
d3.19	Din_Speed1_RPM	000.6	Velocidad 6 rpm.
d3.20	Din_Speed2_RPM	000.0	Velocidad 0 rpm.
d3.21	Din_Speed3_RPM	00.10	Velocidad 10 rpm.
d3.00	Store_Loop_Data	0001	Almacena todos los parámetros de control, excepto los parámetros del motor.

Fuente: Manual de usuario servo driver (KINCO, 2013)

4.3 PRUEBAS Y RESULTADOS

Se realizan las respectivas pruebas de funcionamiento para determinar las posibles fallas en la construcción y sistemas de control de la máquina.

4.3.1 PRUEBAS DE LA ESTRUCTURA

- Desalineación plato giratorio
- Desalineación de la estructura del sistema de colocación de las láminas de aluminio.
- Desalineación del actuador rotativo.
- Desalineación de la base soporte de las láminas de aluminio.
- Desalineación de la estructura de sellado.
- Desalineación de la estructura del sistema del sistema de expulsión.

4.3.2 PRUEBAS DEL SISTEMA DE CONTROL

- Funcionamiento del servomotor y desplazamiento del plato giratorio.
- Giro del tubo de soporte de la ventosa.
- Absorción de las láminas de aluminio.
- Sellado del envase.
- Expulsión del envase

4.3.2.1 Funcionamiento del servo motor

Para verificar si el servomotor funciona correctamente se realiza una prueba de funcionamiento como se observa en la siguiente figura.

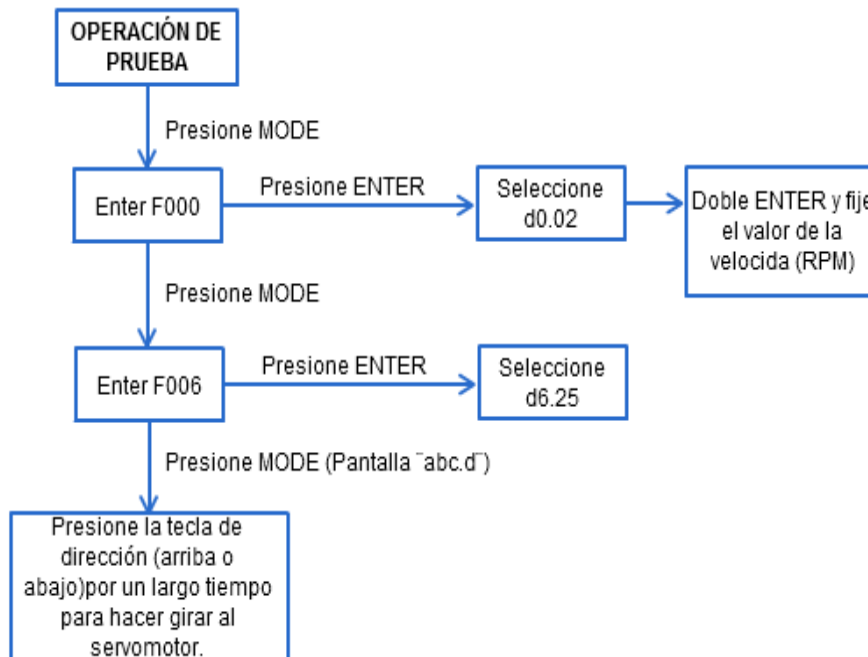


Figura 72: Esquema de prueba de funcionamiento del servomotor

De acuerdo a las pruebas de velocidad realizadas se obtuvo la siguiente tabla:

Tabla 75: Pruebas de velocidad

Velocidad [rpm]	Detección de sensores y posicionamiento correcto
1	SI
2	SI
3	SI
4	SI
5	SI
6	SI
7	NO
8	NO
9	NO
10	NO

En la tabla anterior se puede comprobar que el desplazamiento del plato giratorio a una velocidad de 6 rpm es el adecuado para realizar esta actividad. Además esta velocidad se calculó en el capítulo 3.

4.3.2.2 Giro del tubo de soporte de la ventosa.

Este movimiento se realiza mediante la utilización de un actuador rotativo el mismo que debe ser calibrado para su correcto funcionamiento.

Tabla 76: *Pruebas de posición actuador giratorio*

Presión [bar]	Angulo de giro [°C]	Detección de sensores
8	90	SI
7	90	SI
6	0	NO
5	0	NO
4	0	NO

Al actuador giratorio se le debe suministrar una presión de 7 u 8 bares para su buen funcionamiento.

4.3.2.3 Absorción de las láminas de aluminio

El sistema de succión funciona correctamente cuando se le suministra la presión adecuada. Además la cantidad de vacío generado no afecta la superficie delicada de la lámina de aluminio.

Tabla 77: *Pruebas de vacío*

Presión [bar]	Regulación %	Láminas absorbidas	Calidad de la lámina
6	75	0	Ninguna
6	100	0	Ninguna
7	0	0	Ninguna
7	25	0	Ninguna
7	50	0	Ninguna
7	75	1	Buena
7	100	1	Buena

8	0	0	0
8	25	1	Buena
8	50	1	Buena
8	75	2	Mala
8	100	2	Mala

Se debe tomar en cuenta la distancia a la que se encuentra la ventosa que va a absorber la lámina.

Tabla 78: *Pruebas de desplazamiento*

Presión [bar]	Altura [mm]	Láminas absorbidas
8	0	1
7	0	1
7	1	0
7	2	0
7	3	0
7	4	0
7	5	0

Si no se tiene la presión y distancia mostrada en las tablas anteriores, la ventosa al momento de desplazarse hacia el envase no llega a su posición final y suelta la lámina a destiempo ocasionando un mal sello como se puede observar en la siguiente figura.



Figura 73: Lámina de aluminio descentrada

4.3.2.4 Temperatura de sellado del envase

Como se analizó en el capítulo anterior la temperatura óptima de sellado varía entre 140 °C y 150 °C.

Tabla 79: Pruebas de sellado

Presión [bar]	Temperatura [°C]	Tiempo	Calidad
8	155	3	Buena
8	150	3	Buena
7	155	3	Mala
7	150	3	Mala
7	145	3	Mala
7	140	3	Mala
7	135	3	Mala
7	130	3	Mala
7	155	4	Buena
7	150	4	Buena
7	145	4	Buena
7	140	4	Mala
7	135	4	Mala
7	130	4	Mala
6	150	4	Mala
6	145	4	Mala
6	140	4	Mala
6	135	4	Mala
6	130	4	Mala

Como se puede observar en la tabla 79, el sistema de sellado debe funcionar a una presión de 7 u 8 bares y a una temperatura de 145 a 155 °C para obtener buenos resultados como se aprecia en la figura.

**Figura 74:** Sello en buen estado

4.3.2.5 Expulsión del envase

Se debe regular la presión que llega al cilindro de expulsión 1 y 2 ya que pueden causar daños al envase y por ende se genera pérdida de tiempo y producción.

Tabla 80: Pruebas de regulación del sistema de expulsión

Presión [bar]	%Regulación Cilindro 5	%Regulación Cilindro 6	Expulsión del envase
8	0	100	Mala
8	25	75	Mala
8	50	50	Mala
8	75	25	Buena
7	0	100	Mala
7	25	75	Mala
7	50	50	Buena
7	75	50	Buena
7	100	0	Mala
7	100	100	Mala

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- La máquina selladora semiautomática de envases de yogur se construyó con elementos existentes en el mercado local y nacional de esta manera se facilitará su mantenimiento y reemplazo de componentes en caso de sufrir algún deterioro o daño.
- Para determinar las dimensiones y los materiales que conforman la máquina selladora de vasos de yogur se realizó previamente el diseño y selección de elementos como sensores, actuadores teniendo en cuenta la función que cada componente va a cumplir.
- Se concluyó que un factor fundamental para que funcione correctamente el sistema de colocación de las láminas de aluminio es la distancia existente entre la ventosa y las láminas. De acuerdo a las pruebas realizadas se establece en 0 mm.
- En las pruebas realizadas en el sistema de sellado se tiene que a mayor presión aplicada al cilindro sellador 7 bares se debe reducir el tiempo de contacto entre el envase y el pisador siendo 4 segundos, la temperatura se mantiene en un rango de 145 °C a 155 °C. Con estos valores se obtuvo los resultados esperados es decir el sello del envase es completamente hermético.
- De acuerdo a las pruebas de funcionamiento de la máquina realizadas se estableció que la presión del generador de vacío sea de 7 bares y una regulación del 100% para que la ventosa absorban solamente una lámina. Además no cause daños a la superficie delicada de la misma; al aumentar el valor de la presión la depresión es mayor ocasionando varios problemas como: absorbe mayor cantidad de láminas, daña la superficie por ende se va a producir un sello defectuoso y pérdidas en el producto.
- La colocación de sensores de posición en los actuadores neumáticos es una parte fundamental para el correcto funcionamiento de la máquina ya

que de acuerdo a esos parámetros se realiza la secuencia de programación que tiene la máquina selladora.

- En la realización de las pruebas se pudo observar que si se tiene mucha presión en los cilindros de expulsión estos al momento de impactar con el envase lo van a destruir generando pérdidas de producción.
- Con la construcción de esta máquina el proceso de envasado de yogur mejoró ya que al ser una máquina semiautomática el operador se encuentra en menor contacto con el producto puesto que la colocación de la lámina, sellado y expulsión del envase se realiza de forma automática.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se debería implementar un dispensador de envases y un sistema de dosificado de yogur para que la máquina pueda funcionar automáticamente sin necesidad de la intervención del operador en el proceso de envasado de yogur.
- Si se reemplaza cualquiera de los elementos que conforman cada uno de los sistemas realizarlo por uno de iguales o similares características para evitar que la máquina sufra alguna alteración en su funcionamiento.
- Verificar que la cantidad de aire suministrada del compresor este de acuerdo a las especificaciones de funcionamiento del equipo.
- Colocar de forma apropiada el paquete de las láminas de aluminio ya que si no se los posiciona bien las láminas pueden sufrir daños en los bordes de su superficie.
- Antes de encender la máquina se debe posicionar la cavidad del plato rotativo y el pisador de sellado de forma que coincida.
- Limpiar el pisador de sellado cada vez que se termine un ciclo de producción.

- Se debe esperar un determinado tiempo hasta que el pisador alcance la temperatura especificada e iniciar un ciclo de producción.
- Para el buen funcionamiento de la máquina se debe leer y entender completamente el manual de usuario y mantenimiento. Prestar atención a las advertencias de seguridad que se proporcionan en todo el equipo.

BIBLIOGRAFÍA

Acosta Jaramillo, C. A. (2014). Diseño y construcción de una máquina automática sembradora de semillas de tomate y pimiento en bandejas de 50x28.2 cm en el proceso de producción de plántulaS. Ibarra.

ALAIS, C. (1998). Ciencia de la leche. (T. d. Antonio, Ed.) Zaragoza, España: Reverte.

Alimentariaonline. (Marzo de 2007). Obtenido de http://alimentariaonline.com/media/MA017_LLENA2SELLA_F.pdf

Budinas R., N. J. (2008). Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley (Octava ed.).

Calapaqui, G., & Durán, B. (Noviembre de 2012). Dimensionamiento y construcción de una máquina para el dosificado y sellado de envases de yogurt semi industrial con el uso de un mini plc para la empresa INFAME. Quito, Pichincha, Ecuador.

Cruz, J., & Villamarín, E. (Julio de 2011). Diseño y construcción de un sistema para corte y sellado de envases plásticos de hasta 500cc para la empresa Chemequil industrias CIA.LTDA. Quito, Pichincha, Ecuador.

Electro Cables C.A. (s.f.). Característica generales de los conductores electricos. Obtenido de http://disensa.com/main/images/pdf/electro_cables.pdf

Enercon Industries Corporation. (2014). Sistema de sellado de tapas por inducción. Obtenido de <http://www.enerconind.com/es/sealing/library/achieve-a-perfect-seal.aspx>

FESTO. (2014). Catálogo Generadores de vacío VAD/VAK.

FESTO. (2015). Actuadores Giratorios DSM/DSM-B.

FESTO. (2015). Cilindros normalizados DSNU/DSNUP/DSN/ESNU/ESN, ISO 6432.

García, L., & Olmo, V. (2012). La industria alimentaria. Recuperado el 8 de Abril de 2014, de <http://ben.upc.es/documents/eso/aliments/html/lacteo-5.html>

Incropera, F. (s.f.). Fundamentos de Transferencia de Calor (Cuarta ed.). Prentice Hall.

INEN. (1996). ELABORACIÓN DE YOGURT NORMA 710. Quito, Ecuador.

INEN. (2006). ELABORACIÓN DE YOGUR. Quito, Ecuador.

KINCO. (2013). Obtenido de <http://www.kinco.cn/html/en/products/Servo&Stepper/Servosystem/Servomotor/201104/28874.html>

LRQA, L. R. (22 de Abril de 2014). Lloyd's Register LRQA. Obtenido de <http://www.lrqa.es/certificaciones/iso-22000-norma-seguridad-alimentaria/>

Mariano. (2011). Tecnología de los plásticos. Recuperado el 6 de Enero de 2015, de <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2013/12/termosellado.html>

Mott, R. (2006). Diseño de elementos de máquinas (Cuarta ed.).

Portal de soporte tecnico FESTO. (2015). Obtenido de http://www.festo.com/net/es_es/SupportPortal/default.aspx?cat=1261&tab=4&s=t

Riba, C. (2002). Diseño concurrente. España: Universidad Politécnica de Catalunya.

SCHMALZ. (2014). Innovación en vacío para automatización. Componentes de vacío.

SICK. (5 de Agosto de 2006). Catalogo sensores SICK. Obtenido de http://www.sick.com.tw/download.asp?file=V18-3_V18-4.pdf

SICK. (s.f.). Sensor MZT8. Obtenido de https://www.sick.com/media/pdf/9/59/659/dataSheet_MZT8-28VPS-KP0_1048048_en.pdf

SIEMENS. (2008). Manual del sistema de automatización S7-200.

SIEMENS. (s.f.). SIMATIC S7-200. Tecnología de control al máximo nivel.

SKF. (s.f.). Productos SKF. Obtenido de <http://www.skf.com/co/products/bearings-units-housings/ball-bearings/principles/bearing-basics/basic-selection-criteria/loads/index.html>

SNS. (2008). SNS Pneumatic. Obtenido de http://www.sns.com/eng/products_read.asp?id=15&sid=2&bid=1

SONOTRONIC. (s.f.). Ultrasonic Welding. Recuperado el 6 de Enero de 2015, de <http://www.sonotronic.de/technologies/ultrasonic>

Tecnológica, U. (2010). Diseño de árboles. Obtenido de <http://www.utp.edu.co/~lvanegas/dis1/Cap7>

WATLOW. (s.f.). Manual de usuario EZ-ZONE PM. Obtenido de http://www.watlow.com/downloads/es/manuals/ez%20pmi%20-%20rev%20g_es.pdf

Wilson. (2012). Procesos industriales. Obtenido de <http://wilsonproces.blogspot.com/2012/10/elaboracion-del-yogur.html>

ANEXO A

Factores teóricos de concentración de esfuerzos k

1008 | APÉNDICE A Tablas útiles

Tabla A-15

Gráficas de factores teóricos de concentración del esfuerzo K_t^* (continuación)

Figura A-15-7

Eje redondo con filete en el hombro en tensión. $\sigma_0 = F/A$, donde $A = \pi d^2/4$.

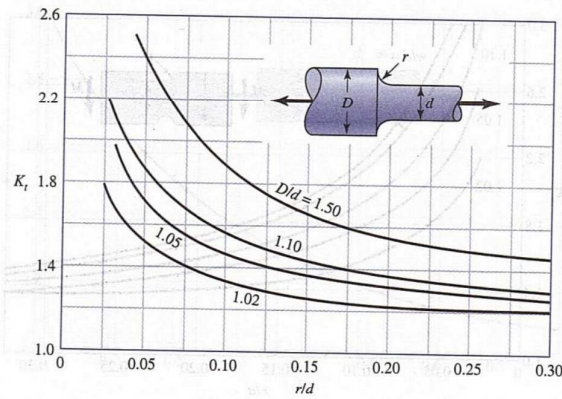


Figura A-15-8

Eje redondo con filete en el hombro en torsión. $\tau_0 = Tc/J$, donde $c = d/2$ y $J = \pi d^4/32$.

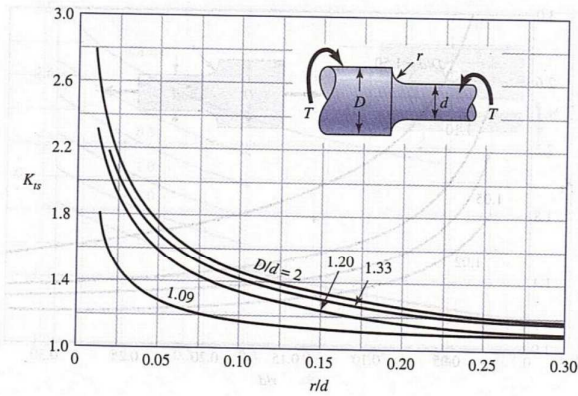
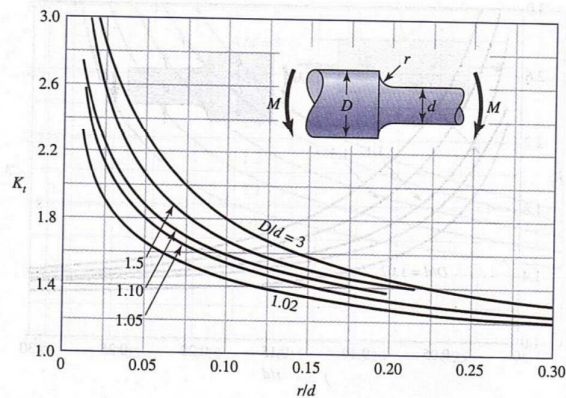


Figura A-15-9

Eje redondo con filete en el hombro en flexión. $\sigma_0 = Mc/I$, donde $c = d/2$ y $I = \pi d^4/64$.



ANEXO B

Datos para seleccionar rodamientos de una hilera de bolas

TABLA 14-3 Datos para seleccionar rodamientos de una hilera de bolas y ranura profunda, tipo Conrad
A. Series 6200

Número de rodamiento	Dimensiones nominales del rodamiento							Diámetro de escalón preferido		Peso del rodamiento	Capacidad básica de carga estática C_o	Capacidad básica de carga dinámica C
	d		D		B		r^*	Eje	Caja			
	mm	pulg	mm	pulg	mm	pulg		pulg	pulg			
6200	10	0.3937	30	1.1811	9	0.3543	0.024	0.500	0.984	0.07	520	885
6201	12	0.4724	32	1.2598	10	0.3937	0.024	0.578	1.063	0.08	675	1180
6202	15	0.5906	35	1.3780	11	0.4331	0.024	0.703	1.181	0.10	790	1320
6203	17	0.6693	40	1.5748	12	0.4724	0.024	0.787	1.380	0.14	1010	1660
6204	20	0.7874	47	1.8504	14	0.5512	0.039	0.969	1.614	0.23	1400	2210
6205	25	0.9843	52	2.0472	15	0.5906	0.039	1.172	1.811	0.29	1610	2430
6206	30	1.1811	62	2.4409	16	0.6299	0.039	1.406	2.205	0.44	2320	3350
6207	35	1.3780	72	2.8346	17	0.6693	0.039	1.614	2.559	0.64	3150	4450
6208	40	1.5748	80	3.1496	18	0.7087	0.039	1.811	2.874	0.82	3650	5050
6209	45	1.7717	85	3.3465	19	0.7480	0.039	2.008	3.071	0.89	4150	5650
6210	50	1.9685	90	3.5433	20	0.7874	0.039	2.205	3.268	1.02	4650	6050
6211	55	2.1654	100	3.9370	21	0.8268	0.059	2.441	3.602	1.36	5850	7500
6212	60	2.3622	110	4.3307	22	0.8661	0.059	2.717	3.996	1.73	7250	9050
6213	65	2.5591	120	4.7244	23	0.9055	0.059	2.913	4.390	2.18	8000	9900
6214	70	2.7559	125	4.9213	24	0.9449	0.059	3.110	4.587	2.31	8800	10 800
6215	75	2.9528	130	5.1181	25	0.9843	0.059	3.307	4.783	2.64	9700	11 400
6216	80	3.1496	140	5.5118	26	1.0236	0.079	3.504	5.118	3.09	10 500	12 600
6217	85	3.3465	150	5.9055	28	1.1024	0.079	3.740	5.512	3.97	12 300	14 600
6218	90	3.5433	160	6.2992	30	1.1811	0.079	3.937	5.906	4.74	14 200	16 600
6219	95	3.7402	170	6.6929	32	1.2598	0.079	4.213	6.220	5.73	16 300	18 800
6220	100	3.9370	180	7.0866	34	1.3386	0.079	4.409	6.614	6.94	18 600	21 100
6221	105	4.1339	190	7.4803	36	1.4173	0.079	4.606	7.008	8.15	20 900	23 000
6222	110	4.3307	200	7.8740	38	1.4961	0.079	4.803	7.402	9.59	23 400	24 900
6224	120	4.7244	215	8.4646	40	1.5748	0.079	5.197	7.992	11.4	26 200	26 900



ANEXO C

Propiedades termo físicas de sólidos metálicos

Apéndice A ■ Propiedades termofísicas de la materia

827

Tabla A.1 Propiedades termofísicas de sólidos metálicos seleccionados*

Composición	Punto de fusión (K)	Propiedades a 300 K					Propiedades a varias temperaturas (K)													
		ρ (kg/m ³)	c_p (J/kg · K)	k (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	$\alpha \cdot 10^6$	k (W/m · K)/ c_p (J/kg · K)													
							100	200	400	600	800	1000	1200	1500	2000	2500				
Acero puro	1810	7870	447	80.2	23.1	134	94.0	69.5	54.7	43.3	32.8	28.3	32.1							
Aceros al carbón																				
Carbón ordinario (Mn \leq 1%, Si \leq 0.1%)		7854	434	60.5	17.7	216	384	490	574	680	975	609	654							
ALSI 1010		7832	434	63.9	18.8															
Carbón-silicio (Mn \leq 1%, 0.1% < Si \leq 0.6%)		7817	446	51.9	14.9															
Carbón-manganeso-silicio (1% < Mn \leq 1.65%, 0.1% < Si \leq 0.6%)		8131	434	41.0	11.6															
Aceros con cromo (bajo)																				
1 Cr-1 Mo-Si (0.18% C, 0.65% Cr, 0.23% Mo, 0.6% Si)		7822	444	37.7	10.9															
1 Cr-1 Mo (0.16% C, 1% Cr, 0.54% Mo, 0.39% Si)		7858	442	42.3	12.2															
1 Cr-V (0.2% C, 1.02% Cr, 0.15% V)		7836	443	48.9	14.1															
Aceros inoxidables																				
ALSI 302		8055	480	15.1	3.91															
ALSI 304	1670	7900	477	14.9	3.95															
ALSI 316		8238	468	13.4	3.48															
ALSI 347		7978	480	14.2	3.71															



DEPARTAMENTO DE BIBLIOTECA
Universidad Simón Bolívar - Bole

ANEXO D

Propiedades termo físicas del aire a presión atmosférica

T (K)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg · K)	$\mu \cdot 10^7$ (N · s/m ²)	$\nu \cdot 10^6$ (m ² /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	Pr
Aire							
100	3.5562	1.032	71.1	2.00	9.34	2.54	0.786
150	2.3364	1.012	103.4	4.426	13.8	5.84	0.758
200	1.7458	1.007	132.5	7.590	18.1	10.3	0.737
250	1.3947	1.006	159.6	11.44	22.3	15.9	0.720
300	1.1614	1.007	184.6	15.89	26.3	22.5	0.707
350	0.9950	1.009	208.2	20.92	30.0	29.9	0.700
400	0.8711	1.014	230.1	26.41	33.8	38.3	0.690
450	0.7740	1.021	250.7	32.39	37.3	47.2	0.686
500	0.6964	1.030	270.1	38.79	40.7	56.7	0.684
550	0.6329	1.040	288.4	45.57	43.9	66.7	0.683
600	0.5804	1.051	305.8	52.69	46.9	76.9	0.685
650	0.5356	1.063	322.5	60.21	49.7	87.3	0.690
700	0.4975	1.075	338.8	68.10	52.4	98.0	0.695
750	0.4643	1.087	354.6	76.37	54.9	109	0.702
800	0.4354	1.099	369.8	84.93	57.3	120	0.709
850	0.4097	1.110	384.3	93.80	59.6	131	0.716
900	0.3868	1.121	398.1	102.9	62.0	143	0.720
950	0.3666	1.131	411.3	112.2	64.3	155	0.723
1000	0.3482	1.141	424.4	121.9	66.7	168	0.726
1100	0.3166	1.159	449.0	141.8	71.5	195	0.728
1200	0.2902	1.175	473.0	162.9	76.3	224	0.728
1300	0.2679	1.189	496.0	185.1	82	238	0.719
1400	0.2488	1.207	530	213	91	303	0.703
1500	0.2322	1.230	557	240	100	350	0.685
1600	0.2177	1.248	584	268	106	390	0.688
1700	0.2049	1.267	611	298	113	435	0.685
1800	0.1935	1.286	637	329	120	482	0.683
1900	0.1833	1.307	663	362	128	534	0.677
2000	0.1741	1.337	689	396	137	589	0.672
2100	0.1658	1.372	715	431	147	646	0.667
2200	0.1582	1.417	740	468	160	714	0.655
2300	0.1513	1.478	766	506	175	783	0.647
2400	0.1448	1.558	792	547	196	869	0.630
2500	0.1389	1.665	818	589	222	960	0.613
3000	0.1135	2.726	955	841	486	1570	0.536

ANEXO E

Emisividad total de superficies

Apéndice A ■ Propiedades termofísicas de la materia

851

TABLA A.11 Emisividad total, normal (ϵ_0) o hemisférica (ϵ) de superficies seleccionadas

Descripción/composición	Emisividad, ϵ_p o ϵ_h , a varias temperaturas (K)											
	100	200	300	400	600	800	1000	1300	1500	2000	2500	
Aluminio												
Altamente pulido, película	(6)	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06						
Hoja, brillante	(6)	0.06	0.06	0.07								
Anodizado	(6)			0.82	0.76							
Cromo												
Pulido o pulcrado	(6)	0.05	0.07	0.10	0.12	0.14						
Cobre												
Altamente pulido	(6)			0.03	0.03	0.04	0.04	0.04				
Establemente oxidado	(6)					0.50	0.58	0.80				
Oro												
Altamente pulido o película	(6)	0.01	0.02	0.03	0.03	0.04	0.05	0.06				
Hoja, brillante	(6)	0.06	0.07	0.07								
Mercurio												
Pulido	(6)					0.06	0.08	0.10	0.12	0.15	0.21	0.26
Limpado con chorro												
de peróxidos, áspero	(6)					0.25	0.28	0.31	0.35	0.42		
Establemente oxidado	(6)					0.80	0.82					
Níquel												
Pulido	(6)					0.09	0.11	0.14	0.17			
Establemente oxidado	(6)					0.40	0.49	0.57				
Platino												
Pulido	(6)						0.10	0.13	0.15	0.18		
Plata												
Película	(6)			0.02	0.02	0.03	0.05	0.08				
Aceros inoxidables												
Típico, pulido	(6)			0.17	0.17	0.19	0.23	0.30				
Típico, limpio	(6)			0.22	0.22	0.24	0.28	0.35				
Típico, ligeramente oxidado	(6)						0.33	0.40				
Típico, altamente oxidado	(6)						0.67	0.70	0.76			
ASTM 307, establemente oxidado	(6)					0.87	0.88	0.89	0.90			
Tantalo												
Pulido	(6)							0.11	0.17	0.23	0.28	
Tungsteno												
Pulido	(6)						0.10	0.13	0.18	0.25	0.29	

ANEXO F

Hoja de datos controlador de temperatura

EZ-ZONE[®] PM Express Manual del usuario



Controlador PID



1241 Bundy Boulevard., Winona, Minnesota USA 55987
Teléfono: +1 (507) 454-5300, fax: +1 (507) 452-4507 <http://www.watlow.com>

0600-0065-0007 Rev. C

Hecho en los EE.UU.

Mayo de 2009

Información de seguridad

A lo largo de este manual se utilizan los símbolos de nota, precaución y advertencia para alertarle sobre información importante de operación y seguridad. Una "NOTA" es un mensaje corto que alerta al lector sobre algún detalle de importancia. Un aviso de seguridad, "PRECAUCIÓN", aparece con información de importancia para proteger su equipo y funcionamiento. Sea especialmente cuidadoso en leer y seguir todas las precauciones que correspondan a su aplicación. Un aviso de seguridad, "ADVERTENCIA", contiene información de importancia para la protección contra daños de salud, otras personas y del equipo. Preste especial atención a todas las advertencias relativas a su aplicación. El símbolo de peligro por electricidad, ⚡ (un rayo dentro de un triángulo) preside a una manifestación de seguridad de PRECAUCIÓN o ADVERTENCIA sobre peligro de descargas eléctricas. A continuación encontrará explicaciones adicionales:

Símbolo	Explicación
⚠	PRECAUCIÓN: advertencia o peligro que requiere una explicación adicional a la que puede proporcionarse en la etiqueta. Para obtener más información, consulte el manual del usuario.
⚡	Producto sensible a ESD (descargas electrostáticas); utilice las técnicas de conexión a tierra y manipulación adecuadas cuando instale o de servicio al producto.
ⓧ	Unidad protegida por aislamiento doble reforzado para evitar peligro de descarga eléctrica.
♻	No lo tire a la basura, utilice las técnicas de reciclado apropiadas o consulte con el fabricante acerca del modo de disposición correcto.
⚡	La unidad puede recibir energía tanto con voltaje de corriente alterna (CA) como con voltaje de corriente continua (CC).

	La unidad es un dispositivo clasificado de acuerdo con Underwriters Laboratories®. Ha sido evaluada con respecto a los requisitos de los Estados Unidos y Canadá para Equipos de control de procesos: UL 510/10 y CSA 22.2 N° 61010. Expediente E185611 QULYA, QULYX. Consulte: www.ul.com
	La unidad es un dispositivo clasificado de acuerdo con Underwriters Laboratories®. Ha sido evaluada con respecto a los requisitos de los Estados Unidos y Canadá para Ubicaciones peligrosas Clase I División II Grupos A, B, C y D. ANSI/ISA 12.12 (I-2007) Expediente 1165309 QULYW, QULZW7. Consulte: www.ul.com
	La unidad cumple con las directivas de la Unión Europea. Consulte la Declaración de Conformidad para obtener más información acerca de las directivas y normas de conformidad.
	La unidad ha sido revisada y aprobada por Factory Mutual como un dispositivo de límite de temperatura de acuerdo con la norma FM Class 3545. Consulte: www.fmglobal.com
	La unidad ha sido revisada y aprobada por CSA International para su uso como Equipo regulador/indicador de temperatura de acuerdo con CSA C22.2 N° 24. Consulte: www.csa-international.org

Garantía

El EZ-ZONE[®] PM se fabrica de acuerdo con los procesos registrados de ISO 9001 y está respaldado por una garantía de tres años al primer comprador para su uso, siempre y cuando las unidades no hayan sido mal aplicadas. Dado que Watlow no tiene control sobre el empleo de estas, a veces incorrecto, la empresa no puede garantizar que no haya fallas. Las obligaciones de Watlow bajo esta garantía están limitadas, a discreción de Watlow, al reemplazo o a la reparación de la unidad, o a la restitución del precio de compra a o de las partes que, una vez inspeccionadas, demuestren estar defectuosas dentro del periodo cubierto especificado. Esta garantía no cubre daños producidos por transporte, alteración, uso indebido, abuso o malos tratos. El comprador deberá utilizar partes Watlow para conservar todas las clasificaciones enumeradas.

Asistencia técnica

Si enfrenta algún problema con el controlador Watlow, consulte su información referente a la configuración, para verificar que las opciones seleccionadas son las correspondientes a su aplicación: entradas, salidas, alarmas, límites, etc. Si el problema persiste, puede obtener asistencia técnica del representante local de Watlow en su área (consulte la cubierta posterior), enviando su pregunta por correo electrónico a ajntechsupport@watlow.com o marcando +1 (507) 434-5656 entre las 7 a.m. y 5 p.m., Hora Estándar del Centro. Pregunte por un ingeniero de aplicaciones. Al llamar, sírvase tener a mano la siguiente información:

- Número completo del modelo
- Toda la información de configuración
- Manual del usuario
- Página de fábrica

Autorización de devolución de material (RMA o "Return Material Authorization")

1. Llame a Servicio al cliente de Watlow al (507) 454-5300, para obtener el número de la autorización para devolver material (RMA) antes de devolver cualquier artículo para reparación. Si no sabe por qué falló el producto, póngase en contacto con un Ingeniero de Aplicaciones o Gerente de Producto.

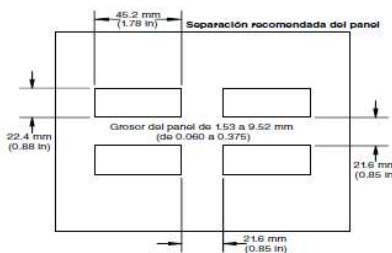
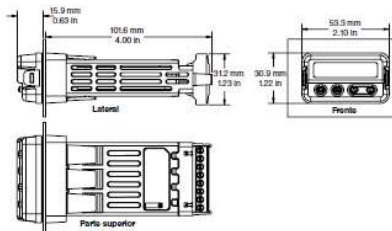
Watlow Winona, Inc. posee los derechos de autor del Manual del usuario del Controlador EZ-ZONE PM. © diciembre de 2008. Todos los derechos reservados. EZ-ZONE PM está cubierto por la patente de EE.UU. N° 6,005,577 y Patentes pendientes.

Resumen

Los controladores EZ-ZONE PM resuelven sus requisitos de bucle térmico además de reducir el costo de poseer un bucle de control. Puede solicitar este control como un controlador PID de bucle único con salida de energía de alto amperaje ya sea en un 16" o 32" empaque de montaje en el panel DIN. Este facilita enormemente la solución de los problemas relacionados con los requisitos térmicos del sistema. Debido a que la familia de controladores EZ-ZONE son sumamente escalables, usted paga únicamente por lo que necesita. Si está buscando un controlador PID de bucle único o múltiple, un controlador de límite alto/bajo o un controlador integrado (PID y límite), la familia de controladores EZ-ZONE cubrirá todas sus necesidades. Ingrese a <http://www.watlow.com> para obtener más información acerca de la familia de controladores EZ-ZONE. Para este control particular, las comunicaciones en serie se logran mediante el protocolo de Bus estándar de Watlow. Si surge la necesidad de conectar en red sus controladores y comunicarse con otros protocolos conocidos, tales como Modbus RTU/TCP[®], EtherNet/IP[™] o DeviceNet[™], analice la posibilidad de usar la Interfaz/Puerto de enlace EZ-ZONE para Usuario remoto (RUI/GTW).

Instalación y cableado

Dimensiones 1/32 DIN



Recorte máximo de 1/32 DIN

1 2
3 4

Compatibilidad química

Este producto es compatible con ácidos, álcalis débiles, alcoholes y radiaciones gamma y ultravioleta. Este producto no es compatible con álcalis fuertes, solventes orgánicos, combustibles, hidrocarburos aromáticos, hidrocarburos clorados, ésteres y cetonas.

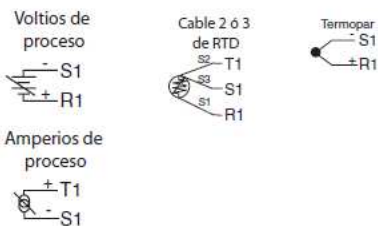
Definiciones de terminales

Ranura C	Función de terminales	Modelo
98 99	entrada de alimentación: CA o CC+ entrada de alimentación: CA o CC-	PM_(C)___-AAAB__
CF CD CE	Bus estándar EIA-48s común Bus estándar EIA-48s T-/R- Bus estándar EIA-48s T+/R+	PM_(C)___-AAAB__
Ranura A		
Entrada 1		
T1 S1 R1	S2 (RTD) o corriente +, S3 (RTD), termopar-, corriente- o voltios- S1 (RTD), termopar + o voltios +	Sensor universal entrada 1: todas las configuraciones
Salidas		Configuración
1 2		
X1 W1 Y1	común (se puede usar cualquier salida de CC conmutada). CC- (colector abierto) CC+	CC conmutada/colector abierto, salida 1: PM_(C)_C_-AAAB__
W2 Y2	CC- CC+	CC conmutada, salida 2: PM_(C)_C_-AAAB__
F1 G1 H1	voltaje o corriente - voltaje + corriente +	Proceso universal, salida 1: PM_(C)_F_-AAAB__
L1 K1 J1	normalmente abierto común Normalmente cerrado	Relevador mecánico 5 A, Forma C, salida 1: PM_(C)_E_-AAAB__
L2 K2	normalmente abierto común	NO-ARC 15 A, Forma A, salida 2: PM5(C)_H_-AAAB__
L2 K2	normalmente abierto común	Relevador mecánico 5 A, Forma A, salida 2: PM_(C)_J_-AAAB__
L1 K1	normalmente abierto común	Relevador estado sólido 0.5 A, Forma A salida 1: PM_(C)_K_-AAAB__ salida 2: PM_(C)_K_-AAAB__

Nota: En los siguientes dibujos para cada aviso de entrada se identifica la etiqueta del conector de la ranura A.

Nota: Cuando utilice un RTD de 2 cables, conecte en puente S1 y T1.

Entradas: Todas las entradas que se muestran a continuación representan la entrada 1 (la única entrada) y deben conectarse a la ranura A del control PID.



Voltios y amperios de proceso

- 4 a 20 mA a 100 Ω impedancia de entrada
- 0 a 10 V- (CC) a 20 kΩ impedancia de entrada
- Escalable

Detector de la temperatura de la resistencia (RTD)

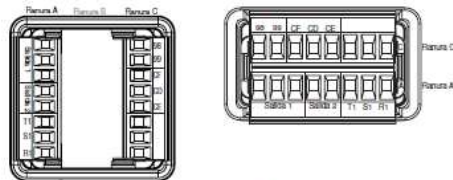
- Platino, 100 Ω a 0 °C
- Calibración a curva DIN (0.00385 Ω/Ω°C)
- 20 Ω resistencia total del conductor
- Corriente de excitación RTD de 0.09 mA típica. Cada ohmio de la resistencia del conductor puede afectar la lectura en 0.03 °C.
- Para los RTD de 3 cables, el conductor de S1 debe conectarse a R1.
- Para obtener una mejor precisión utilice RTD de 3 cables para compensar la resistencia con longitud del conductor. Los tres cables del conductor deben tener la misma resistencia.

Termopar

- Máximo de 2 kΩ de resistencia en la fuente
- >20 MΩ impedancia de entrada
- Detección de sensor abierto de 3 microamperios
- Los termopares son sensibles a la polaridad. El conductor negativo debe conectarse a S1.
- Para reducir errores, el cable de extensión para los termopares debe ser de la misma aleación que el termopar.

Nota:

Las siguientes imágenes muestran que el conector de la ranura A no indica el etiquetado de las salidas. El etiquetado para las salidas de la ranura A se basa en el número de pieza del controlador.



Advertencia:

Utilice el Código eléctrico nacional (NEC) o las normas de cableado y prácticas de seguridad específicas de otro país cuando cables y conecte este controlador a una alimentación y a sensores eléctricos o dispositivos periféricos. El incumplimiento de esta advertencia puede ocasionar daños al equipo y propiedades, y/o lesiones o pérdida de la vida.

Nota: Terminación de la medida de cable máximo y especificación de torque:

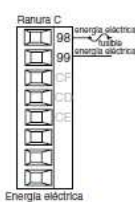
- 0.0507 a 3.30 mm² (30 a 12 AWG) terminación de cable único o dos de 1.31 mm² (16 AWG)
- torque de 0.8 Nm (7.0 lb. pulg.)

Nota:

Los terminales adyacentes pueden estar etiquetados de modo diferente, según el número de modelo.

Nota: Para evitar daños al controlador, no conecte los cables a las terminales sin uso.

Nota: Mantenga la aislación eléctrica entre la salida analógica 1 y las salidas del colector abierto/CC conmutada.



Energía

- 47 a 63 Hz
- 10 VA de consumo máximo de energía

Energía eléctrica baja

- 12 a 40 V- (CC)
- 20 a 28 V- (CA) Semi Sig F47

Energía eléctrica alta

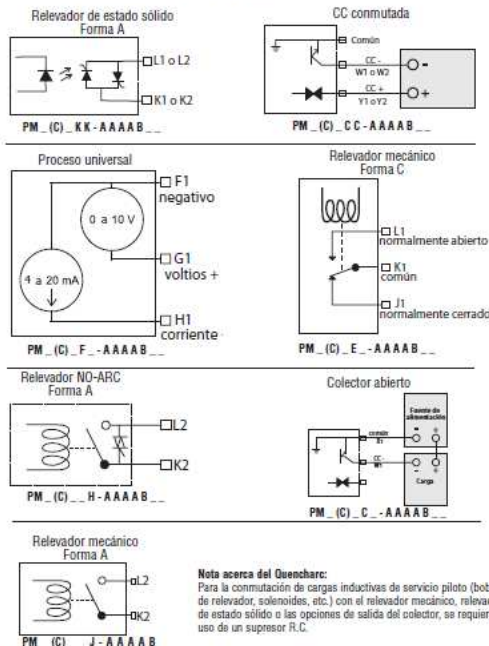
- 85 a 264 V- (CA)
- 100 a 240 V- (CA) Semi Sig F47

Nota acerca de la alimentación:

La CC conmutada y las salidas de proceso usan una alimentación con una salida de corriente máxima de 40 mA. Por ejemplo, la corriente suministrada (mA) desde la salida 1 y 2 puede ser 20/20, 30/10, 40/0, 10/30, etc...

Salidas

Tenga en cuenta que todas las salidas están conectadas exclusivamente a la ranura A. La disponibilidad de la salida se basa en el número de parte de su Control PID.



Nota acerca del Quecharc:

Para la conmutación de cargas inductivas de servicio piloto (bobinas de relevador, solenoides, etc.) con el relevador mecánico, relevador de estado sólido o las opciones de salida del colector, se requiere el uso de un supresor R.C.

En el momento en que la potencia sube, use la tecla de avance para desplazarse por las diferentes instrucciones que se encuentran en el Menú de operaciones. Para volver a la pantalla predefinida, en cualquier punto del Menú de operaciones, presione la tecla ∞ Infinito.

Menú de operaciones

- AU** Autoajuste
- CM** Modo de control
- h.Pb** Banda proporcional de calentamiento
- C.Pb** Banda proporcional de enfriamiento
- t** Integral de tiempo
- d** Derivativa de tiempo
- a.t.b.1** Base de tiempo
- a.t.b.2** Base de tiempo
- ALo** Punto de control de alarma baja
- ALa** Punto de control de alarma alta
- CA** Desviación de calibración

Pantalla	Descripción del nombre del parámetro	Amplitud (los valores predefinidos se muestran en negrita)
AU [AU]	Autoajuste Iniciar un autoajuste. Cuando esté activa la pantalla superior o izquierda e inferior o derecha, se encenderá de manera intermitente. Un y Retn . Aparece si: se configura un algoritmo de calentamiento o de enfriamiento en PID	<input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> SI
CM [C,M]	Modo de control activo Ver el modo de control actual. Aparece si: siempre	<input type="checkbox"/> Apagado <input type="checkbox"/> Automático <input type="checkbox"/> Manual
h.Pb [h.Pb]	Banda proporcional de calentamiento Configurar la banda proporcional de PID para las salidas de calentamiento. Aparece si: se configura un algoritmo de calentamiento en PID	0 a 9,999,000 °F o unidades 0 a 5,555,000 °C Unidades, 25.0 °F o 14.0 °C
C.Pb [C.Pb]	Banda proporcional de enfriamiento Configurar la banda proporcional de PID para las salidas de enfriamiento. Aparece si: el algoritmo de enfriamiento está configurado en PID	0 a 9,999,000 °F o unidades 0 a 5,555,000 °C Unidades, 25.0 °F o 14.0 °C
t [t]	Integral de tiempo Configurar el PID integral para las salidas. Aparece si: el algoritmo de calentamiento o de enfriamiento está configurado en PID	0 a 9,999 segundos por repetición 180.0
d [d]	Derivativa de tiempo Configurar el tiempo de la derivativa de PID para las salidas. Aparece si: el algoritmo de calentamiento o de enfriamiento está configurado en PID	0 a 9,999 segundos 0.0 segundos
a.t.b.1 [a.tb1]	Base de tiempo de la salida 1 Establecer la base de tiempo para el control de base de tiempo fijo. Aparece si: la salida 1 está configurada para calentamiento o enfriamiento con algoritmo de control configurado para PID.	0.1 a 60.0 segundos (relevador de estado sólido o CC conmutada) 5.0 a 60.0 segundos (relevador mecánico y control de potencia NO-ARC) 1 seg. [RES y CC comm.], 20.0 seg. [relevador mec. y NO-ARC]
a.t.b.2 [a.tb2]	Base de tiempo de la salida 2 Establecer la base de tiempo para el control de base de tiempo fijo. Aparece si: la salida 2 está configurada para calentamiento o enfriamiento con algoritmo de control configurado para PID.	0.1 a 60.0 segundos (relevador de estado sólido o CC conmutada) 5.0 a 60.0 segundos (relevador mecánico y control de potencia NO-ARC) 1 seg. [RES y CC comm.], 20.0 seg. [relevador mec. y NO-ARC]
ALo [ALo]	Punto de control de alarma baja Proceso: configurar el valor de proceso que activará una alarma baja. Desviación: configurar la duración de las unidades debajo del punto de control del bucle cerrado que activarán una alarma baja. Aparece si: si el tipo de alarma (ALt) está configurado para Proceso o Alarma de desviación	-1,999,000 a 9,999,000 °F o unidades -1,128,000 a 5,537,000 °C Unidades, 32.0 °F o 0.0 °C
ALa [ALa]	Punto de control de alarma alta Proceso: configurar el valor de proceso que activará una alarma alta. Desviación: configurar la duración de las unidades debajo del punto de control del bucle cerrado que activarán una alarma alta. Aparece si: si el tipo de alarma (ALt) está configurado para Proceso o Alarma de desviación	-1,999,000 a 9,999,000 °F o unidades -1,128,000 a 5,537,000 °C Unidades, 300.0 °F o 150.0 °C
CA [CA]	Desviación de calibración Determinar un valor de desviación para una salida de proceso. Aparece si: siempre	-1,999,000 a 9,999,000 °F o unidades -1,110,555 a 5,555,000 °C 0.0

13 | 14
15 | 16

Para ingresar al Menú de configuración presione y mantenga presionadas las teclas de flecha hacia abajo por aproximadamente 3 segundos. Una vez que haya ingresado, presione la tecla de avance color verde para desplazarse por el indicador de opción y luego utilice las flechas hacia arriba y hacia abajo para modificar la amplitud. Para volver a la pantalla predefinida, en cualquier punto del Menú de configuración, presione la tecla ∞ Infinito.

Menú de configuración

- LoC** Menú de bloqueo
- SEn** Tipo de sensor
- Lin** Linealización
- dEC** Decimal
- F** Unidades de pantalla
- a.b** Amplitud baja
- a.h** Amplitud alta
- F.n.1** Función uno
- a.t** Tipo de salida
- F.n.2** Función dos
- h.Pb** Algoritmo de calentamiento
- h.S** Histéresis de calentamiento
- C.Pb** Algoritmo de enfriamiento
- ALt** Tipo de alarma
- h.S** Histéresis de alarma
- ALa** Enganche de alarma
- ALt** Bloqueo de alarma
- RS** Silenciar alarma
- ALSP** Pantalla de la alarma
- r.P** Acción de rampa
- r.V** Velocidad de rampa
- a.t.1** Salida alta 1 de escala de energía
- a.t.2** Salida alta 2 de escala de energía
- PR.L** Pantalla superior o izquierda
- PR.D** Pantalla inferior o derecha
- RS** Dirección de zona

Pantalla	Descripción del nombre del parámetro	Amplitud (los valores predefinidos se muestran en negrita)
LoC [LoC]	Menú de bloqueo Determinar el nivel de permiso de seguridad. El usuario puede acceder al nivel seleccionado, así como a todos los niveles inferiores. Aparece si: siempre	1 a 5 Menú de operaciones 1 (solo lectura, botón AM deshabilitado)* Menú de operaciones 2 (botón AM deshabilitado, Punto de control R/W)* Menú de operaciones 3 (botón AM habilitado, Punto de control R/W, Modo de control R/W)* Acceso R/W al Menú de operaciones 4* Acceso R/W completo al Menú de operaciones 5 y al Menú de configuración * Puede cambiar el nivel de seguridad a cualquier nivel
SEn [SEn]	Tipo de sensor Ajustar el tipo de sensor analógico para que coincida con el dispositivo cableado a esta entrada. Aparece si: siempre	<input type="checkbox"/> Termopar <input type="checkbox"/> CC voltios <input type="checkbox"/> CC miliamperes <input type="checkbox"/> RTD 100 Ω
Lin [Lin]	Linealización Configurar la linealización para que coincida con el tipo de termopar cableado a esta entrada. Por ejemplo, seleccionar <input type="checkbox"/> K para un tipo de termopar K. Aparece si: el tipo de sensor está ajustado en Termopar	<input type="checkbox"/> J <input type="checkbox"/> K <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> T
dEC [dEC]	Decimal Configurar la precisión del valor mostrado. Aparece si: siempre	<input type="checkbox"/> Entero <input type="checkbox"/> Décimas <input type="checkbox"/> Céntésima
F [C,F]	Unidades de pantalla Seleccionar cuáles unidades se mostrarán. Aparece si: siempre	<input type="checkbox"/> °F <input type="checkbox"/> °C
a.b [r.l.o]	Amplitud baja Establecer la amplitud baja del punto de control. Aparece si: siempre	-1,999,000 a 9,999,000 0.0
a.h [r.h]	Amplitud alta Establecer la amplitud alta del punto de control. Aparece si: siempre	-1,999,000 a 9,999,000
F.n.1 [fn1]	Función de la salida 1 Seleccionar qué función controlará esta salida. Aparece si: la salida 1 está ordenada	<input type="checkbox"/> Apagado <input type="checkbox"/> Enfriamiento <input type="checkbox"/> Calentamiento <input type="checkbox"/> Alarma
a.t.1 [o.1y]	Tipo de salida Seleccionar si la salida del proceso operará en voltios o en miliamperes. Aparece si: hay una salida de proceso (PM_C_F_-, AAB_...)	<input type="checkbox"/> Voltios <input type="checkbox"/> Miliamperes

ANEXO G

Sensor de proximidad magnético

MZT8-28VPS-KP0 | MZT8 SENSORS FOR T-SLOT CYLINDERS



Ordering information

Type	Part no.
MZT8-28VPS-KP0	1048048

Other models and accessories → www.sick.de/MZT8



Detailed technical data

Features

Cylinder type	T-slot
Cylinder types with adapter	Profile cylinder Tie rod cylinder Round body cylinder Dovetail groove cylinder SMC rail CDQ2 SMC rail EQDQ2
Housing length	24 mm
Output type	PNP
Switching frequency, typ.	1,000 Hz
Output function	NO
Electrical wiring	DC 3-wire
Enclosure rating	IP 68 ¹⁾

¹⁾ According to EN 60529 (IP 67 / IP 68)

Mechanics/electronics

Supply voltage	10 V DC ... 30 V DC
Power consumption	≤ 10 mA ¹⁾
Voltage drop	≤ 2.2 V
Continuous current I_a	≤ 200 mA
Protection class	III
Response sensitivity, typ.	2.8 mT
Overrun distance, typ.	9 mm
Hysteresis, typ.	> 0.5 mT
Repeatability	≤ 0.1 mT ²⁾
Reverse polarity protection	✓

¹⁾ Without load.

²⁾ U_b and T_s constant.

MZT8-28VPS-KPO | MZT8

SENSORS FOR T-SLOT CYLINDERS

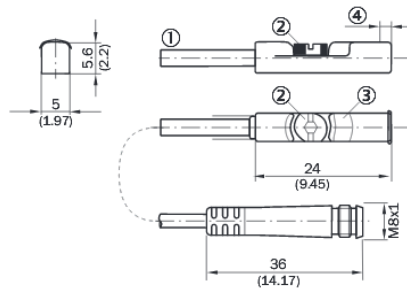
Short-circuit protection	✓
Power-up pulse protection	✓
Ambient operating temperature	-30 °C ... +80 °C
Shock and vibration resistance	30 g, 11 ms / 10 ... 55 Hz, 1 mm
EMC	According to EN 60947-5-2
Housing material	Plastic, PA12
Housing cap material	PA12
Connection type	Cable with connector M8, 3-pin, 0.3 m
Cable material	PUR
Conductor cross-section	0.14 mm ²
UL File No.	NRKH.E181493

¹⁾ Without load.

²⁾ U_b and T_a constant.

Dimensional drawing (dimensions in mm (inch))

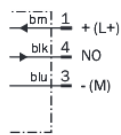
Cable with connector M8



- ① Connection
- ② Fixing screw
- ③ Display LED
- ④ Position of sensor element; short overrun distance: 2 mm; long overrun distance: 1.7 mm

Connection diagram

Cd-002



ANEXO H

Sensor de proximidad inductivo



Main

Range of product	OsiSense XS
Series name	General purpose
Sensor type	Inductive proximity sensor
Product specific application	-
Sensor name	XS1
Sensor design	Cylindrical M18
Size	50 mm
Body type	Fixed
Detector flush mounting acceptance	Flush mountable
Material	Metal
Enclosure material	Nickel plated brass
Type of output signal	Discrete
Wiring technique	3-wire
[Sn] nominal sensing distance	10 mm
Discrete output function	1 NO
Output circuit type	DC
Discrete output type	PNP
Electrical connection	4 pins M12 male connector
[Us] rated supply voltage	12...24 V DC with reverse polarity protection
Switching capacity in mA	<= 200 mA DC with overload and short-circuit protection
IP degree of protection	IP69 K conforming to DIN 40050 IP67 conforming to IEC 60529

Complementary

ISO thread	M18 x 1
Detection face	Frontal
Front material	PPS
Operating zone	0...8 mm
Differential travel	1...15% of Sr
Status LED	1 LED yellow for output state
Supply voltage limits	10...36 V DC
Switching frequency	<= 1000 Hz
Voltage drop	<= 2 V at closed state
Current consumption	0...10 mA at no-load
Delay first up	<= 5 ms
Delay response	<= 0.3 ms
Delay recovery	<= 0.7 ms
Marking	CE
Threaded length	28 mm
Length	48 mm
CAD overall height	18 mm
CAD overall depth	48 mm
Product weight	0.04 kg

The information provided in this documentation contains general descriptions and/or technical characteristics of the products contained herein. This documentation is not intended as a substitute for and is not to be used for determining suitability or reliability of these products for specific user applications. It is the duty of any such user or integrator to perform the appropriate and complete risk analysis, evaluation and testing of the products with regard to the relevant specific application or use thereof. Neither Schneider Electric Industries Sàrl nor any of its affiliates or subsidiaries shall be responsible or liable for misuse of the information contained herein.

ANEXO I

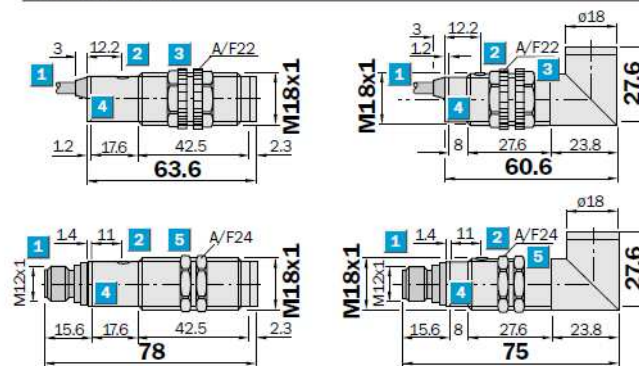
Sensor de proximidad fotoeléctrico

VTF 18-3/4 Photoelectric proximity switches, focused optic, infrared light – DC

Scanning distance
 0...50 mm/
 3...100 mm
 Photoelectric proximity switches

- Focused optics, which provide background blanking and an excellent scanning reliability
- 2 scanning distance options: SD 1 = 50 mm, SD 2 = 100
- Optionally VT 18-3 in 3-line model or VT 18-4 with light/dark control line
- Many other options

Dimensional drawing



Adjustments possible

See selection table on page 943, 944



- 1 Connecting cable or plug
- 2 Fastening nut, width across 22 mm, made of **plastic** for equipment with plastic housing
Fastening nut, width across 24 mm, made of **metal** for equipment with metal housing
- 3 Sensitivity control
- 4 Signal strength indicator, LED, yellow

Connection types

VTF 18-3

VTF 18-4

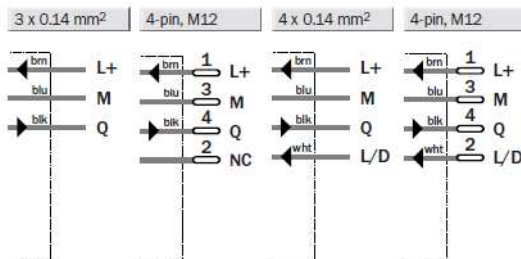
Variants, equipment options: See selection table on pages 943, 944 for type name and order no.



See chapter Accessories

Cables and connectors

Mounting systems



Technical data		VTF 18-	3x5...	4x5...	3x1...	4x1...						
Housing	Straight											
	Angled, 90°											
VTF 18 Scanning distance 50 mm												
Scanning distance, max. typical ¹⁾	0...50 mm											
Operating distance ⁴⁾	0...45 mm											
Light spot diameter	Approx. 3 mm at a distance of 25 mm											
Angle of dispersion of sender	Focused, focus 25 mm											
Sensitivity, adjustable (optional)	Potentiometer 270°											
VTF 18 Scanning distance 100 mm												
Scanning distance, max. typical ¹⁾	3...100 mm											
Operating distance ⁴⁾	3...90 mm											
Light spot diameter	Approx. 3 mm at a distance of 50 mm											
Angle of dispersion of sender	Focused, focus 50 mm											
Sensitivity, adjustable (optional)	Potentiometer 270°											
Light source²⁾, light type	LED, infrared light											
Supply voltage V_S	10...30 V DC ³⁾											
Residual ripple ⁴⁾	± 10 %											
Current consumption ⁵⁾	≤ 30 mA											
Switching outputs (optional)	PNP/NPN											
Switching mode	Q, dark-switching											
	Q, light-switching											
via control wire ⁶⁾	Q, light-/dark-switching											
	+ V_S = light-switching											
	0 V = dark-switching											
Output current I_A max.	100 mA											
Response time ⁷⁾	≤ 2 ms											
Max. switching frequency ⁸⁾	250/s											
Connection types												
cable 2 m ⁹⁾	PVC, 3 x 0.14 mm ² , ϕ 3.1 mm											
	PVC, 4 x 0.14 mm ² , ϕ 5 mm											
plug	4-pin, M12											
VDE protection class¹⁰⁾	□											
Circuit protection¹¹⁾	A, B, C, D											
Enclosure rating	IP 67											
Ambient temperature T_A	- 25 °C...+ 70 °C											
Weight	metal housing	Approx. 120 g										
	plastic housing	Approx. 100 g										
Housing material												
metal housing	Nickel-plated brass; PBT/PC											
plastic housing	PBT/PC											
optic	PMMA											

1) Object with 90 % reflectance (referred to standard white DIN 5033)

2) Average service life 100,000 h at $T_A = + 25$ °C

3) Limit values

4) Must be within V_S tolerances

5) Without load

6) Control wire open:
NPN: light-switching
PNP: dark-switching

7) With resistive load

8) With light/dark ratio 1:1

9) Do not bend below 0 °C

10) Reference voltage 50 V DC

11) A = V_S connections reverse-polarity protected

B = Inputs/outputs reverse-polarity protected

C = Interference suppression

D = Outputs overcurrent and short-circuit protected

ANEXO J

Especificaciones técnicas del servodriver CD 420

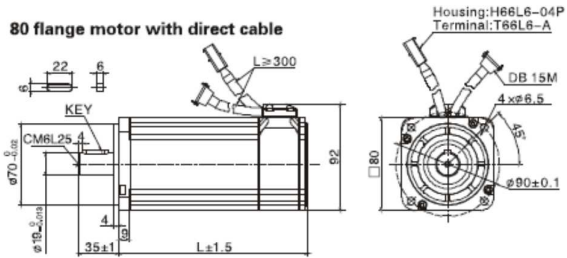
Model parameter		CD420			CD430				CD620		
		200W	400W	750W	1KW	1.05KW	1.25KW	1.26KW	1.26KW	1.57KW	1.88KW
Power	Main supply voltage	Single-phase AC220V±20% 47-63Hz			Single-phase or 3-phase AC220V±20% 47-63Hz				3-phase AC380V±20% 47-63Hz		
	Control circuit voltage	DC24V 1A									
Current	Rated current(RMS)	1.6A	3.1A	3.9A	6.3A	5.4A	6.5A	6.2A	4.3A	5.4A	6.2A
	Peak current(PEAK)	6.8A	13.2A	15A	26.7A	22.9A	27A	26.3A	18.2A	22.9A	25A
	Feedback signal	2500PPR (incremental encoder with 5V supply and RS422 signals)									
	Brake chopper	Use an external braking resistor if necessary									
	Brake chopper threshold	DC380V±5V							DC680V±5V		
	Over-voltage alarming threshold	DC400V±5V							DC700V±5V		
	Under-voltage alarming threshold	DC200V±5V							DC400V±5V		
	Cooling method	Natural air cooling			Fan						
	Weight	1.2kg			2.4kg						
Position Mode	Max. frequency of input pulse	Differential signal: 500KPPS, Open-collector signal: 200KPPS									
	Pulse command mode	Pulse+direction, CCW+CW, (higher voltages than 5V need external current limiting resistors)									
	Command smoothing	Low-pass filtering(internal parameters)									
	Feedforward gain	Internal parameters									
	Electronic gear ratio	Setting range, Gear factor: -32768~32767, Gear divider: 1~32767, 1/50 ≤ Gear factor/Gear divider ≤ 50									
Speed Mode	Position loop sampling frequency	1KHz									
	Analog input voltage range	0 ~ ±10V (Resolution 12bit)									
	Input impedance	200K									
	Analog input sampling frequency	4KHz									
	Command source	External analog command/internal command									
	Command smoothing	Low-pass filtering(internal parameters)									
	Input voltage dead-zone setting	Internal parameters									
	Input voltage offset setting	Internal parameters									
	Speed limit	Internal parameters									
	Torque limit	Internal parameters / External analog command control									
Torque Mode	Speed loop sampling frequency	4KHz									
	Analog voltage input range	0 ~ ±10V (Resolution 12bit)									
	Input impedance	200K									
	Input sampling frequency	4KHz									
	Command source	External analog command/internal command									
	Command smoothing	Low-pass filtering(internal parameters)									
	Speed limit	Internal parameters / External analog command control									
	Input voltage dead-zone setting	Internal parameters									
Digital Input	Input specification	7 digital inputs, with COM1 terminal for PNP or NPN connection.									
	Input function	Define freely according to requirement, supporting following functions: Driver enable, driver fault reset, driver mode control, Proportional control, forward inhibit limit, reverse inhibit limit, negative limit position, home signal, speed command reverse, internal speed or position select									
Digital Output	Output specification	5 digital outputs, OUT1 ~ OUT4 current is 100mA, OUT5 current is 800mA									
	Output function	Define freely according to requirement, supporting following functions: Driver ready, driver fault, position reached, motor at zero speed, motor brake, motor speed reached, N signal									
	Protection functions	Over-voltage protection, under-voltage protection, motor over-heat protection(I ² T), short-circuit protection, drive over-heat protection, etc.									
	Communication interface	RS232									
Operation Environment	Operating temperature	0~40℃									
	Storage temperature	-10℃~70℃									
	Humidity(non-condensing)	5~95%									
	Protection class	IP20									
	Installation environment	Installed in a dust-free, dry and lockable environment (such as in a electrical cabinet)									
	Installation mode	Vertical installation									
	Height	Below 1000m									
	Atmospheric pressure	86kpa~106kpa									

ANEXO K

Especificaciones técnicas del servomotor

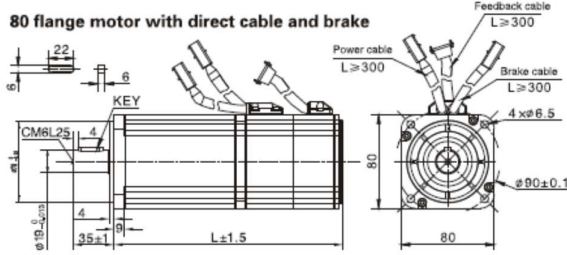
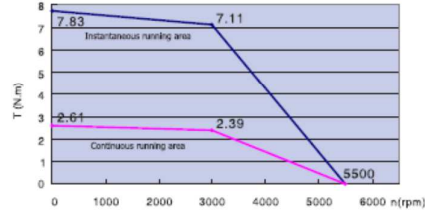
Motor series	SMH Series Motor				SME Series Motor			
	Small inertia flange size 60mm		Small inertia flange size 80mm		Small inertia flange size 60mm		Small inertia flange size 80mm	
Model	SMH60S-0020-30A□K-3LK□	SMH60S-0040-30A□K-3LK□	SMH80S-0075-30A□K-3LK□	SMH80S-0100-30A□K-3LK□	SME60S-0020-30A□K-3LK□	SME60S-0040-30A□K-3LK□	SME80S-0075-30A□K-3LK□	
Compatible driver	CD420-AA-000, CD422-AA-000			CD430-AA-000 CD432-AA-000	CD420-AA-000, CD422-AA-000			
DC link voltage UDC	300	300	300	300	300	300	300	
Continuous performance	Rated power P_s (W)	200	400	750	1000	200	400	750
	Rated torque T_r (Nm)	0.64	1.27	2.39	3.18	0.64	1.27	2.39
	Rated speed n_r (rpm)	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
	Rated current I_r (A)	1.6	3.1	3.9	6.3	1.6	3.1	3.9
Maximum torque T_m (Nm)	1.92	3.82	7.17	9.48	1.92	3.81	7.17	
Maximum current I_m (A)	4.8	9.3	11.7	18.9	4.8	9.3	11.7	
Standstill torque T_s (Nm)	0.7	1.39	2.63	3.3	0.7	1.4	2.63	
Standstill current I_s (A)	1.79	3.38	4.4	6.93	1.76	3.41	4.29	
Resistance line-line R_L (Ω)	8.02	3.52	1.4	0.86	10.4	5.8	3	
Inductance line-line L_L (mH)	16.3	7.8	7.5	4.5	25.4	15	16.2	
Electrical time constant τ_e (ms)	2.03	2.22	5.35	5.23	2.44	2.59	5.4	
Mechanical time constant τ_m (ms)	2.26	1.35	0.75	0.89	2.93	1.93	1.49	
Reverse voltage constant K_v (V/krpm)	29	29	40	34	29	29	40	
Torque constant K_t (Nm/A)	0.48	0.48	0.662	0.562	0.48	0.48	0.662	
Rotor moment of inertia J_m (Kg · cm ²)	0.375	0.51	1.36	1.9	0.375	0.443	1.255	
	0.379 (with brake)	0.514 (with brake)	1.385 (with brake)	1.925 (with brake)	0.379 (with brake)	0.447 (with brake)	1.28 (with brake)	
Pole pair number	3	3	3	3	3	3	3	
Maximum voltage rising du/dt (KV/μs)	8	8	8	8	8	8	8	
Insulation class	F	F	F	F	F	F	F	
Maximum radial force F_r (N)	180	180	335	335	180	180	335	
Maximum axial force F_a (N)	90	90	167.5	167.5	90	90	167.5	
Weight G (Kg)	1.3	1.8	3.3	3.9	1.3	1.6	2.9	
	1.8 (with brake)	2.3 (with brake)	4 (with brake)	4.6 (with brake)	1.8 (with brake)	2.1 (with brake)	3.6 (with brake)	
Length of motor L (mm)	120	150	147	167	120±1.5	135±1.5	132±1.5	
	159 ± 1.5(with brake)	189 ± 1.5(with brake)	197 ± 1.5(with brake)	217 ± 1.5(with brake)	159 ± 1.5(with brake)	174 ± 1.5(with brake)	182 ± 1.5(with brake)	
Position feedback device	Incremental encoder 2500ppr							
Cooling method	Totally enclosed, non-ventilated							
Protection level	IP65 for body, shaft sealing IP54							
Environmental conditions for operation	Temperature	-20°C ~ 40°C (Non-freezing)						
	Humidity	Below 90% RH (Non-condensing)						
	Ambient environment	Away from active gas, combustible gas, oil drops and dust						
	Altitude	Maximum altitude 4000m, Rated power at 1000m or below, Above 1000m: Decreasing 1.5% per 100m rise						

Note: □=A: no brake □=H: Cable connector
 □=B: brake □=N: HFO series standard connector
 □=M: Intercontec connector

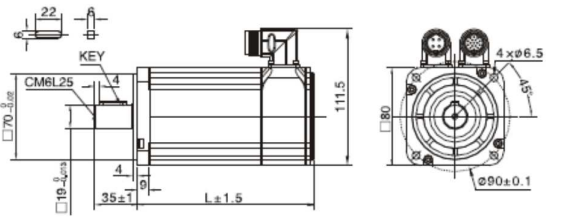


Note: DB15(2-row plastic shell 15 pin or 3-row metal shell 15 pin are selectable)

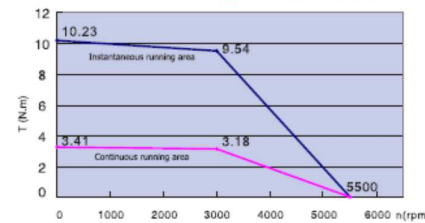
SMH/SME80S-0075-30A K-3LK 750W



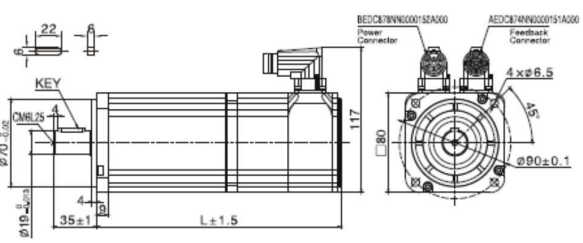
80 flange motor with HFO series standard connector



SMH80S-0100-30A K-3LK 1000W



80 flange motor with Intercontec connector



ANEXO L

Actuador giratorio DSM

Actuadores giratorios DSM-B

Datos técnicos DSM 12 ... 63

FESTO

Función



Ø - Tamaño
12 ... 63



Datos técnicos		12	16	25	32	40	63
Tamaño							
Conexión neumática		M5			G1/8		G1/4
Forma constructiva		Actuador giratorio con aleta basculante					
Amortiguación							
DSM...P		Amortiguación elástica en ambos lados					
DSM...PI		Amortiguación elástica regulable en ambos lados					
DSM...CE		Amortiguadores autoregulables en ambos lados					
Tipo de fijación		Con rosca interior					
Posición de montaje		Indiferente					
Ángulo de giro							
DSM...P	°	270					
DSM...PI	°	270 (262 ¹⁾)		270			
DSM...PI	°	246				240	
DSM...CE	°	246				240	
Ajuste del ángulo de giro							
DSM...P	°	-6					
DSM...PI	°	-6					
DSM...CE	°	-3					
Ángulo de amortiguación							
DSM...PI	°	10	9	7,5	6,5	6,5	6
DSM...CE	°	15	12	10	12	16	17,5
Precisión de repetición							
DSM...P	°	3					
DSM...PI	°	0,1					
DSM...CE	°	0,1					

1) Ángulo según Festo, en combinación con el elemento de fijación de serie S 096-5...

2) Importante: Siempre usar el par de los estándares ISO 1191 y el ISO 226-1

Datos técnicos - Frecuencia de giro (Hz)		12	16	25	32	40	63
DSM... / DSM T...							
Frecuencia de giro (con ángulo de giro máx.)							
DSM...P		2					1,6
DSM...PI		2					1,6
DSM...CE		1,5	1	0,7		0,6	
Frecuencia de alternación (con ángulos de giro pequeños)							
DSM...CE		2	1,5				
DSM...HD							
Frecuencia de giro (con ángulo de giro máx.)							
DSM...PI		1,5					1
DSM...CE		1					0,5

Condiciones de funcionamiento y del entorno		12	16	25	32	40	63
Tamaño							
Fluido		Aire comprimido según ISO 8573-1:2010 (7...-)					
Presión de funcionamiento							
DSM...P	bar	2 ... 10	1,8 ... 10	1,5 ... 10			
DSM T...	bar	2,5 ... 10	1 ... 10				
DSM...HD	bar	3 ... 10	2 ... 10				
Temperatura ambiente ¹⁾	°C	-10 ... +60					
Temperatura de almacenamiento	°C	30					
ATEX		Tipos especiales → www.festo.com					

ANEXO M

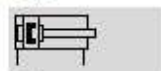
Cilindro neumático ADVU

Cilindros compactos ADVU

Hoja de datos: cilindro de doble efecto, tipo básico

FESTO

Función



• Ø Diámetro
12 ... 125 mm

• l Carrera
1 ... 400 mm

• www.festo.com

Juegos de piezas de desgaste
→ 21

Variantes



S2



S6



S26



S20



S206



R3



ADM1...-PA

ADM1...-A-PA



ADM1...-PA-S2

ADM1...-A-PA-S20

Datos técnicos generales												
Diámetro del émbolo	12	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	
Conexión neumática	M5	M5	M5	M5	G $\frac{1}{8}$	G $\frac{1}{8}$	G $\frac{1}{8}$	G $\frac{1}{8}$	G $\frac{1}{8}$	G $\frac{1}{4}$	G $\frac{1}{4}$	G $\frac{1}{4}$
Extremo del vástago	Rosca interior	M3	M4	M5	M5	M6	M6	M8	M8	M10	M12	M16
	Rosca exterior	M6	M8	M10x1,25				M12x1,25		M16x1,5	M20x1,5	M27x2
Fluido de trabajo	Aire comprimido según ISO 8573-1:2010 (7:4.4)											
Nota sobre el fluido de trabajo/mando	Es posible el funcionamiento con aire comprimido lubricado (lo cual requiere seguir utilizando aire lubricado)											
Construcción	Émbolo											
	Vástago											
Amortiguación	Anillas y discos elásticos en ambos lados											
Detección de posiciones	Pala detectores de proximidad											
Tipo de fijación	Mediante tornillos											
	Con rosca interior											
	Con accesorios											
Posición de montaje	Indiferente											

! Importante: Este producto cumple con las estándares ISO 11794, aISO 2284

Presión de funcionamiento [bar]												
Diámetro del émbolo	12	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	
Vástago simple	1,2 ... 10		1,0 ... 10		0,8 ... 10			0,6 ... 10		0,5 ... 10		
Doble vástago S2/S20	1,5 ... 10		1,3 ... 10		1,0 ... 10			0,8 ... 10		0,5 ... 10		

Condiciones del entorno			
Cilindro compacto	Tipo básico		S6
Temperatura ambiente ⁽¹⁾ [°C]	-20 ... +80		0 ... +120
Clase de resistencia a la corrosión ⁽²⁾	2		3

Fuerzas [N] y energía de impacto [J]												
Diámetro del émbolo	12	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	
Fuerza teórica con 6 bar en avance		68	121	188	295	483	754	1.178	1.870	3.016	4.712	7.363
	S2/S20	51	90	141	247	415	686	1.057	1.750	2.827	4.418	6.881
Fuerza teórica con 6 bar en retroceso		51	90	141	247	415	686	1.057	1.750	2.827	4.418	6.881
	S2/S20	51	90	141	247	415	686	1.057	1.750	2.827	4.418	6.881
Energía máx. de impacto en las posiciones finales		0,09	0,10	0,14	0,30	0,40	0,52	0,64	0,70	0,75	1,00	4,00
	S20	0,01	0,01	0,01	0,01	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,10	0,40

ANEXO N

Cilindro neumático DZH

Cilindros de émbolo oval DZH

Hoja de datos

FESTO

Función

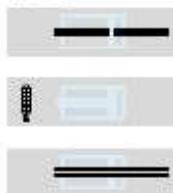


- Diámetro
16 ... 63 mm
- Carrera
1 ... 1000 mm

 www.festo.com

Juegos de piezas de desgaste
→ 30

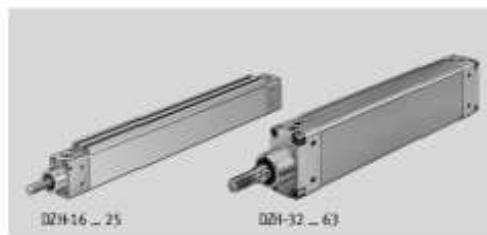
Variantes



S2

S6

S20



Datos técnicos generales							
Diámetro del émbolo	16	20	25	32	40	50	63
Conexión neumática	M5	G1/8	G1/8	G1/8	G1/4	G1/4	G3/8
Extremo del vástago - Rosca exterior	M6	M6	M10x1,25	M10x1,25	M12x1,25	M16x1,5	M16x1,5
Construcción	Émbolo, vástago						
Artículo/Guía	Émbolo oval						
Amortiguación	Amortiguación neumática regulable en ambos lados						
Carrera de amortiguación [mm]	14	17	17	19	21	23	23
Detección de posiciones	Para detectores de proximidad						
Tipo de fijación	Con rasca interior						
	Con accesorios						
Posición de montaje	Indiferente						

Presión de funcionamiento [bar]							
Diámetro del émbolo	16	20	25	32	40	50	63
	1,0 ... 10			0,6 ... 10			

Condiciones del entorno	
Cilindros de émbolo oval	DZH... DZH...-S6
Fluido de trabajo	Aire comprimido según ISO 8573-1:2010 [7;4;4]
Nota sobre el fluido de trabajo/mando	Es posible el funcionamiento con aire comprimido lubricado (lo cual requiere seguir utilizando aire lubricado)
Temperatura ambiente ¹⁾ [°C]	-20 ... +80 0 ... +120
Clase de resistencia a la corrosión (CRC ²⁾	2 2

Fuerzas [N] y momentos [Nm]							
Diámetro del émbolo	16	20	25	32	40	50	63
Fuerza teórica con 6 bar en avance	121	188	295	483	754	1178	1870
	S2/S20	104	158	247	415	633	989
Fuerza teórica con 6 bar en retroceso	104	158	247	415	633	989	1682
	S2/S20	104	158	247	415	633	989
Momento de giro máx. en el vástago ¹⁾	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,7	2,0

1) El momento de giro máx. admisible debe ajustarse también a los demás elementos de fijación en el vástago.

ANEXO O

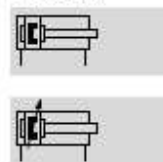
Cilindro neumático DSNU

Cilindros normalizados DSNU, ISO 6432

Hoja de datos

FESTO

Funcionamiento



• \varnothing Diámetro
8 ... 25 mm

— | Carrera
1 ... 500 mm

Variantes

→ 18



Datos técnicos generales		8	10	12	16	20	25
Diámetro del émbolo		8	10	12	16	20	25
Conexión neumática		M5	M5	M5	M5	G½	G½
Rosca del vástago		M4	M4	M6	M6	M8	M10x1,25
Construcción		Émbolo Vástago Camisa del cilindro					
Amortiguación		Anillos y discos elásticos en ambos lados					
P		Amortiguación regulable en ambos lados					
PPV		Amortiguación automática en ambos lados					
PPS		Amortiguación automática en ambos lados					
Carrera de amortiguación		9					
PPV [mm]		12					
PPS [mm]		15					
Detección de posiciones		Para detectores de posición					
Tipo de fijación		Montaje directo (sólo variante MH)					
Con accesorios		Con accesorios					
Posición de montaje		Indefinida					

! Importante Este producto cumple con los estándares ISO 1179-1 e ISO 728-1

Condiciones de funcionamiento		8	10	12	16	20	25
Fluido de trabajo		Aire comprimido según ISO 8573-1:2010 [7.4.4]					
Nota sobre el fluido de trabajo/mando		Es posible el funcionamiento con aire comprimido lubricado (lo cual requiere seguir utilizando aire lubricado)					
Presión de funcionamiento		1,5 ... 10 ¹⁾					
Tipo		1 ... 10					
S10		1,5 ... 10					
S11		0,45 ... 10					

Condiciones del entorno		Tipo básico	S6	S10	S11	R3
Cilindros normalizados		Tipo básico	S6	S10	S11	R3
Temperatura ambiente ¹⁾ [°C]		-20 ... +80	0 ... +120	+5 ... +80		-20 ... +80
Clase de resistencia a la corrosión ²⁾		2	2	2	2	3

Fuerzas [N] y energía de impacto [J]		8	10	12	16	20	25
Diámetro del émbolo		8	10	12	16	20	25
Fuerza teórica con 6 bar en avance		30	47	68	121	189	295
Fuerza teórica con 6 bar en retroceso		23	40	51	104	158	247
Energía de impacto en las posiciones fijas con amortiguación P ¹⁾		0,03	0,05	0,07	0,15	0,20	0,30

1) A una temperatura ambiente de 20 °C; los valores en aproximadamente 50%.

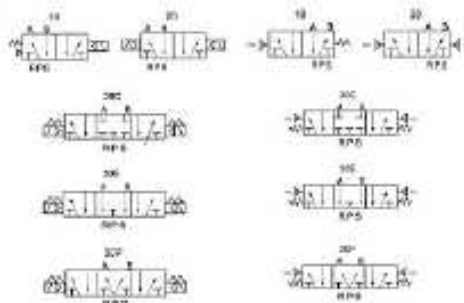
ANEXO P

Características técnicas electroválvulas



Solenoid valve 4V series Air valve 4A series

Symbol:



How to order				
4V/4A	2	10	08	AC110V
Series code	Series	Position & coil	Port size	Voltage
V: solenoid valve A: air valve	2: 200 series	10: 2/5 way single electrical control 20: 2/5 way double electrical control 30C: 3/5 way (middle closed type) double electrical control 30E: 3/5 way (middle closed type) double electrical control 30P: 3/5 way (middle pressure type) double electrical control	08: 1/8" 03: 1/4"	DC12V DC24V AC110V 50/60Hz AC110V 50/60Hz AC220V 50/60Hz AC230V 50/60Hz

Specification										
Model	SN0210-00 4V210-00 4A210-00	SN0220-00 4V220-00 4A220-00	SN0230C-00 4V230C-00 4A230C-00	SN0230E-00 4V230E-00 4A230E-00	SN0230P-00 4V230P-00 4A230P-00	SN0210-00 4V210-00 4A210-00	SN0220-00 4V220-00 4A220-00	SN0230C-00 4V230C-00 4A230C-00	SN0230E-00 4V230E-00 4A230E-00	SN0230P-00 4V230P-00 4A230P-00
Fluid	Air (filtered through 50 µm element)									
Action	Normally closed spring type									
Valve size	25 mm		25 mm			25 mm		25 mm		
Effective area (mm²)	1.4mm² (CV=0.78)		12mm² (CV=0.40)			16mm² (CV=0.78)		12mm² (CV=0.67)		
Port size	In-out=external-1/8"									
Lubrication						Not required				
Operating pressure						1.5~0.5kgf/cm²				
Proof pressure						10kgf/cm²				
Ambient & fluid temperature						5~60°C				
Storage range						-10°C				
Power consumption						AC1.5W DC3.0W				
Insulation grade						F grade				
Protection						F15 (DIN 40050)				
Connectors						Lead wire type of female type				
Max. inrush current						5 cycles/sec.				
Min. response time						1.55 sec.				
Weight (g)	220g	320g	440g	490g	400g	380g	380g	400g	400g	400g
Material	Body: Steel					Aluminum alloy				
Surface treatment						NPP				

ANEXO Q

Características tubo cuadrado de la estructura



DIPAC[®]
PRODUCTOS DE ACERO

INOXIDABLE

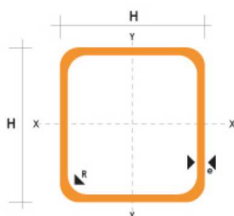
TUBO CUADRADO EN ACERO INOXIDABLE

Especificaciones Generales

Norma	AISI 304
Largo normal	6.00m
Otros largos	Previa consulta
Dimensiones	Desde 1/2" hasta 2"
Espesor	Desde 0.60mm hasta 2.00mm



Pulgadas	DIMENSIONES		PESO	AREA				EJES X-X E Y-Y			
	H	e	P	A		I		W		I	
	mm	mm	Kg/6m	cm ²	cm ⁴	cm ⁴	cm ³	cm ³	cm ⁴	cm ⁴	
1/2	12	0.60	1.32	0.27	0.06	0.10	0.47				
		0.75	1.86	0.32	0.07	0.12	0.47				
		0.95	2.28	0.40	0.08	0.13	0.45				
5/8	15	0.60	1.74	0.35	0.12	0.16	0.59				
		0.75	2.16	0.41	0.14	0.19	0.58				
		0.95	2.70	0.51	0.16	0.21	0.56				
3/4	20	0.60	2.22	0.47	0.29	0.29	0.79				
		0.75	2.88	0.56	0.34	0.34	0.78				
		0.95	3.60	0.70	0.41	0.41	0.77				
		1.10	4.20	0.80	0.47	0.47	0.77				
1	25	1.50	5.64	1.05	0.58	0.58	0.74				
		0.75	3.60	0.71	0.69	0.55	0.99				
		0.95	4.50	0.89	0.84	0.67	0.97				
		1.10	5.22	1.02	0.95	0.76	0.97				
1 1/4	30	1.50	7.08	1.35	1.21	0.97	0.95				
		0.95	5.40	1.08	1.50	1.00	1.18				
		1.10	6.24	1.24	1.70	1.13	1.17				
1 1/2	40	1.50	8.46	1.65	2.19	1.47	1.15				
		0.95	7.20	1.46	3.68	1.84	1.59				
		1.10	4.34	1.68	4.20	2.10	1.58				
2	50	1.50	11.28	2.25	5.48	2.74	1.56				
		1.50	14.04	2.85	11.06	4.42	1.97				



NOMENCLATURA

- A= Área de la selección transversal del tubo, cm²
- I= Momento de inercia de la sección, cm⁴
- W= Módulo resistente de la sección, cm³
- R= Radio de giro de la sección, cm

ANEXO R

Características eje



EJES

EJES ACERO INOXIDABLE

Especificaciones Generales

Material	AISI 304
Dureza HB	249-278
Límite de Influencia	225 N/mm ²
Aplicaciones	INDUSTRIAS ALIMENTICIAS, CERVECERA, AZUCARERA, ALIMENTICIA, UTENSILLOS DOMESTICOS INDUSTRIA DEL CUERO FARMACEUTICA, DENTAL, ETC...



DIMENSIONES

DIAMETRO	LONGITUD
3/16"	6m.
1/4"	6m.
5/16"	6m.
3/8"	6m.
1/2"	6m.
5/8"	6m.
3/4"	6m.
1"	6m.
1-1/4"	6m.
1-1/2"	6m.
2"	6m.
2-1/2"	6m.
3"	6m.
3-1/2"	6m.
4"	6m.
5"	6m.
6"	6m.

PROPIEDADES QUÍMICAS

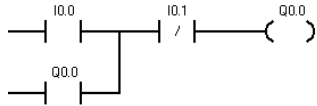
%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Ni	%Cr
0 - 0,08	0 - 1	0 - 2	0 - 0,045	0 - 0,03	8 - 10.5	18 - 20

ANEXO S

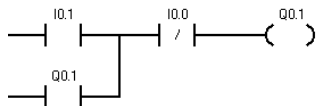
Programa de control

MAQUINA SELLADORA DE VASOS DE YOGUR

Network 1 Título de segmento

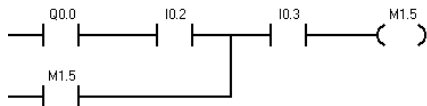


Network 2

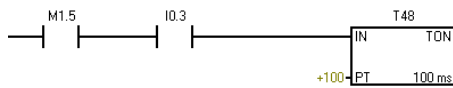


Network 3 Título de segmento

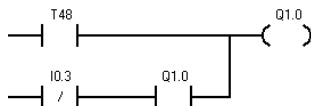
Comentario de segmento



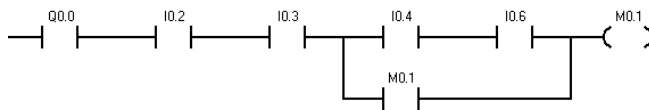
Network 4



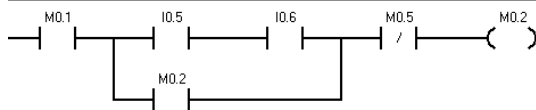
Network 5



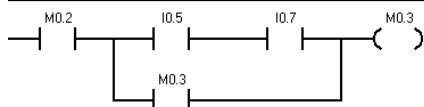
Network 6



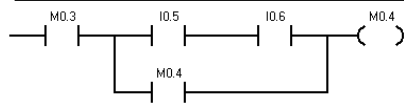
Network 7



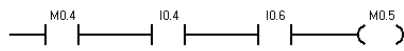
Network 8



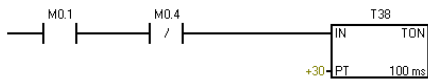
Network 9



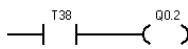
Network 10



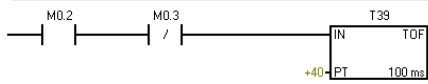
Network 11



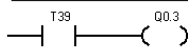
Network 12



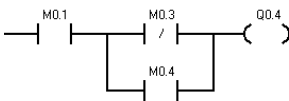
Network 13



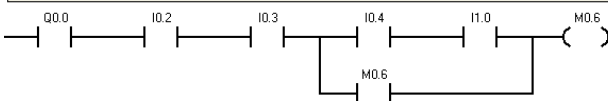
Network 14



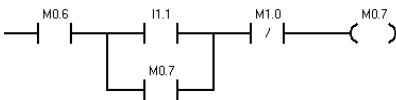
Network 15



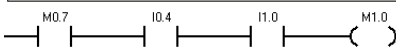
Network 16

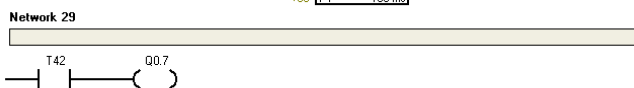
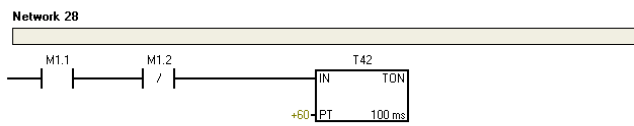
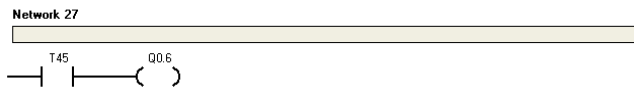
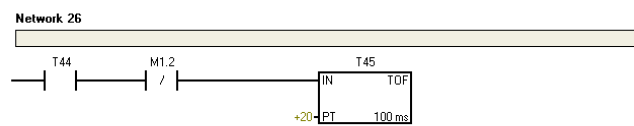
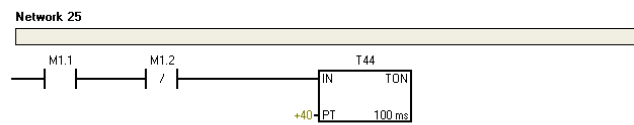
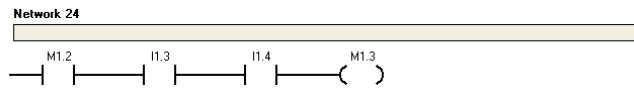
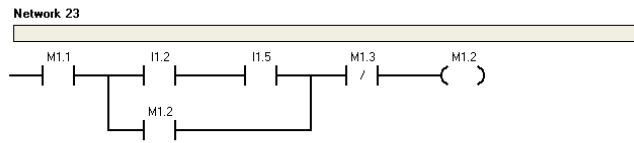
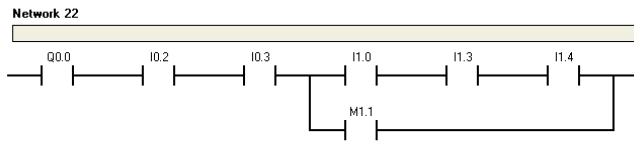
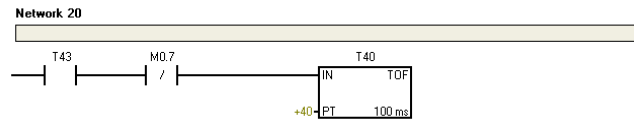
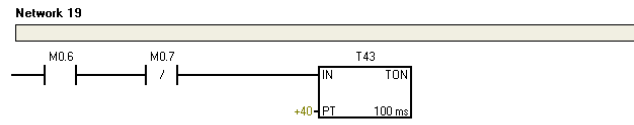


Network 17



Network 18





ANEXO T

Manual de usuario y mantenimiento

**MÁQUINA SELLADORA SEMI AUTOMÁTICA DE
VASOS DE YOGUR**

MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

2016

Antes de utilizar el equipo lea detenidamente las instrucciones indicadas en el siguiente manual.

ÍNDICE

ÍNDICE	2
ADVERTENCIAS DE SEGURIDAD	3
MANUAL DE USUARIO	4
INTRODUCCIÓN.....	4
ENTORNO.....	4
FORMA DE ALIMENTACIÓN/TIERRA.....	5
CONEXIÓN DEL AIRE COMPRIMIDO	5
SÍMBOLOS DE ADVERTENCIA EN LA MÁQUINA.....	6
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA MÁQUINA	7
COMPONENTES IMPORTANTES	7
INDICADORES DE LOS TABLEROS DE CONTROL.....	8
PUESTA EN MARCHA Y USO	8
ARRANQUE DE LA MÁQUINA	8
PARADA DE LA MÁQUINA	12
MANTENIMIENTO.....	13
PROBLEMAS Y SOLUCIONES	14



ADVERTENCIAS DE SEGURIDAD

- Prestar atención a las advertencias de seguridad que se proporcionan en este manual y en todo el equipo.
- La máquina ha sido diseñada exclusivamente para sellar láminas de aluminio con envases de yogur.
- No opere este equipo ni realice ningún trabajo de mantenimiento o reparación hasta que haya leído y entendido toda la información que se detalla en el manual.
- La operación, el mantenimiento y la reparación incorrecta de este equipo es peligrosa y puede generar lesiones o accidentes mortales.
- El mantenimiento debe ser realizado por técnicos calificados, que deberán desconectar todas las fuentes de tensión, antes de manipular los elementos eléctricos y electrónicos que constituyen el equipo.
- No toque ninguna pieza o elemento de la máquina en marcha.
- Antes de realizar cualquier tarea de mantenimiento alivie toda la presión de aire y desconecte la fuente de energía principal.
- El fabricante no se responsabiliza de los daños causados por el uso indebido e irracional de la máquina.
- No aceptará ninguna responsabilidad por las posibles consecuencias de la interpretación errónea de este manual de operación y mantenimiento.
- Use todos los equipos de protección personal que se requiera.



Notas importantes para la instalación. Lea detenidamente

INTRODUCCIÓN

La máquina selladora de vasos de yogur sella de forma automática las láminas de aluminio con los envases de yogur ya que cuenta con un controlador lógico programable que se encarga de procesar las señales de los diferentes sensores y actuadores que se encuentran distribuidos en el equipo. Todos los sistemas que conforman la máquina funcionan de forma automática y cada uno se relaciona directamente.

En este manual se detallará los componentes que tiene la máquina, puesta en marcha, los pasos a seguir para el buen funcionamiento. Además de como corregir los posibles errores que se presenten durante todo el proceso de sellado.

ENTORNO

- No se debe inclinar la máquina. El equipo debe transportarse en forma vertical para prevenir posibles daños.
- Para que el equipo funcione correctamente es necesario colocar la máquina en una superficie completamente lisa, horizontal y plana.
- Dejar suficiente espacio alrededor de la máquina para el buen funcionamiento de los sistemas integrados.
- La máquina está diseñada para trabajar a temperatura ambiente bajo ningún concepto debe estar cerca de una fuente de calor o aparato que emita vapor ya que cuenta con varios sensores que pueden sufrir daños.
- Inspeccionar que la máquina se encuentre libre de objetos extraños (artículos que no formen parte del equipo) para evitar posibles fallas o daños en el equipo.

FORMA DE ALIMENTACIÓN/TIERRA

- Antes de conectar la máquina verificar con una pinza amperimétrica que la red eléctrica suministre un voltaje de 220VAC.
- Conecte la máquina a enchufes con conexión a tierra para evitar posibles riesgos de descargas eléctricas generalmente las conexiones a tierra son de color verde o amarillo.
- Si el cable de alimentación presenta daños como parches, roturas reemplazarlo inmediatamente.
- Desconecte la máquina si presenta algún tipo de problema o se tiene que efectuar actividades de mantenimiento.
- Desconecte la máquina después de terminar cada ciclo de producción. Realizar la misma operación si no se la utiliza por un largo periodo de tiempo.

CONEXIÓN DEL AIRE COMPRIMIDO

- La presión de aire del compresor por ningún motivo debe sobrepasar de 7 u 8 bares. Una presión superior puede provocar daños en la máquina.
- Verificar que en la tubería de aire comprimido no exista ningún tipo de daño o fuga.
- El diámetro de empalme para la conexión del compresor es de 8mm y se encuentra en la parte posterior de la máquina.
- Confirmar que la presión que suministre la unidad de mantenimiento y regulador para el generador de vacío sea de 7 y 6 bares respectivamente.

SÍMBOLOS DE ADVERTENCIA EN LA MÁQUINA



RIESGO ELÉCTRICO

de tiempo.

- Utilice la tensión de alimentación indicada.
- Enchufe bien el cable de alimentación en la toma de corriente.
- Enchufe la máquina siempre a una toma de corriente con conexión a tierra
- Retire siempre el enchufe de la toma de corriente para realizar trabajos de mantenimiento o si la máquina no va a funcionar durante un largo periodo



RIESGO DE APLASTAMIENTO

- No realizar ningún tipo de mantenimiento o reparación cuando la máquina este trabajando.
- No meter las manos cuando la máquina se encuentre funcionando.
- Bajo ningún motivo introducir las manos en el sistema de sellado.



SUPERFICIE CALIENTE

- No tocar la superficie del pisador puesto que se encuentra a una elevada temperatura.
- Para limpiar el pisador se debe esperar un lapso de tiempo considerable.
- Desconectar la máquina en caso de que se requiera realizar alguna actividad de reparación o mantenimiento.

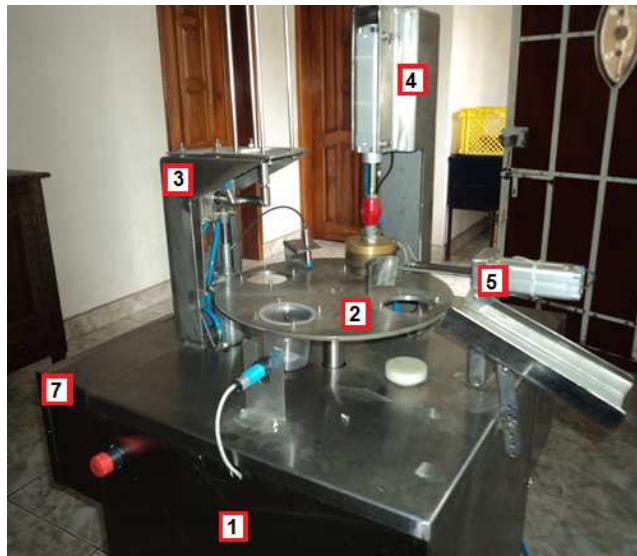
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA MÁQUINA

Parámetros	
Voltaje de entrada	220 VAC
Volumen de los envases	200 cc
Presión de alimentación	8 bar
Cantidad de láminas de aluminio	100 unidades
Temperatura de funcionamiento	20 °C
Dimensiones	0.72 x 0.84 x 1.46 m



Nota: Verificar que los parámetros de funcionamiento no excedan los valores indicados

COMPONENTES IMPORTANTES



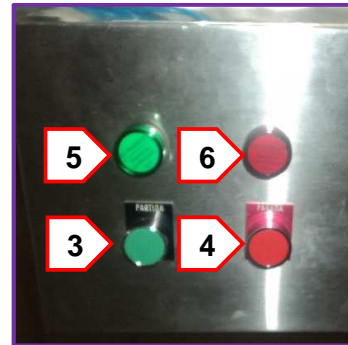
- | | |
|---|--|
| 1 | Estructura |
| 2 | Plato giratorio |
| 3 | Sistema de colocación de láminas de aluminio |
| 4 | Sistema de sellado |
| 5 | Sistema de expulsión |
| 6 | Tablero de control principal |
| 7 | Tablero de control secundario |

INDICADORES DE LOS TABLEROS DE CONTROL

Tablero principal



Tablero secundario



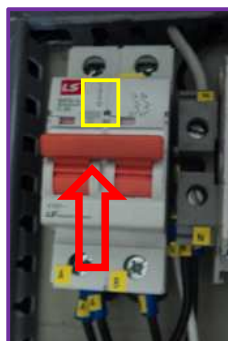
- | | |
|---|---|
| 1 | Pulsador ON/OFF (Encendido y apagado de la máquina) |
| 2 | Controladora de temperatura |
| 3 | Pulsador de inicio del proceso |
| 4 | Pulsador de parada del proceso |
| 5 | Indicador de inicio del proceso |
| 6 | Indicador de parada del proceso |

PUESTA EN MARCHA Y USO

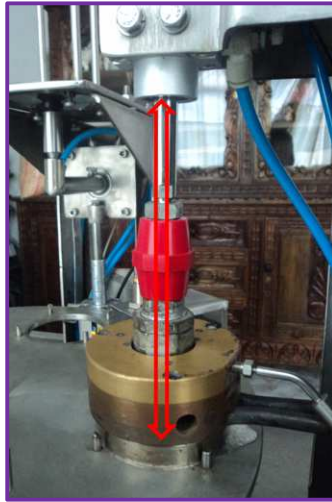
El pulsador ON/OFF sirve para apagar y encender la máquina. Este pulsador no elimina completamente la corriente de la máquina.

ARRANQUE DE LA MÁQUINA

1. Primeramente se debe enchufar la máquina, luego se sube el breaker de alimentación principal es decir de 0 a 1 el mismo que se encuentra ubicado en el tablero de control principal.

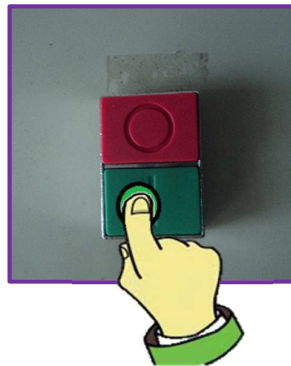


2. Antes de encender el equipo se coloca el plato giratorio en la posición inicial, el orificio del plato debe estar alineado con respecto al pisador de sellado.



Nota: Este paso es primordial para el buen funcionamiento de la máquina. Verificar que el orificio del plato y el pisador de sellado se encuentren perfectamente alineados en forma vertical.

3. Para energizar la máquina se presiona el pulsador de encendido del tablero principal.



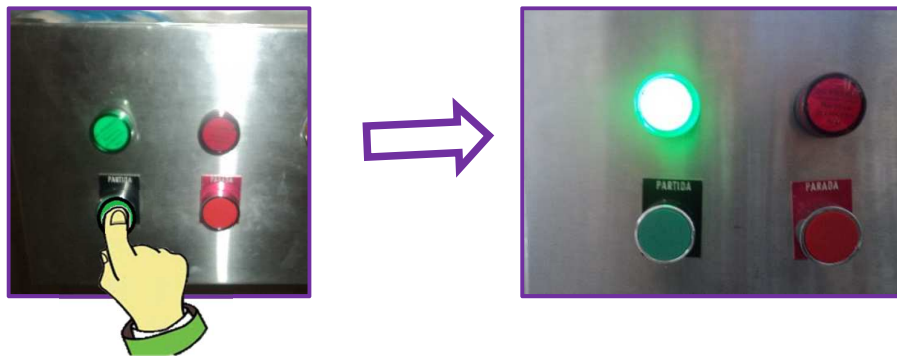
4. Verificar que el controlador de temperatura y driver se hayan energizado. Se mostrarán en las pantallas de cada componente unos códigos.



- Ver que el controlador de temperatura este censando la temperatura del pisador. Se debe esperar de 4 a 5 minutos hasta que el pisador alcance una temperatura de 150 °C.



- Para que la máquina funcione se debe presionar el pulsador de inicio del proceso que está ubicado en el tablero secundario. Verificar que el indicador de color verde este encendido.



- La máquina puede iniciar su proceso una vez que el indicador verde se encuentre encendido. Inspeccionar que el plato se encuentre enclavado es decir no pueda moverse.
- Conectar la red de aire al empalme principal de la máquina. Verificar que no existan fugas. Una vez conectada inspeccionar que los cilindros se coloquen en su posición inicial.
- El usuario debe colocar el envase lleno de yogur en la primera estación y observar que el sensor de presencia del envase se encuentre encendido caso contrario el proceso no se va iniciar.

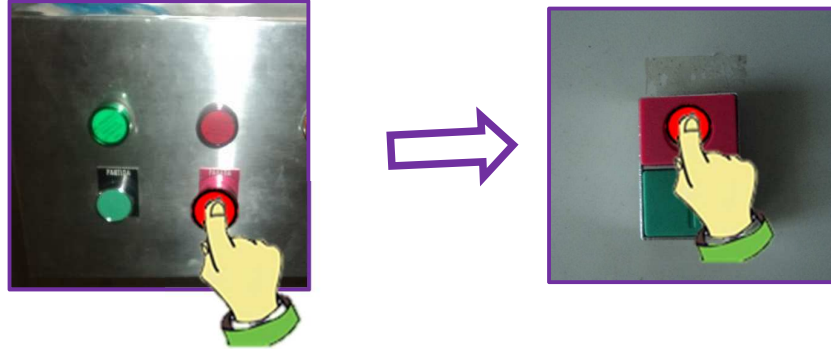


10. Esperar aproximadamente 10 segundos para que el plato se posicione en la segunda estación y colocar otro envase de yogur. La colocación de la lámina se realiza de forma automática.
11. En la tercera estación se realiza el sellado de la lámina de aluminio y el envase.
12. En la última estación el envase será expulsado del plato giratorio de forma automática.
13. Si no se inicia cualquiera de los sistemas pulsar el botón de parada del tablero de control secundario y desconectar la fuente de aire comprimido. Revisar la sección problemas y soluciones.



PARADA DE LA MÁQUINA

1. Primeramente se debe pulsar el pulsador de parada de proceso del tablero secundario, luego presionar el botón de apagado de la máquina del tablero principal.



2. La máquina cuenta con un botón de parada de emergencia en caso que surja algún problema de emergencia en el equipo. Para que la maquina funcione correctamente se debe desenclavar el pulsador y seguir los pasos de arranque.



MANTENIMIENTO

Los trabajos de mantenimiento se los debe realizar con regularidad para garantizar el mantenimiento de la máquina y mantenerla en óptimo estado. La máquina pierde automáticamente su garantía si el mantenimiento se lo ejecuta tarde o mal.



Nota: Siempre que realice trabajos de mantenimiento, desenchufe la máquina para que esté completamente sin corriente.

Periodo	Actividad
Diario	El plato giratorio y estructura de la máquina después de cada ciclo de trabajo se debe limpiar un paño húmedo.
	Limpiar el pisador de sellado después de cada ciclo de producción, esperar un tiempo aproximado de 30 minutos para realizar esta actividad.
Semanal	Revisar los filtros de aire de la unidad de mantenimiento debe estar libre de impurezas.
	Lubricar los rodamientos. En caso de existir algún daño inmediatamente reemplazarlos.
	Purga de la unidad de mantenimiento.
Mensual	Lubricar los rodamientos. En caso de existir algún daño inmediatamente reemplazarlos.
	Lubricar la rótula del sistema de sellado.
	Revisión del sistema sellado (control de temperatura, Termocupla).
	Revisar sistema neumático (válvulas, racores, etc).
Trimestral	Revisión de controles eléctricos y sensores
	Revisar alineamiento del servomotor.
	Revisar la estructura (sistema de colocación láminas de aluminio, sistema de sellado, sistema de expulsión, pernos de sujeción).



PROBLEMAS Y SOLUCIONES

Problema	Solución
No gira el plato	Revisar que el sensor de presencia del envase y la cruz que se encuentra en el interior de la estructura principal se encuentren encendidos. Caso contrario alinear bien la cruz o el sensor de presencia del envase.
Sistema de colocación de las láminas no funciona	Desconectar el suministro de aire comprimido. Girar el cilindro rotativo de izquierda a derecha y verificar que los indicadores de los sensores se enciendan. Realizar la misma actividad para el cilindro de desplazamiento lineal. Si no se encienden los sensores se debe colocar en la posición correcta.
Ventosa no absorbe	Revisar el generador de vacío y la posición de la ventosa debe ser la adecuada. Debe estar a 90 °C y a una distancia de 0 milímetro de las láminas de aluminio.
Sistema de sellado y sistema de expulsión no funcionan.	Desconectar el suministro de aire comprimido. Desplazar el cilindro de abajo hacia arriba y verificar que los indicadores de los sensores se enciendan. Si no se encienden los sensores se debe colocar en la posición correcta. Realizar la misma actividad en los cilindros del sistema de expulsión.

ANEXO U

Planos mecánicos de la máquina

ANEXO V

Planos eléctricos de la máquina

ANEXO W

Planos neumáticos de la máquina

