

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



**PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA MÁQUINA  
LLENADORA DE ENVASES PET**

PRESENTADO POR:

**ALEXANDER ERNESTO CORTEZ ESPINOZA**

**EDGAR JOSUÉ PARADA ZELAYA**

**ADIEL ISAÍ VALENCIA CHÁVEZ**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

**INGENIERO MECÁNICO**

CIUDAD UNIVERSITARIA, NOVIEMBRE 2021

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

RECTOR :

**MSC. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO**

SECRETARIA GENERAL :

**MSC. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

DECANO :

**DR. EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA**

SECRETARIO :

**ING. JULIO ALBERTO PORTILLO**

**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

DIRECTOR INTERINO :

**ING. FRANCISCO ALFREDO DE LEÓN TORRES**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

**INGENIERO MECÁNICO**

Título :

**PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA MÁQUINA  
LLENADORA DE ENVASES PET**

Presentado por :

**ALEXANDER ERNESTO CORTEZ ESPINOZA**

**EDGAR JOSUÉ PARADA ZELAYA**

**ADIEL ISAÍ VALENCIA CHÁVEZ**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

**ING. RIGOBERTO VELÁSQUEZ PAZ**

San Salvador, noviembre de 2021

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

**ING. RIGOBERTO VELÁSQUEZ PAZ**

## **AGRADECIMIENTOS**

Le doy gracias a Dios por darme la sabiduría y constancia para poder culminar mi carrera, a mi mamá Ruth Espinoza y mi hermano Mario Cortez por motivarme y guiarme desde el inicio, a mis compañeros de tesis que han sido parte clave de este trabajo de graduación y en muchos que cursamos durante la carrera, a Johanna León por apoyarme a lo largo de la carrera y a mi asesor de Tesis Rigoberto Velásquez por dedicar su tiempo a instruirnos en el presente trabajo.

Alexander Cortez

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer en primer lugar a Dios por acompañarme a lo largo de toda mi vida, por haberme dado la sabiduría, inteligencia y fortaleza que me ha permitido culminar mis estudios y estar a solo un paso de obtener mi título como ingeniero mecánico.

Agradecer a mis padres: Ovidio Parada y Rosina Emelda Zelaya, que siempre han estado conmigo en todo momento brindándome su apoyo incondicional, enseñándome los principios y valores que me han convertido en la persona que soy actualmente y quienes han hecho toda esta meta posible.

A mi hermano Mario Zelaya que me ha brindado su apoyo y comprensión no solo en el trayecto de mis estudios, sino que también a lo largo de mi vida, ayudándome siempre que lo necesito tanto en los buenos y malos momentos.

A mi abuela y a toda mi familia por siempre estar pendiente de mí, darme su apoyo y consejos a lo largo de toda mi vida.

También quiero agradecer a mi novia Verónica Martínez, quien me ha acompañado a lo largo de todos mis estudios en la universidad, apoyándome, motivándome y estando para mí incluso en los malos momentos.

Finalmente quiero agradecer a todos mis amigos, compañeros y docentes que me han brindado su gran ayuda.

Edgar Zelaya

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios por la oportunidad de vivir, la fortaleza y la bendición de haberme rodeado con las mejores personas que me han brindado su apoyo a lo largo de mi vida.

A mi familia, por su cariño y apoyo constante durante mis años de estudio, gracias por estar siempre a mi lado dándome palabras de aliento y sus valiosos consejos que siempre me ayudaron a seguir adelante y no rendirme, gracias por creer en mí y por brindarme todo ese soporte para que pudiera culminar mi formación profesional.

Agradezco a la Universidad de El Salvador, por la formación profesional y personal, principalmente a la escuela de Ingeniería Mecánica y todos sus docentes que compartieron su conocimiento conmigo a lo largo de este trayecto. En particular, al Ing. Rigoberto Velásquez Paz nuestro docente asesor de tesis quién estuvo apoyándonos con su experiencia y conocimientos.

A mis compañeros que conocí durante mi proceso de formación en la Universidad de El Salvador, que de una manera u otra me brindaron su apoyo y motivación.

## **PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA MÁQUINA LLENADORA DE ENVASES PET**

Estudiantes: Alexander Ernesto Cortez Espinoza, Edgar Josué Parada  
Zelaya, Adiel Isái Valencia Chávez.

Docente Asesor: Ing. Rigoberto Velásquez Paz

Escuela de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería y Arquitectura,  
Universidad de El Salvador

### **RESUMEN**

En el presente trabajo se ha realizado una propuesta de diseño de una máquina para la etapa de llenado de envases PET con la finalidad que la máquina presente un alto rendimiento, llenado de diferentes presentaciones de botellas, fabricada con materiales que puedan ser obtenidos en el mercado local, bajos costos de fabricación y mantenimiento, lo que la hará competitiva en la industria de envasado. Se estudiarán los tipos de máquinas llenadoras, las formas de llenado y los tipos de bandas transportadoras, con el objetivo de determinar la máquina que mejor se adapte a la finalidad esperada. Se presentan los cálculos para el diseño de los elementos más importantes de la máquina y otros elementos serán seleccionados de catálogo, se presentan el presupuesto detallado de todos los materiales y elementos para la fabricación de la máquina. Finalmente se presentarán los manuales de montaje, mantenimiento y operación, con el objetivo de brindar una guía para ensamblar la máquina de la manera correcta y obtener un correcto funcionamiento de la misma y seguridad del operador.

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	1
1. MARCO TEÓRICO.....	2
1.1 Antecedentes históricos.....	2
1.2 Llenadoras de envases .....	3
1.2.1 Tipos de llenadoras .....	4
1.2.2 Formas de llenado.....	7
1.3 Mecanismo de avance .....	8
1.3.1 Tipos de mecanismos de avance.....	9
1.3.2 Partes principales de una banda transportadora .....	12
1.4 Sistema hidráulico .....	13
1.4.1 Generalidades .....	14
1.4.2 Elementos del sistema hidráulico .....	14
1.5 Sistema neumático .....	19
1.5.1 Generalidades .....	20
1.5.2 Propiedades físicas del aire .....	22
1.5.3 Elementos del sistema neumático .....	23
1.6 Sistema de control .....	31
1.6.1 Generalidades .....	31
1.6.2 Elementos del sistema de control.....	35
2. PROPUESTA DE DISEÑO .....	38
2.1 Selección de tipo llenadora y forma de llenado .....	38
2.2 Boquilla de llenado .....	40
2.2.1 Selección del tipo de boquilla .....	40
2.2.2 Funcionamiento de boquilla .....	41
2.3 Mecanismo de avance .....	42
2.3.1 Selección de tipo de banda transportadora .....	43
2.3.2 Selección del tipo de motor .....	43
2.4 Parámetros de diseño .....	43
2.5 Diseño geométrico de los elementos principales.....	55
2.5.1 Peso de los envases.....	55
2.5.2 Cadena de banda transportadora .....	56
2.5.3 Piñones de la banda transportadora.....	58

2.5.4	Eje de banda transportadora .....	58
2.5.5	Acople para el motor y eje .....	60
2.5.6	Selección del motor paso a paso .....	61
2.5.6.1	Torque resistivo.....	61
2.5.6.2	Torque de aceleración .....	61
2.5.6.3	Torque del motor .....	62
2.5.7	Cojinetes de fricción.....	63
2.5.8	Fuerza requerida por el cilindro neumático .....	64
2.5.9	Análisis de guías y porta boquillas .....	68
2.5.9.1	Análisis de portaboquillas.....	68
2.5.9.2	Análisis de las guías .....	71
2.5.10	Análisis de elementos mecánicos principales.....	75
2.5.10.1	Análisis de fatiga para eje.....	75
2.5.10.2	Selección de chumaceras.....	82
2.5.10.3	Selección de pernos .....	84
2.5.10.4	Análisis y diseño de tornillo de potencia .....	85
2.5.11	Estructura soportante. ....	90
2.5.12	Selección de perno de nivelación .....	91
2.6	Diseño del sistema hidráulico.....	92
2.6.1	Caudal y carga dinámica .....	92
2.6.2	Diseño de tanque hidroneumático .....	101
2.6.3	Selección de la bomba para tanque hidroneumático .....	105
2.6.4	Presión en boquillas .....	106
2.6.5	Análisis interno de la boquilla.....	108
2.6.6	Diseño del resorte de las boquillas .....	111
2.7	Diseño del sistema neumático .....	115
2.7.1	Selección de los cilindros neumáticos.....	116
2.7.2	Selección de las válvulas neumáticas .....	118
2.7.3	Diseño y selección del compresor.....	120
2.7.4	Selección de filtro y regulador .....	123
2.7.5	Conexión neumática cilindros-valvulas .....	124
2.8	Diseño del sistema eléctrico.....	125
2.8.1	Diagrama eléctrico del motor paso a paso.....	126
2.8.2	Diagrama eléctrico de ciclo continuo de llenado.....	127
2.8.3	Diagrama eléctrico del sistema reset de llenado.....	128

2.8.4	Diagrama eléctrico de ciclo manual de llenado .....	129
2.8.5	Diagrama eléctrico de circuitos restantes .....	130
2.9	Sistema de control .....	132
2.9.1	Selección del controlador .....	132
2.9.2	Control de motor paso a paso con plc .....	133
2.9.3	Diagrama ladder de etapa llenado de botellas.....	137
2.9.4	Descripción del funcionamiento del sistema.....	144
2.9.5	Selección de sensor de posición .....	148
2.9.6	Selección de sensor de flujo .....	150
3.	ANÁLISIS DE COSTOS .....	152
3.1	Costos directos .....	153
3.2	Costos indirectos .....	159
3.3	Costo total de la máquina .....	160
	CONCLUSIONES.....	161
	BIBLIOGRAFÍA .....	162
	GLOSARIO .....	166
	ANEXO A. PLANOS.....	167
	ANEXO B. MANUALES.....	219
	ANEXO C. TABLAS Y GRÁFICOS .....	286
	ANEXO D. COTIZACIONES .....	291

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Llenadora manual.....	5
Figura 2. Llenadora rotativa.....	6
Figura 3. Llenadora Lineal.....	7
Figura 4. Mecanismo de avance por banda.....	10
Figura 5. Mecanismo de avance por rodillos.....	11
Figura 6. Mecanismo de avance por placas articuladas.....	12
Figura 7. Tipos de bombas de desplazamiento positivo. ....	18
Figura 8. Tipos de turbo bombas según su flujo.....	19
Figura 9. Válvula anti retorno. ....	25
Figura 10. Válvula selectora OR. ....	25
Figura 11. Válvula de simultaneidad AND. ....	26
Figura 12. Reguladoras de presión.....	26
Figura 13. Válvula de secuencia. ....	27
Figura 14. Válvula reguladora de caudal. ....	28
Figura 15. Temporizador. ....	29
Figura 16. Actuador neumático cilindro de simple efecto. ....	29
Figura 17. Actuador neumático cilindro de doble efecto.....	30
Figura 18. Tipos de compresores neumáticos . ....	31
Figura 19. Esquema de bloques de sistema de control.....	33
Figura 20. Esquema de clasificación de tecnologías. ....	34
Figura 21. Ciclo de línea de envasado. ....	38
Figura 22. Representación de llenado por medio de la boquilla. ....	41
Figura 23. Representación de recirculación de flujo por medio la boquilla.....	42
Figura 24. Distancia entre centros de la banda. ....	45
Figura 25. Distancia de recorrido de las botellas hasta la etapa de llenado. ....	45
Figura 26. Velocidad de banda transportadora de placas articuladas.....	47
Figura 27. Diagrama de cuerpo libre – análisis de deslizamiento.....	48
Figura 28. Diagrama de cuerpo libre – análisis de volteo. ....	49
Figura 29. Altura de la banda transportadora. ....	53
Figura 30. Eje de transmisión.....	59
Figura 31. Cojinete de fricción.....	63
Figura 32. Estructura de porta boquillas. ....	65
Figura 33. Diagrama de fuerzas de porta boquillas. ....	66
Figura 34. Estructura del portaboquillas y las guías de los cojinetes deslizantes.....	69
Figura 35. Mallado de la estructura. ....	69
Figura 36. Resultado de la simulación.....	70
Figura 37. Muestra del factor de seguridad. ....	71
Figura 38. Barra guía. ....	72
Figura 39. Diagrama de momentos del portaboquillas.....	73
Figura 40. Diagrama de barra guía doblemente empotrada.....	74
Figura 41. Diagrama de deflexión de barras guías.....	74
Figura 42. Representación de eje.....	76
Figura 43. Representación de fuerzas en el eje para coordenada Z. ....	77
Figura 44. Representación de fuerzas en el eje para coordenada Y. ....	78
Figura 45. Diagrama de momento y cortante del eje para coordenada Z. ....	79

Figura 46. Chumacera. ....	83
Figura 47. Diagrama de cuerpo libre para fuerza percibida por el tornillo. ....	85
Figura 48. Tornillo de potencia de rosca ACME. ....	87
Figura 49. Estructura soportante. ....	90
Figura 50. Dimensiones del perno de nivelación. ....	91
Figura 51. Pernos de nivelación. ....	92
Figura 52. Esquema de representación del sistema hidráulico de llenado. ....	95
Figura 53. Funcionamiento del tanque hidroneumático. ....	101
Figura 54. Descripción del tanque hidroneumático. ....	103
Figura 55. Diámetros de la boquilla. ....	107
Figura 56. Extremo a la salida de la boquilla. ....	107
Figura 57. Fijación de parámetros de estudio. ....	108
Figura 58. Mallado de la boquilla. ....	109
Figura 59. Resultados de la parte más crítica de la boquilla. ....	110
Figura 60. Resorte de boquilla. ....	114
Figura 61. Diagrama de pandeo en resortes de compresión. ....	114
Figura 62. Cilindro Neumático C. ....	117
Figura 63. Cilindro hidráulico A y B. ....	117
Figura 64. Válvula electroneumática. ....	119
Figura 65. Esquema interno de cilindro de doble efecto. ....	120
Figura 66. Esquema de conexión de cilindros – válvulas. ....	124
Figura 67. Diagrama eléctrico del motor paso a paso. ....	126
Figura 68. Diagrama eléctrico del control del ciclo continuo. ....	127
Figura 69. Diagrama eléctrico de control del reset. ....	128
Figura 70. Diagrama eléctrico de control del ciclo manual. ....	129
Figura 71. Diagrama eléctrico de las demás variables de cilindros y válvulas. ....	130
Figura 72. Controlador PLC. ....	132
Figura 73. Modos de conexión del motor paso a paso a un PLC. ....	134
Figura 74. Conexión eléctrica del motor al PLC por medio de un driver. ....	134
Figura 75. Driver para el control del motor. ....	135
Figura 76. Modos de configuración del driver. ....	136
Figura 77. Variables del diagrama ladder. ....	138
Figura 78. Sensor de posición. ....	150
Figura 79. Sensor de flujo. ....	151

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Componentes de accionamiento Neumáticos.....	24
Tabla 2. Componentes de accionamiento Neumáticos.....	24
Tabla 3. Datos para análisis de velocidad.....	47
Tabla 4. Resultados de análisis de aceleración y fuerza de fricción.....	48
Tabla 5. Resultados de análisis de velocidad.....	51
Tabla 6. Resultado de análisis de tiempo de entrada de botellas. ....	52
Tabla 7. Datos para el análisis del peso del envase. ....	55
Tabla 8. Resultados de análisis para el peso de los envases. ....	56
Tabla 9. Datos de la cadena de placas articuladas.....	57
Tabla 10. Resultado de análisis del peso de la cadena.....	57
Tabla 11. Datos del piñón.....	58
Tabla 12. Datos del eje de transmisión. ....	59
Tabla 13. Inercia de los ejes.....	60
Tabla 14. Datos de acople del motor y eje de la banda. ....	60
Tabla 15. Inercia del acople. ....	60
Tabla 16. Resultados del análisis para el torque resistivo.....	61
Tabla 17. Resultados del análisis para el torque de aceleración. ....	62
Tabla 18. Resultados de análisis para el motor. ....	62
Tabla 19. Especificaciones de cojinete de fricción.....	64
Tabla 20. Datos de diseño de cojinete deslizantes ....	64
Tabla 21. Datos para el análisis de porta boquillas.....	65
Tabla 22. Datos de las barras guías. ....	72
Tabla 23. Concentradores de esfuerzos. ....	80
Tabla 24. Factores para análisis de fatiga del eje. ....	82
Tabla 25. Datos para selección de chumacera. ....	83
Tabla 26. Características principales de la chumacera.....	83
Tabla 27. Especificaciones de los pernos ....	84
Tabla 28. Datos del tornillo de potencia ....	86
Tabla 29. Resultado del dimensionamiento del tornillo de potencia. ....	87
Tabla 30. Esfuerzos normales y ortogonales. ....	89
Tabla 31. Datos del perno de nivelación ....	91
Tabla 32. Variables para cálculo de caudal.....	93
Tabla 33. Tabla de relaciones de capacidad vs tiempo de llenado. ....	93
Tabla 34. Factores de fricción de Darcy. ....	97
Tabla 35. Longitud equivalente de accesorios del sistema de tuberías.....	97
Tabla 36. Longitud de tramos de tuberías.....	97
Tabla 37. Coeficientes de resistencia.....	98
Tabla 38. Datos para análisis de resorte de boquillas.....	111
Tabla 39. Resultados de parámetros del análisis de resorte de boquillas. ....	112
Tabla 40. Resultados de parámetros de análisis de resorte.....	112
Tabla 41. Resultados de análisis de fatiga del resorte de las boquillas.....	113
Tabla 42. Especificaciones de cilindro C.....	117
Tabla 43. Especificaciones de cilindro A y B. ....	118
Tabla 44. Especificaciones de válvulas neumáticas. ....	119
Tabla 45. Datos de cilindro C para análisis del compresor.....	120

Tabla 46. Descripción de las variables solenoides y finales de carrera.....	125
Tabla 47. Descripción de elementos del circuito eléctrico.....	131
Tabla 48. Especificaciones del controlador PLC.....	133
Tabla 49. Especificaciones del driver. ....	135
Tabla 50. Datos para el análisis de número de pulsos para el motor. ....	136
Tabla 51. Especificaciones de sensor de posición.....	149
Tabla 52. Especificaciones del sensor de flujo.....	150
Tabla 53. Costo de materiales de estructura.....	154
Tabla 54. Costo de materiales de cinta transportadora.....	155
Tabla 55. Costo de materiales del sistema hidráulico.....	155
Tabla 56. Costo de materiales del sistema neumático.....	156
Tabla 57. Costos de materiales del sistema de control.....	157
Tabla 58. Costo de materiales para boquillas.....	157
Tabla 59. Costo total de materiales. ....	158
Tabla 60. Costos por mano de obra. ....	159
Tabla 61. Costos indirectos.....	160
Tabla 62. Costos totales. ....	160

## LISTA DE SIMBOLOS Y SIGLAS

$a_b$	Aceleración de la banda
$A$	Constante de estimación de resistencia de alambres
$A_a$	Área de avance de cilindro
$A_r$	Área de retroceso de cilindro
$B_p$	Ancho de cara del piñón
$c_b$	Distancia entre centros de la banda
$D_{be}$	Diámetro exterior del tubo interno de la boquilla
$D_{bi}$	Diámetro interior del tubo externo de la boquilla
$D_{be1}$	Diámetro exterior del tubo externo de la boquilla
$D_c$	Diámetro del émbolo del cilindro neumático
$D_{E1}$	Diámetro mayor del eje
$D_{E2}$	Diámetro menor del eje
$D_T$	Diámetro externo del tornillo de potencia
$D_{Tm}$	Diámetro medio de tornillo de potencia
$D_{Tr}$	Diámetro de raíz de tornillo de potencia
$D_p$	Diámetro del piñón
$D_r$	Diámetro del alambre para el resorte
$D_{re}$	Diámetro exterior del resorte
$D_{ri}$	Diámetro interno del resorte
$D_{rm}$	Diámetro medio del resorte
$D_v$	Diámetro del vástago
$e$	Espesor de filete de tornillo de potencia
$e_f$	Factor de fugas para sistema de aire comprimido
$f$	Factor de fricción de Darcy
$f_0$	Frecuencia de entrada para motor paso a paso
$f_{max}$	Frecuencia máxima para motor paso a paso
$f_q$	Relación de caudales
$F$	Fuerza de producto de la presión en las boquillas
$F_a, F_m$	Fuerza alternante y media
$F_f$	Fuerza de fricción entre banda y las guías de la banda

$F_h$	Carga de tornillo de potencia
$F_i$	Fuerza de precarga del resorte de boquillas
$F_N$	Fuerza normal entre la botella y la banda
$F_o$	Fuerza de operación del resorte de boquillas
$F_P$	Fuerza que requiere el pistón para comprimir los resortes
$F_r$	Fuerza requerida para comprimir los resortes de boquillas
$F_s$	Fuerza de fricción entre la botella y la banda
$F_{Tp}$	Fuerza tangencial del piñón
$F_V$	Fuerza de volteo
$g$	Gravedad
$G$	Módulo de rigidez
$H_B$	Altura de carga dinámica
$H_{ps}$	Altura en pérdidas de sistema hidráulico
$i$	Índice del resorte
$I_A$	Inercia del acople entre el motor y eje de la banda
$I_E$	Inercia de los ejes
$I_m$	Inercia del motor
$I_p$	Inercia de los piñones
$I_w$	Inercia de la carga
$k$	Constante del resorte
$K$	Coefficiente para pérdidas en accesorios
$K_a$	Factor superficial y micro estructural
$K_b$	Factor de tamaño
$K_B$	Coefficiente de curvatura de resortes
$K_c$	Factor de carga: torsión
$K_d$	Factor de temperatura
$K_e$	Factor de efectos diversos
$K_f$	Factor de concentrador por fatiga
$K_t$	Factor de concentrador de esfuerzos teórico
$l_T$	Avance de tornillo de potencia
$l_v$	Carrera del vástago

$L$	Longitud de la barra guía
$L_c$	Longitud de cadena o banda
$L_e$	Longitud equivalente para análisis hidráulico
$L_{E1}$	Longitud de parte de mayor diámetro del eje
$L_{E2}$	Longitud de parte de menor diámetro del eje
$L_r$	Longitud libre del resorte
$L_s$	Longitud sólida del resorte
$L_T$	Longitud del tornillo de potencia
$m$	Exponente de estimación de resistencia de alambres
$m_a$	Masa del agua
$m_B$	Masa del envase vacío
$m_c$	Masa de cadena o banda de eslabones
$m_{c/m}$	Masa de cadena o banda por metro
$m_w$	Masa de toda la carga
$M_0$	Momento en las barras guías
$M_{R1}, M_{R2}$	Momentos resultantes de análisis para el eje
$n$	Revoluciones por minuto del motor y eje de la banda
$N_a$	Número de espiras activas de resorte
$N_b$	Número de boquillas
$N_c$	Número de cilindros
$N_{ciclos}$	Número de ciclos
$N_e$	Número de eslabones de la banda
$N_h$	Número de hilos de tornillo de potencia
$N_t$	Número de espiras totales del resorte
$p_c$	Paso de la cadena o banda
$p_r$	Paso del resorte
$p_T$	Paso del tornillo de potencia
$P_1, P_2$	Presión en el punto 1 y punto 2 para análisis hidráulico
$P_{atm}$	Presión atmosférica
$P_{bom}$	Potencia de la bomba
$P_E$	Potencia de eje

$P_m$	Potencia demandada para el motor
$P_{min}, P_{max}$	Presión mínima y máxima del tanque hidroneumático
$P_{total}$	Pulsos totales para el motor paso a paso
$q$	Índice de sencibilidad a la entalla
$Q_b$	Caudal de bombeo con tanque hidroneumático
$Q_c$	Consumo de aire de cilindro de doble efecto
$Q_{CT}$	Consumo total de aire comprimido estimando pérdidas
$Q_s$	Caudal del sistema hidráulico
$Q_u$	Caudal unitario por envase
$R_{AY}, R_{AZ}$	Reacciones en el plano Y y Z de chumacera A
$R_{BY}, R_{BZ}$	Reacciones en el plano Y y Z de chumacera B
$S_f$	Factor de seguridad
$S_n$	Límite de resistencia a la fatiga real
$S'_n$	Límite de resistencia a la fatiga teórico
$S_{ut}$	Esfuerzo último
$t_a$	Tiempo de aceleración del motor
$t_b$	Tiempo que la bomba pasará encendida
$t_c$	Tiempo de vaciado del tanque del compresor
$t_d$	Tiempo de desaceleración del motor
$t_e$	Tiempo de los envases para entrar a la etapa de llenado
$t_i$	Tiempo de intervalo de operación de la bomba
$t_l$	Tiempo de llenado
$t_n$	Tiempo que la bomba estará apagada
$t_s$	Tiempo de bajada y subida del cilindro con las boquillas
$t_t$	Tiempo total en la etapa de llenado de los envases
$T_a$	Torque de aceleración del motor
$T_m$	Torque requerido para el motor
$T_R$	Torque de resistencia para mover la carga
$T_T$	Torque de giro del tornillo de potencia
$v_0$	Velocidad inicial de la banda
$v_1, v_2$	Velocidad en el punto 1 y punto 2 para análisis hidráulico

$v_b$	Velocidad de la banda
$V_{air}$	Volumen de aire para cilindro neumático
$V_B$	Volumen del envase
$V_C$	Volumen de cilindro neumático
$V_{ef}$	Volumen efectivo del tanque hidroneumático
$V_{rem}$	Volumen remanente del tanque hidroneumático
$V_{total}$	Volumen total del tanque hidroneumático
$V_{ut}$	Volumen útil
$\omega$	Velocidad angular
$W_a$	Peso de la masa de agua
$W_b$	Peso de boquillas
$W_B$	Peso del envase vacío
$W_{BL}$	Peso del envase lleno de agua
$W_{BT}$	Peso total de envases soportadas por la banda
$W_c$	Peso de la cadena o banda de eslabones
$W_n$	Peso de la tuerca del tornillo de potencia
$W_p$	Peso de porta boquillas
$W_s$	Peso de cojinetes de fricción
$W_T$	Peso del tornillo de potencia
$x$	Distancia de deflexión máxima
$x_0$	Distancia inicial de la banda
$x_a$	Distancia recorrida en la aceleración del motor
$y_{AC}$	Deflexión crítica en la barra guía
$z_1, z_2$	Altura en el punto 1 y punto 2 para análisis hidráulico
$\varepsilon$	Rugosidad
$\alpha_F$	Ángulo de flanco para tornillo de potencia
$\mu_s$	Coefficiente de fricción estático entre botella y banda
$\mu_{s1}$	Coefficiente de fricción entre banda y guía de la banda
$\mu_T$	Coefficiente de fricción tornillo lubricado - tuerca de bronce
$\rho_a$	Densidad del agua
$\rho_E$	Densidad del eje

$\rho_p$	Densidad del piñón
$\eta$	Eficiencia
$\theta_1$	Pasos por revolución para análisis del motor paso a paso
$\sigma'$	Esfuerzo de Von Mises
$\sigma_a, \sigma_m$	Esfuerzos normales alterno y medio
$\sigma_{ea}, \sigma_{em}$	Esfuerzo equivalente alterno y medio
$\sigma_{R1}, \sigma_{R2}$	Esfuerzos en puntos críticos de análisis para el eje
$\sigma_T, \sigma_b$	Esfuerzo axial y flexionante del tornillo de potencia
$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$	Esfuerzos normales ortogonales
$\tau$	Esfuerzo cortante para el eje
$\tau_a, \tau_m$	Esfuerzo cortante alterno y medio
$\tau_T$	Esfuerzo cortante en el cuerpo del tornillo de potencia
$\tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}$	Esfuerzos cortantes
$\lambda$	Ángulo de avance
$\gamma$	Peso específico del agua
$\delta_o$	Deformación de operación
$\delta_i$	Deformación de precarga

## **INTRODUCCIÓN**

En El Salvador se encuentran pocas empresas dedicadas al diseño y la fabricación de líneas de envasado semiautomática y automática, pero se tiene un amplio sector de la industria dedicado al rubro de envasado de diversos líquidos tales como agua, bebidas carbonatadas, cervezas, entre otros. A lo largo de la historia muchos de esas empresas han innovado en sus procesos de producción con la implementación de líneas de envasado semiautomáticas y automáticas, pero en la actualidad también existe un amplio sector de pequeñas y medianas empresas que debido a los elevados costos de implementación de procesos semiautomáticos o automáticos aún continúan con procesos manuales de llenado.

Actualmente la automatización de los procesos industriales se ha convertido en una necesidad para el mejoramiento de los procesos productivos, muchas de las empresas tratan de adaptarse a esa nueva tecnología industrial para ser más competentes en el mercado.

El presente trabajo se enfoca en el diseño de una máquina llenadora de envases PET, capaz de aumentar la producción manteniendo unos costos considerablemente bajos, fabricada con materiales disponibles en el mercado local en su gran mayoría, pero que a su vez logre satisfacer los estándares o alcances de las pequeñas y medianas empresas dedicadas al rubro de envasado.

## **1. MARCO TEÓRICO**

En la industria alimentaria existen varios procesos para el envasado de productos líquidos, la etapa de llenado es uno de los principales procesos en las líneas de envasado, siendo los envases de tereftalato de polietileno (PET) los más utilizados por las industrias como recipientes de almacenamiento.

En este capítulo se describe la máquina llenadora de envases PET dedicada solo a la etapa de llenado de los envases, así como los sistemas que la componen.

### **1.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS**

En la historia han ocurrido grandes cambios, uno de ellos fue la revolución industrial, considerado como el mayor cambio tecnológico, socioeconómico y cultural a finales del siglo XVIII y principios del XIX, trayendo consigo un importante crecimiento en la fabricación de maquinaria, como consecuencia muchos de los talleres donde se realizaban los procesos de los productos de forma manual fueron sustituidos por maquinaria.

Los primeros diseños de máquinas llenadoras de envases se remontan a Bardi en 1950 y Kronos AG en 1960.

La historia de Rino Bardi inicia cuando junto a 3 técnicos, empezaron a diseñar y fabricar las primeras máquinas para llenar y lavar envases de leche, desde entonces la empresa ha extendido su aplicación a agua, cerveza, bebidas y zumos, haciéndose líder en el mundo del lavado y llenado de envases.

La historia de Krones AG está ligada al ambiente de un nuevo inicio de Alemania después de la segunda guerra mundial, en el año 1951 Hermann Kronseder empezó a fabricar etiquetadoras semiautomáticas, debido al éxito a partir de los años de 1960 el programa de máquinas fue ampliado a las máquinas llenadoras de envases y en el año 1980 la empresa se convirtió en la sociedad anónima llamada KRONES AG, para ofrecer una gama completa al sector de bebidas. [1]

En la actualidad las llenadoras de envases varían en tipos y sistemas utilizados, con el fin de aumentar el número de producción en un menor tiempo, asegurando la higiene en el proceso.

## **1.2 LLENADORAS DE ENVASES**

La finalidad de las máquinas llenadoras de envases es introducir el producto final o líquido en envases de diferentes presentaciones para su almacenamiento, la máquina debe suministrar en el proceso la cantidad correcta de fluido según las dimensiones del envase.

La etapa de llenado de envases es una de las principales operaciones de envasado de productos líquidos en la industria de bebidas. Para el diseño de una línea de llenado siempre se tiene en mente la idea que sea innovadora, ocupe un mínimo espacio, la producción por minuto sea aumentada y que se adapte al desarrollo tecnológico del país si se busca obtener todo el material y componentes a utilizar en la fabricación de la máquina de manera local. [2]

### 1.2.1 TIPOS DE LLENADORAS

Los procesos de llenado de envases pueden realizarse de manera manual, semiautomática y completamente automática, todo depende de los requerimientos que se deseen y la designación económica disponible.

- Los métodos manuales están directamente supervisados por un operario. La máquina proporciona la fuerza y la energía, pero el operario proporciona el control.
- En los métodos semiautomáticos, un programa en la máquina se ocupa de una parte del ciclo y el operario se ocupa de algunas partes del proceso.
- En los métodos automáticos, las máquinas operan largos períodos de tiempo sin intervención del operario. Se requiere su vigilancia para observar fallas del proceso que no detecta el sistema de control.

Las llenadoras de envases se dividen en rangos muy generales, casos especiales, categorías según su estructura, según su forma de trabajo, según la producción que se desea, según el producto a llenar, entre otros. [3]

Para la etapa de llenado el rango más determinante para poder seleccionar el tipo de llenadora es según la producción que se desea obtener, entre las cuales están:

- Llenadoras de baja capacidad: su producción por hora es reducida al poseer un control manual. Este tipo de máquina es muy utilizada por pequeñas empresas que cuentan con pequeños lotes de producción y que buscan mejorar sus procesos con equipos sencillos, económicos y pequeños, por lo que no tienen que realizar adecuaciones en sus instalaciones. Ver figura 1. [3]

Ventajas de las llenadoras de baja capacidad:

- ✓ Facilidad de limpieza.
- ✓ Son económicas debido a que su desarrollo tecnológico no es muy avanzado.
- ✓ Son confiables por ser una máquina sencilla y su operación resulta bastante fácil.

La desventaja de este tipo de llenadora es que la producción dependerá de la destreza del operador al momento de efectuar el llenado. [3]



Figura 1. Llenadora manual. [13]

- Llenadoras rotativas: este tipo de llenadora está diseñada para llenar grandes lotes, con una velocidad de producción muy alta. Es un sistema muy rígido al momento de cambiar el tipo de presentación de envase, debido a la gran cantidad de piezas que deben ser sustituidas dependiendo del tamaño del envase, el principal elemento a ser sustituido es la mesa rotativa que debe ser reemplazada de acuerdo a la necesidad, en este tipo de maquinaria no existen tiempos muertos de espera mientras se van los envases llenos y entran los vacíos. Este tipo de llenadora posee elevados costos. Ver figura 2. [3]



Figura 2. Llenadora rotativa. [14]

- Llenadoras lineales: este tipo de llenadora está orientada a lograr velocidades de producción moderadas, presenta facilidad de montaje y cambio para llenar productos de diferentes presentaciones de envases, presentando la facilidad para regular la altura de las boquillas de acuerdo a las diferentes presentaciones de envases. Este tipo de llenadora tienen un menor costo en comparación a las llenadoras rotativas. Ver figura 3. [3]



Figura 3. Llenadora Lineal. [15]

## 1.2.2 FORMAS DE LLENADO

Las llenadoras de envases pueden diseñarse y fabricarse usando diferentes formas de llenado, dependiendo de los requerimientos que se deseen obtener para el proceso de llenado. [4]

Las formas de llenado son métodos utilizados para forzar el paso del fluido a través de una tubería y llevarlo a las condiciones deseadas a la salida en las boquillas, algunas de las principales formas de llenado son:

Llenado por gravedad: es uno de los métodos más tradicionales, ya que no requiere de la ayuda de ningún elemento externo para que se produzca el llenado, el líquido desciende desde un depósito elevado para efectuar el llenado de los envases por simple gravedad.

Llenado por bomba: este método utiliza una ayuda externa que produce el flujo del líquido desde un depósito hasta la salida en las boquillas de llenado, este método se emplea principalmente para productos densos.

Llenado por pistones: este método al igual que el anterior de llenado por bomba, trabaja con elementos externos para forzar el paso del fluido hasta la salida en las boquillas. El movimiento del fluido se realiza mediante la carga y la descarga en proporciones iguales.

Llenado por vacío: este método permite tener un buen control del nivel de llenado, el líquido es aspirado hacia el envase por una diferencia de presiones que se crea entre el recipiente que contiene el fluido y el interior del envase, con este tipo de llenado no hay contacto del fluido con algún tipo de bomba.

[4]

### **1.3 MECANISMO DE AVANCE**

El mecanismo de avance electromecánico es el encargado de mover los envases por el movimiento de una banda transportadora, accionada por un motor el cual se acopla a la banda por medio de un sistema de transmisión.

El mecanismo de avance permite el transporte de los envases desde un punto hasta su siguiente posición, realizando la detención en el lugar y en el momento adecuado para efectuar el llenado.

La velocidad de este mecanismo debe ser moderada, para evitar un desplazamiento inapropiado de los envases. El motor que mueve el sistema de avance debe contar con el torque necesario para superar las cargas resistivas e inerciales que se le presentan. [5]

### **1.3.1 TIPOS DE MECANISMOS DE AVANCE**

Los principales tipos de mecanismos de avance utilizados en la industria alimentaria son:

- Transportador de banda o cinta

La cinta transportadora es arrastrada por la fricción entre la banda y unos tambores que son accionados por un motor. La fricción es la resultante de la aplicación de una tensión a la banda transportadora.

Las bandas transportadoras de cinta se utilizan principalmente para transportar materiales granulados, agrícolas e industriales tales como cereales, latas, envases de plástico o vidrio, en base a los parámetros de funcionamiento de toda la línea. Ver figura 4. [5]



Figura 4. Mecanismo de avance por banda. [16]

➤ Transportador de rodillos

El transportador por rodillos utiliza los rodillos para formar una superficie regular que facilita el manejo y traslado de una gran diversidad de objetos, tales como cajas, paquetes, envases grandes, y para aplicaciones con acumulación de producto. Ver figura 5. [5]

Algunos tipos de transportadores de rodillos son los siguientes:

Transportador de rodillos por gravedad: se apoya en la fuerza de gravedad del objeto para poder deslizarse entre los rodillos.

Transportador de rodillos por banda: los rodillos son accionados por medio de una banda que les proporciona el movimiento, la cual es accionada por un motor.

Transportador de rodillos por cadena: los rodillos son accionados por medio de una cadena que transmite el movimiento a cada uno de los rodillos, este tipo es ideal para el manejo de objetos de servicio pesado. [5]



Figura 5. Mecanismo de avance por rodillos. [17]

➤ Transportador por placas articuladas

Las bandas transportadoras de placas articuladas son extremadamente fuertes y resistentes al desgaste, además poseen una superficie uniforme que permite el traslado de diversos productos y son utilizadas por muchas industrias principalmente para el traslado de envases de vidrio y plástico. Las placas pueden ser de plástico o de acero, generalmente son utilizadas en una línea de llenado de media o alta capacidad y su principal función es el traslado del producto de una estación a otra, este tipo de banda permite la utilización en curvas.

Por su alta eficiencia este tipo de transporte es utilizado principalmente en la industria alimentaria. Ver figura 6. [5]

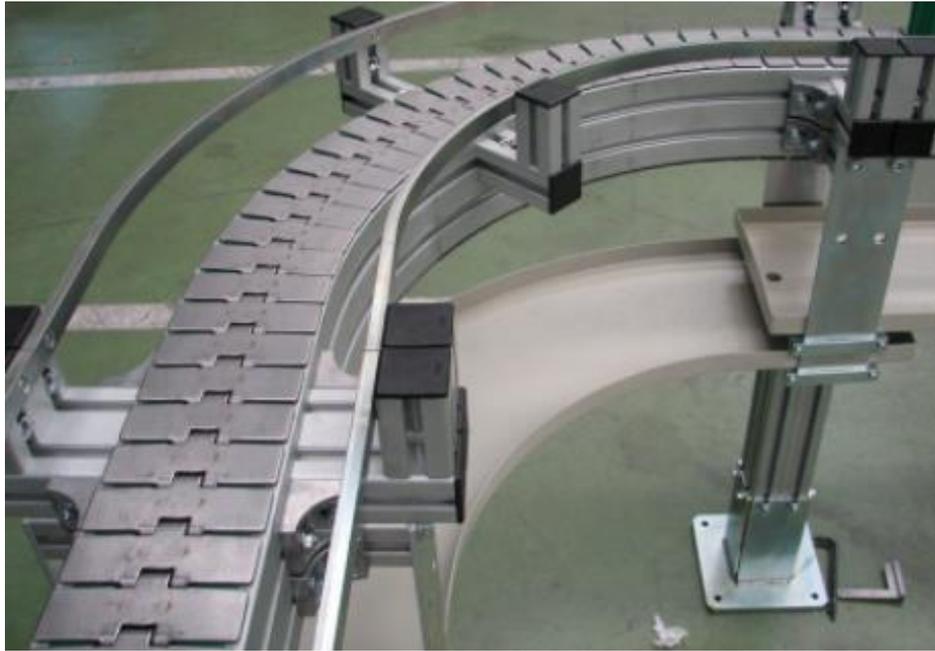


Figura 6. Mecanismo de avance por placas articuladas. [16]

### 1.3.2 PARTES PRINCIPALES DE UNA BANDA TRANSPORTADORA

Las bandas transportadoras poseen los siguientes elementos para funcionar de manera óptima y eficiente.

- Estructura: la compone el chasis donde se monta la banda en conjunto con los demás elementos para el funcionamiento de la banda transportadora.
- Estructura soportante: la componen los perfiles tubulares o angulares que a su vez se fijan en soportes estructurales emperradas en una base sólida, y tienen la función de soportar todo el peso de la banda.
- Perfiles de desgaste: elementos aplicables a algunos tipos de bandas sobre los cuales se apoya la banda de manera directa.

- Banda, placas o rodillos: es la que soporta y sobre la cual se transporta la carga, la selección depende del material a transportar, velocidad, esfuerzo o tensión a la que sea sometida y capacidad de carga a transportar.
- Separadores: estos tienen la función de proveer estabilidad a la estructura de la banda, para que opere de manera firme.
- Elemento motriz: el elemento motriz de mayor uso en los transportadores es el de tipo electromecánico, el cual se encarga de proporcionarle el giro a la banda variando sus características según la exigencia a la cual sea sometido.
- Elementos de transmisión: se encargan de transmitir la fuerza del elemento motriz, dentro de estos elementos se encuentran las poleas, los engranes, el reductor, ejes, entre otros, que son los elementos que componen el sistema de transmisión. [1]

#### **1.4 SISTEMA HIDRÁULICO**

El sistema hidráulico para la máquina llenadora se enfoca en el transporte de un fluido, desde un recipiente de almacenamiento hasta la salida de las boquillas para efectuar el llenado de los envases según las condiciones que se requieran, el fluido puede ser impulsado a través de tuberías al proporcionarle energía por medio de un agente externo o por la energía potencial que adquiere el fluido por medio de una diferencia de altura.

### 1.4.1 GENERALIDADES

El sistema hidráulico de las llenadoras permite trabajar con una amplia variedad de fluidos, siendo el más utilizado el agua, las máquinas llenadoras son diseñadas en base a un fluido o fluidos con viscosidades similares, para que todos los elementos cumplan con los requerimientos esperados.

La viscosidad en los fluidos determina el grado de facilidad para poder moverse a través de una tubería, a medida que aumenta la viscosidad se requiere más energía para establecer el régimen de flujo requerido. [6]

La geometría de las boquillas facilita la deposición del líquido dentro del envase y disponen de un mecanismo de apertura y cierre, permitiendo el paso del líquido únicamente durante el llenado.

### 1.4.2 ELEMENTOS DEL SISTEMA HIDRÁULICO

El sistema hidráulico de las máquinas llenadoras de envases cuenta con los siguientes elementos:

- Tuberías: son las encargadas de transportar el fluido desde un recipiente de almacenamiento hasta la salida de las boquillas.
- Válvulas: son las encargadas de permitir o restringir el paso del fluido y son colocadas en determinados tramos de tubería.
- Accesorios: son un conjunto de piezas que se unen a las tuberías o equipos del proceso para asegurar la correcta unión y distribución del fluido.

- Tanque: es el elemento que almacena el fluido de trabajo que posteriormente es entregado para efectuar el llenado de los envases. [6]

Tipos de tanques:

- ✓ Tanque de almacenamiento elevado, se encarga de almacenar un determinado volumen del fluido para posteriormente entregarlo al sistema. Estos tanques de almacenamiento vencen las pérdidas de carga por medio de la energía potencial que el líquido tiene en función de su altura.
- ✓ Tanques hidroneumáticos, cumplen la misma función de almacenar un determinado volumen del fluido y permiten proporcionarle presión al fluido para compensar las pérdidas de carga en el recorrido y proporcionan los parámetros deseados a la salida en las boquillas.
- Medidores: se encargan de realizar las lecturas correspondientes como la presión y el caudal, que permiten mantener un mejor control en el sistema. [6]
- Boquillas: son los dispositivos que están en contacto directo con los envases, permiten el paso o corte del fluido de trabajo y permiten obtener determinados parámetros de llenado.

Los tipos de boquillas más utilizados para el llenado de productos líquidos son:

✓ Boquillas de pistón:

Este tipo consiste en uno o más recipientes herméticos donde se ubica el líquido, y mediante uno o más pistones el producto es desalojado del recipiente y llevado hacia una tubería que se ubica en el interior de los envases. Este dosificador es ideal para productos líquidos densos o viscosos como shampoo, yogur, grasa, tomate triturado, jaleas, dulce de membrillo, etc. También se puede utilizar para líquidos como agua, jugos, vinos, etc. [5]

✓ Boquillas controladas por electroválvulas:

Estas consisten en electroválvulas colocadas en las boquillas que permiten el paso o corte del fluido y son de control automático debido a que la apertura o cierre es controlada por un solenoide. Estas permiten el llenado de productos líquidos como agua, leche, jugos, vinos, etc.

Presentan ciertas ventajas en cuando a la variación del caudal o presión, pero no son muy utilizadas en aplicaciones de alta precisión. Las electroválvulas de alta precisión poseen elevados costos. [5]

✓ Boquillas mecánicas de rebalse:

Se utilizan para el llenado a presión por sus reducidos orificios a la salida del fluido, estas boquillas permiten la recirculación del líquido en exceso evitando los desperdicios en el proceso de llenado.

Se denominan de tipo mecánico porque requieren de una fuerza externa que permita la deformación de un resorte, el cual controla la apertura en este tipo de boquillas. [5]

- Accesorios tales como codos, sellos, llaves de cierre, uniones, etc.: su función es restringir el paso del fluido, direccionar el flujo o incluso evitar fugas.
- Bomba: es uno de los elementos principales en los sistemas hidráulicos, se encarga de proporcionarle al fluido la energía necesaria para su movimiento a través del sistema de tuberías.

Clasificación de los tipos de bombas:

- ✓ Bombas de desplazamiento positivo o volumétricas:

Este tipo de bombas cede energía de presión al fluido mediante volúmenes confinados. Se produce un llenado y vaciado periódico de una serie de cámaras, produciéndose el trasiego de cantidades discretas de fluido desde la aspiración hasta la impulsión. Pueden a su vez subdividirse en alternativas y rotativas. Ver figura 7.

Alternativas: bombas de pistones y émbolos.

Rotativas: bombas de engranajes, tornillo, lóbulos y paletas. [7]

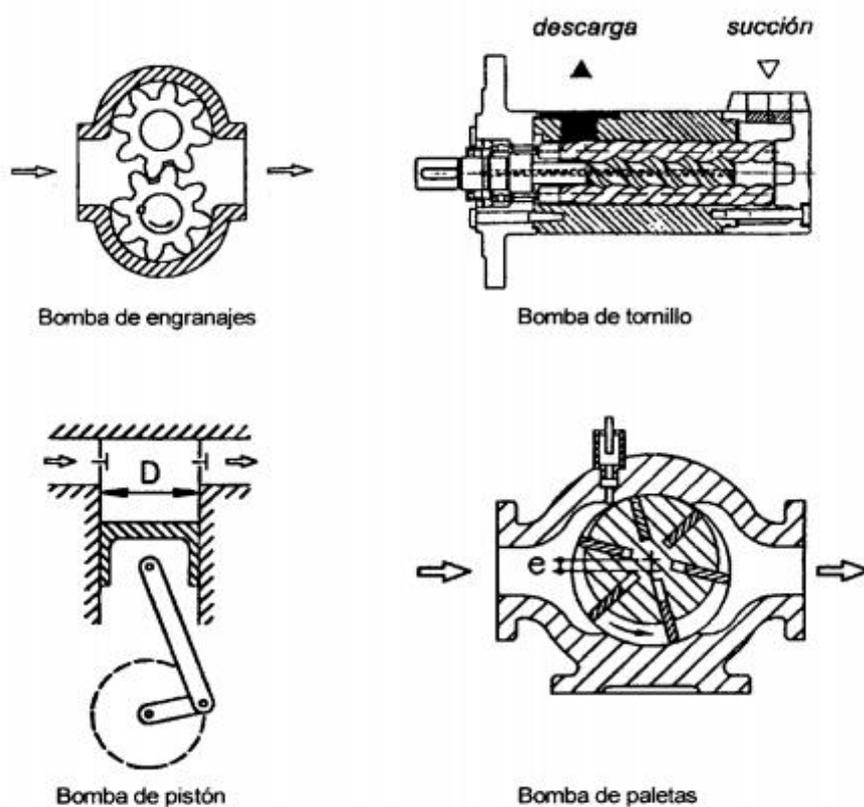


Figura 7. Tipos de bombas de desplazamiento positivo. [18]

✓ Turbo bomba:

Este tipo de bomba cede energía al fluido mediante la variación del momento cinético producido en el impulsor o rodete. Ver figura 8. Según la dirección del flujo de salida del rodete, pueden clasificarse en:

Centrifugas: el flujo a la salida del rodete tiene dirección perpendicular al eje (flujo radial).

Axiales: la dirección del flujo a la salida es paralela al eje (flujo axial).

Helico-centrifugas: el flujo es intermedio entre radial y axial (flujo mixto). [7]

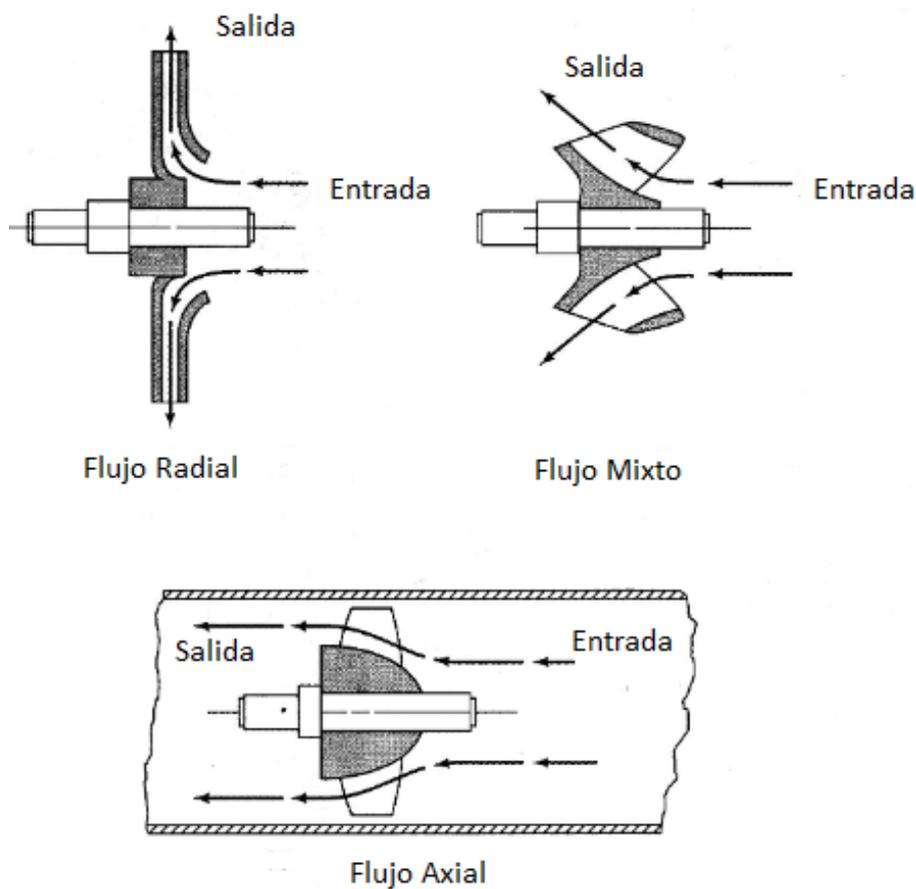


Figura 8. Tipos de turbo bombas según su flujo. [19]

## 1.5 SISTEMA NEUMÁTICO

El sistema neumático se enfoca en el accionamiento de actuadores neumáticos, de los cuales se tienen cilindros neumáticos, válvulas neumáticas entre otras, que permiten realizar ciertas operaciones al ser accionados por aire, siendo el aire el fluido principal que compone un sistema neumático.

### 1.5.1 GENERALIDADES

La tecnología neumática hace parte de la mecánica, en esa medida contribuye a optimizar los procesos productivos y permite automatizar el trabajo.

La neumática tiene muchas aplicaciones en los diferentes sectores de la industria tales como alimentaria, automotriz, textil, aeronáutica, robótica, minera, siderúrgica, entre otras. [8]

El sistema de las llenadoras de envases es parte de la industria alimentaria, en la cual se automatizan los procesos por medio del uso de actuadores que son cilindros neumáticos, que se encargan de realizar determinadas operaciones en el proceso de la máquina y también se utilizan válvulas neumáticas para direccionar el flujo de aire hacia los actuadores neumáticos.

#### Ventajas de la neumática:

- 1) Incremento de la producción con una inversión relativamente pequeña.
- 2) Reducción de los costos operacionales. La rapidez en movimientos neumáticos y la liberación del operario al efectuar ejecuciones repetitivas, potencian el aumento del ritmo de trabajo, aumentan la productividad y generan un menor costo operacional.
- 3) Robustez de los componentes neumáticos. La robustez de los controles neumáticos los convierte resistentes a vibraciones y golpes, permitiendo que las acciones mecánicas del propio proceso sirvan de señal para las diversas secuencias de operación. Además, son de fácil mantenimiento.
- 4) Facilidad de implantación. Pequeñas modificaciones en las máquinas convencionales, junto a la disponibilidad de aire comprimido son los requisitos necesarios para la implementación de los controles neumáticos.

5) Resistencia a ambientes hostiles. Polvo, atmósfera corrosiva, oscilaciones de temperatura, humedad, sumersión en líquidos, raramente perjudican los componentes neumáticos.

6) Simplicidad de manipulación. Los controles neumáticos no necesitan de operadores súper especializados para su manipulación.

7) Seguridad. Como los equipos neumáticos implican siempre presiones moderadas, estos llegan a ser seguros contra posibles accidentes. [8]

#### Limitaciones de la neumática:

1) El aire comprimido necesita de una buena preparación para realizar el trabajo propuesto: se debe retirar las impurezas, eliminar la humedad para evitar la corrosión en los equipos y eliminar atascamientos u obstrucciones.

2) Los componentes neumáticos son normalmente proyectados y utilizados a una presión máxima de 12 bar. Por lo tanto, las fuerzas envueltas son pequeñas comparadas a otros sistemas. De esta manera, no es conveniente el uso de controles neumáticos en operaciones que requieran grandes fuerzas.

3) Las velocidades bajas son difíciles de ser obtenidas con el aire comprimido, debido a sus propiedades físicas.

4) El aire es un fluido altamente compresible, por lo tanto, es imposible conseguir paradas precisas. El aire comprimido es un contaminante (contaminación sonora) del medio cuando se efectúa la liberación del aire hacia la atmósfera. Esta contaminación puede ser evitada con el uso de silenciadores en los orificios de escape. [8]

## 1.5.2 PROPIEDADES FÍSICAS DEL AIRE

El aire presenta ciertas propiedades físicas que nos permite utilizarlo en aplicaciones para las diferentes industrias, lo que permite la automatización en los procesos, para obtener mejores resultados en las operaciones de las máquinas.

### ✓ Presión atmosférica:

La atmósfera ejerce sobre nosotros una fuerza equivalente a su peso, pero no la sentimos porque ella actúa en todos los sentidos y direcciones con la misma intensidad, además la presión atmosférica varía proporcionalmente a una altitud considerada.

### ✓ Compresibilidad:

El aire, así como todos los gases, tiene la propiedad de ocupar todo el volumen de cualquier recipiente, adquiriendo su forma. Lo que permite encerrarlo en un recipiente con un volumen determinado y posteriormente provocarle una reducción de su volumen usando una de sus propiedades que es la compresibilidad. El aire permite reducir su volumen cuando está sujeto a la acción de una fuerza exterior.

### ✓ Elasticidad:

Propiedad que permite al aire volver a su volumen inicial una vez desaparecido el efecto de la fuerza externa responsable de la reducción del volumen.

### ✓ Difusibilidad:

Propiedad del aire que le permite mezclarse homogéneamente con cualquier medio gaseoso que no esté saturado.

- ✓ Expansibilidad:

Propiedad del aire que le permite ocupar totalmente el volumen de cualquier recipiente, adquiriendo su forma. [9]

### 1.5.3 ELEMENTOS DEL SISTEMA NEUMÁTICO

El sistema neumático de las máquinas llenadoras de envases cuenta con los siguientes elementos:

- Depósito: acumula el aire a alta presión que produce el compresor y lo enfría, evita las sobre presiones y alivia el ciclo de trabajo del compresor.
- Válvulas neumáticas: son dispositivos que dirigen y regulan el paso del aire comprimido hacia los diferentes actuadores neumáticos.

Según la función de las válvulas se subdividen en los grupos siguientes:

- ✓ Válvulas de vías o distribuidoras:

Estas válvulas son los componentes que determinan el camino que tiene que seguir el aire en cada momento, controlando el sentido del desplazamiento de los actuadores. Trabajan en dos o más posiciones fijas determinadas.

La representación de los esquemas que se utiliza corresponde a la norma ISO 1219. [11]

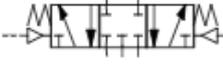
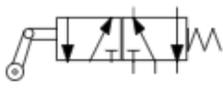
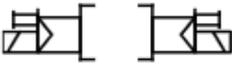
Entre algunas de estas válvulas más utilizada se encuentran: válvula 3/2, válvula 5/2, válvulas 5/3, etc.

Estas válvulas distribuidoras se pueden operar con los siguientes accionamientos, ver tabla 1 y 2:

Tabla 1. Componentes de accionamiento Neumáticos. [11]

<b>Manual</b>		
Accionamiento en general		
Pulsador		
Palanca con enclavamiento		
Pedal		

Tabla 2. Componentes de accionamiento Neumáticos. [11]

<b>Mecánico</b>		
Retorno por muelle		
Centrado por muelle		
Accionado por rodillo		
Rodillo escamoteable		
<b>Neumático</b>		
Accionamiento neumático directo		
Accionamiento neumático indirecto (servo-pilotado)		
<b>Eléctrico</b>		
Accionamiento con simple bobina		
Accionamiento con doble bobina		
<b>Combinado</b>		
Funcionamiento con doble bobina, servo-pilotaje y pilotaje manual auxiliar		

✓ De bloqueo:

Son válvulas destinadas a impedir, condicionar o dificultar el paso del flujo en uno u otro sentido.

Entre ellas se encuentran:

Válvula anti retorno: Las válvulas anti retorno impiden el paso absoluto en un sentido, mientras que en el sentido contrario el aire circula con una pérdida de presión mínima. Ver figura 9. [11]

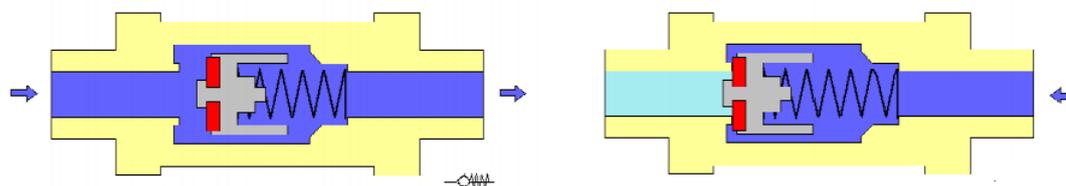


Figura 9. Válvula anti retorno. [11]

Válvula selectora de circuito (válvula "O"; función lógica "OR"): Se trata de una válvula que permite el paso del aire cuando éste procede de uno u otro conducto. Esta válvula tiene dos entradas X, Y, y una salida A. Ver figura 10.

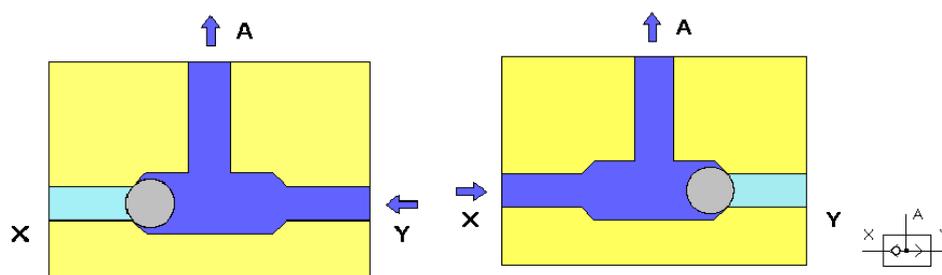


Figura 10. Válvula selectora OR. [11]

Válvula de simultaneidad (válvula "Y"; función lógica "AND"): Esta válvula solo se abre cuando recibe señales simultáneas de dos lugares diferentes. Esta válvula tiene dos entradas X, Y, y una salida A. El aire comprimido puede pasar únicamente cuando hay presión en ambas entradas. Ver figura 11. [11]

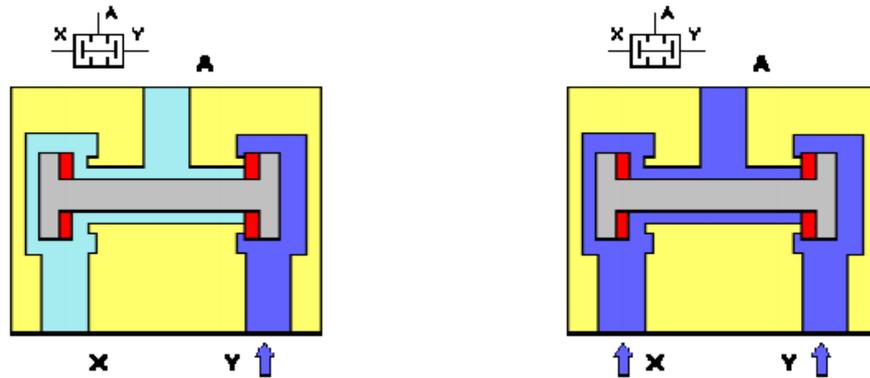


Figura 11. Válvula de simultaneidad AND. [11]

✓ Válvulas de presión:

Estas válvulas influyen principalmente sobre la presión, o están condicionadas por el valor que tome aquella. Entre ellas destacan las siguientes:

Válvulas reguladoras de presión: Tiene la misión de mantener constante la presión en su salida, independientemente de la presión que exista a la entrada. Tienen como finalidad fundamental obtener una presión invariable en los elementos de trabajo, independientemente de las fluctuaciones de la presión que normalmente se producen en la red de distribución. La presión de entrada mínima debe ser siempre superior a la exigida a la salida. Ver figura 12. [11]

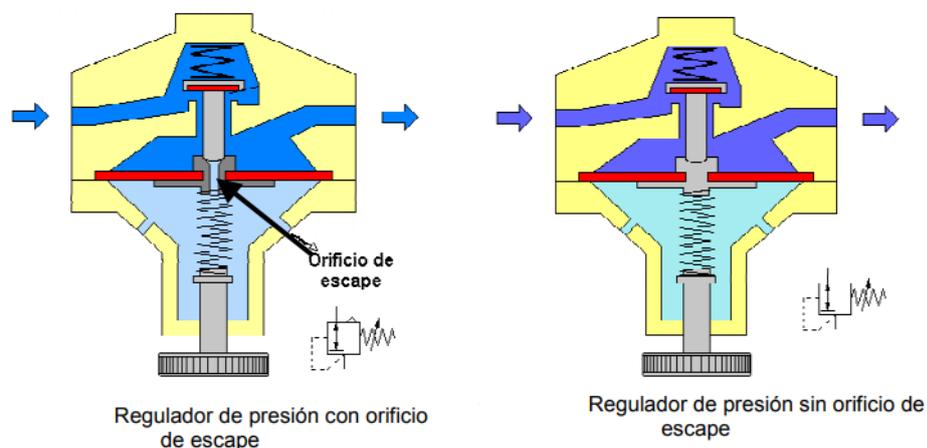


Figura 12. Reguladoras de presión. [11]

Válvula limitadora de presión: Estas válvulas se abren y dejan pasar el aire en el momento en que se alcanza una presión de consigna. Se disponen en paralelo y se utilizan, sobre todo, como válvulas de seguridad, no admiten que la presión en el sistema sobrepase un valor máximo admisible. El aire al alcanzar en la entrada de la válvula una determinada presión, se abre a la salida y el aire sale a la atmósfera. La válvula permanece abierta hasta que el muelle una vez alcanzada la presión ajustada, cierra nuevamente el paso. Algunas válvulas disponen de un enclavamiento que requiere una actuación exterior para proceder de nuevo a su cierre.

Válvulas de secuencia: Su funcionamiento es muy similar al de la válvula limitadora de presión, con la diferencia que, en vez de salir el aire a la atmósfera al alcanzarse la presión de consigna, deja pasar el aire para realizar un determinado cometido. Ver figura 13. [11]

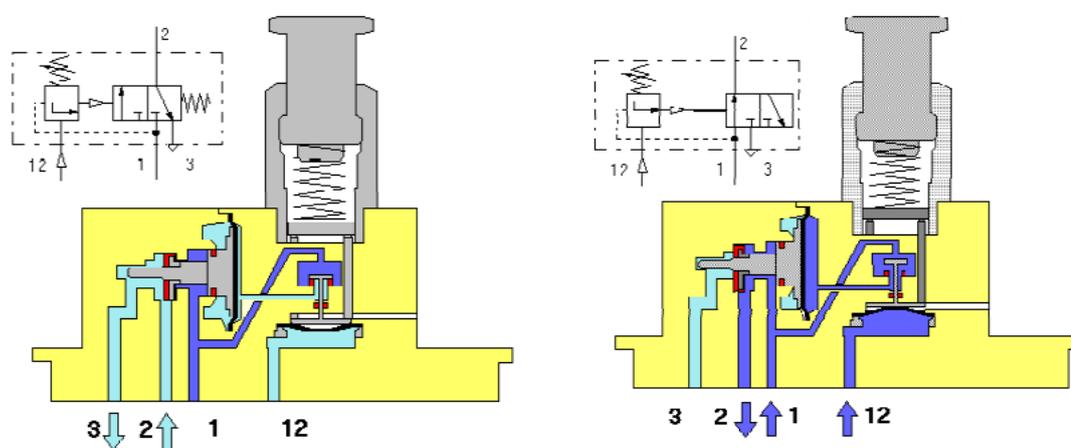


Figura 13. Válvula de secuencia. [11]

✓ Válvulas de caudal y de cierre:

Estas válvulas tienen como finalidad regular el caudal que las atraviesan y con ello controlar la velocidad de los vástagos de los cilindros. Se consigue estrangulando la sección de paso, de manera similar a una simple estrangulación descrita en otras válvulas. Ver figura 14. [11]

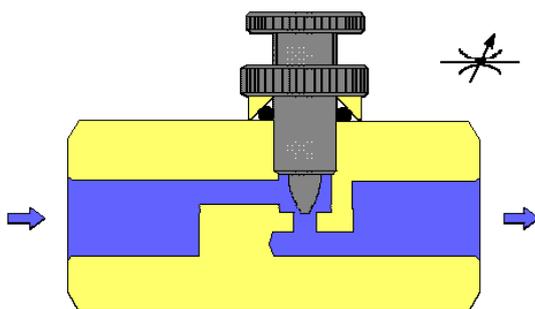


Figura 14. Válvula reguladora de caudal. [11]

- Unidad FRL (Filtro, regulador y lubricador):
  - ✓ Filtro, elimina las partículas de polvo en el aire comprimido y al mismo tiempo suele ser coalescente para condensar agua en fase líquida.
  - ✓ Regulador de presión, permite reducir la presión de entrada del aire a los valores requeridos por los equipos que lo usan.
  - ✓ Lubricador, elemento imprescindible si el equipo que utiliza el aire comprimido necesita ser lubricado. Además, si el aire procede de un compresor lubricado puede llevar una cantidad de aceite en suspensión. Este aceite no se debe utilizar para lubricar los equipos que usan el aire comprimido, debido a que cada equipo tiene su propia especificación de aceite. [11]
- Temporizador: este tiene como finalidad la apertura o cierre de una válvula después de transcurrido un lapso de tiempo a partir de su activación. Existen temporizadores con la válvula normalmente cerrada y normalmente abierta. Ver figura 15. [11]

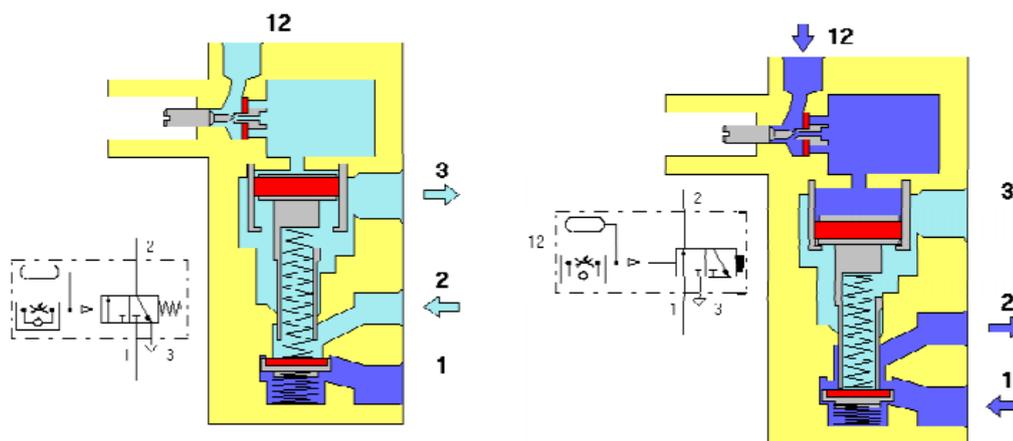


Figura 15. Temporizador. [11]

- Actuador neumático: convierte la energía almacenada en el aire comprimido en movimiento mecánico. Las herramientas alternativas incluyen actuadores rotativos y lineales, herramientas de aire, etc. [5]

En la máquina para llenado de botella generalmente se cuenta con un solo actuador siendo este el cilindro neumático que pueden ser de dos tipos:

- ✓ Cilindro de simple efecto: tiene una única conexión de aire. Cuando el aire entra en la cámara del cilindro empuja y desplaza el émbolo. El retorno es inmediato debido al resorte que posee en su interior. Ver figura 16. [5]



Figura 16. Actuador neumático cilindro de simple efecto. [5]

- ✓ Cilindro de doble efecto: tiene dos conexiones de aire que hace que el émbolo pueda ser empujado por el aire en dos sentidos. Si durante el avance del cilindro dejamos de introducir aire, el cilindro se detiene. Para provocar su retorno debemos inyectar aire en su sentido contrario. Ver figura 17. [5]

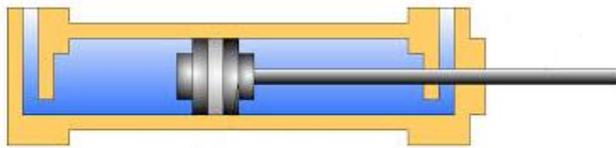


Figura 17. Actuador neumático cilindro de doble efecto. [5]

- Compresor: Es el encargado de comprimir el aire y llevarlo a una presión más alta, para posteriormente ser llevado al sistema neumático (a veces también se puede utilizar para generar un vacío). [12]

El compresor toma aire del exterior a presión atmosférica, y lo comprime aumentando su presión.

Tipos de compresores, ver figura 18:

- Compresores de desplazamiento positivo:

Su principio de funcionamiento se basa en la disminución del volumen del aire, en la cámara de compresión donde se encuentra confinado, produciéndose el incremento de la presión interna hasta alcanzar al valor de diseño previsto, momento en el cual el aire es liberado al sistema. [12]

- Compresores dinámicos:

El principio de funcionamiento se basa en la aceleración molecular. El aire es aspirado por el rodete a través de su campana de entrada y acelerado a gran velocidad. Después es descargado directamente a unos difusores situados junto al rodete, donde toda la energía cinética del aire se transforma en presión estática. A partir de este punto es liberado del sistema. [12]

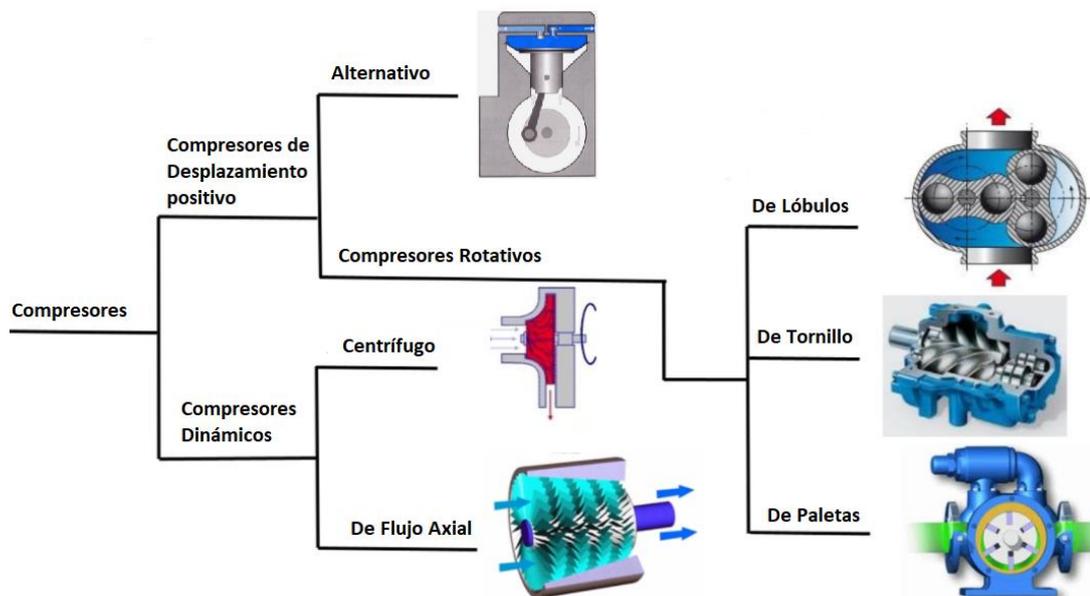


Figura 18. Tipos de compresores neumáticos [12].

## 1.6 SISTEMA DE CONTROL

El sistema de control se compone por un conjunto de componentes que pueden influir en su propio funcionamiento o en el de otros componentes que no formen parte del sistema de control, con el fin de lograr un funcionamiento predeterminado, de modo que se reduzcan las posibilidades de fallos y se puedan obtener los resultados esperados. [20]

### 1.6.1 GENERALIDADES

El sistema de control permite operar una amplia variedad de equipos o dispositivos con una gran precisión de manera que no se requiera la intervención de un operador.

La finalidad de un sistema de control es conseguir mediante la manipulación de las variables de entrada proporcionadas por algunos componentes del sistema de control, el dominio sobre las variables de salida, de modo que estas alcancen unos valores predeterminados, los sistemas de control pueden ser de dos tipos:

- Sistemas de lazo abierto: en estos la salida no afecta la acción de control, porque no se mide la salida ni se retroalimenta para compararla con la entrada.
- Sistemas de lazo cerrado: en este se alimenta al controlador con la señal de error de actuación, que es la diferencia entre la señal de entrada y la salida de retroalimentación a fin de reducir el error y llevar la salida del sistema a un valor conveniente. [20]

Características del sistema de control:

- ✓ Garantizar la estabilidad del sistema, se robustece frente a perturbaciones y errores en los modelos.
- ✓ Ser tan eficiente como sea posible según un criterio preestablecido. Normalmente este criterio consiste en que la acción de control sobre las variables de entrada sea realizable, evitando comportamientos bruscos e irreales.
- ✓ Puede ser fácilmente implementarlo y cómodo de operar en tiempo real con ayuda de un ordenador. [20]

El sistema de lazo cerrado es el que se utiliza para el control de las operaciones en los sistemas de control.

Se presenta el esquema de bloques de un sistema de control genérico y simple, en lazo cerrado (retroalimentado), con una sola entrada y una sola salida, para un sistema con señales continuas. Ver figura 19.

Las flechas de un lazo cerrado, que conectan un bloque con otro, representan la dirección del flujo de la energía de control o información, que a menudo no es la fuente principal de energía para el sistema. [20]

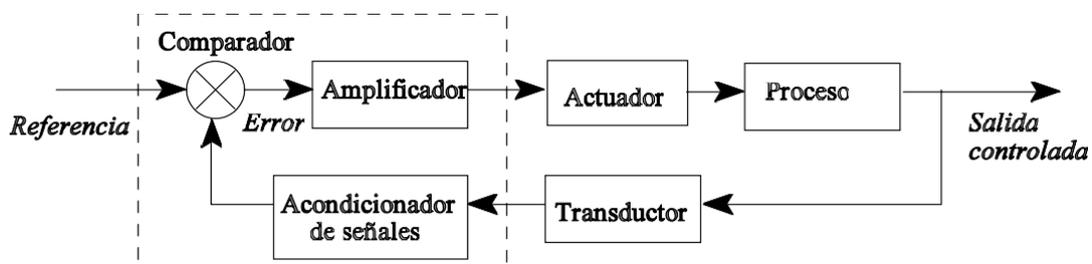


Figura 19. Esquema de bloques de sistema de control. [20]

Los elementos del sistema en lazo cerrado:

-Proceso: es el conjunto de operaciones que van a suceder y que van a tener un fin determinado.

El procesamiento se realiza sobre una planta o una máquina, que son el conjunto de componentes y piezas que van a tener un determinado objetivo.

-Actuador: es el componente encargado de modificar un estado del proceso o máquina en función de la señal recibida del amplificador. Este elemento modifica la variable de entrada del proceso controlado.

-Amplificador: Elemento que aumenta la amplitud o intensidad de un fenómeno. Tiene por finalidad amplificar la señal de error con el objetivo de que alcance un nivel suficiente para excitar el actuador.

-Comparador: Elemento que compara la señal controlada con la señal de referencia para proporcionar la señal de error. El resultado de la comparación representa la desviación de la salida con respecto al valor previsto. Se le conoce también como detector de error.

-Generador del valor de referencia o consigna: Componente capaz de generar una señal análoga a la señal de salida que se quiere gobernar, esta señal de referencia es la encargada de imponer el valor deseado en la salida.

-Transductor: Dispositivo que transforma un tipo de energía en otro más apto para su utilización. Si la energía transformada es en forma eléctrica se llama sensor. Por ser el instrumento encargado de detectar la señal de salida para utilizarla de nuevo en el proceso de retroalimentación se le llama en los sistemas de control: captador.

-Acondicionador de señales: Bloque que adapta la señal transformada por el transductor a los niveles adecuados del comparador.

-Controlador: Elemento de los sistemas digitales que incluye las funciones del comparador, el amplificador y el acondicionador de señales.

La clasificación de las diferentes tecnologías implementadas para los sistemas de control, se dividen en categorías, pero cuando a automatización de procesos nos referimos en la práctica suele hacerse una combinación de todas ellas para hacer más eficientes los procesos. Ver figura 20. [20]

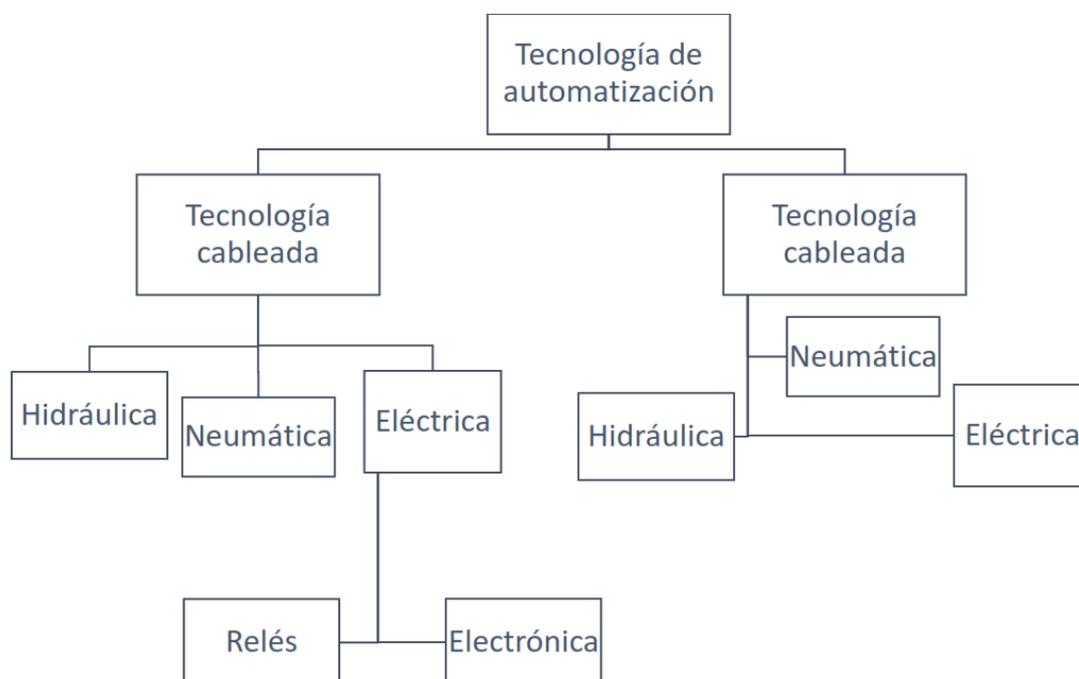


Figura 20. Esquema de clasificación de tecnologías. [20]

## 1.6.2 ELEMENTOS DEL SISTEMA DE CONTROL

Se presentan los principales elementos del sistema de control:

➤ Controlador lógico programable

Existen varios tipos de controladores como microprocesadores, autómatas programables entre otros, pero en la automatización de procesos para la industria alimentaria el más utilizado es el controlador lógico programable, diseñado específicamente para el control de tareas industriales, que permite sustituir los esquemas cableados realizados con relés.

También es conocido como PLC o autómata programable, es todo el equipo electrónico que permite controlar en tiempo real los diferentes procesos industriales como procesos secuenciales y procesos continuos. [20]

Ventajas del controlador:

- ✓ Lenguaje de programación de fácil aprendizaje para los diseñadores de los esquemas con relés.
- ✓ Fiabilidad ya que funciona en las condiciones más adversas o en los ambientes más hostiles.
- ✓ La actuación de las salidas está en función de las señales de entrada, que estén activadas en cada momento, según el programa almacenado.
- ✓ A diferencia de la lógica cableada, los elementos tradicionales como relés auxiliares, relés de enclavamiento, temporizadores y contadores son funciones internas del PLC. [20]

La estructura básica del PLC está constituida por:

- ✓ Fuente de alimentación, cuya función es suministrar la energía al CPU y a las demás tarjetas según la configuración del PLC.
- ✓ 5 V para alimentar a todas las tarjetas.
- ✓ + 24 V para los canales de lazo de corriente 20 mA.
- ✓ Unidad de procesamiento central (CPU), es la parte más compleja e imprescindible del controlador programable, en otros términos, podría considerarse como el cerebro del controlador.
- ✓ Módulos de entrada digitales o analógicos, a los que se conectan pulsadores, finales de carrera, fotocélulas, detectores, transmisores, entre otros.
- ✓ Módulos de salida digitales o analógicos, a los que se conectan bobinas de contactores, electroválvulas, lámparas, elementos finales de control como válvulas, entre otros.
- ✓ Los Módulos de memorias son dispositivos destinados a guardar información de manera provisional o permanente. [20]

Se cuenta con dos tipos de memorias: volátiles (RAM) y no volátiles (EPROM y EEPROM).

La tarea del usuario está encaminada a la conexión de los sensores y actuadores al PLC y la implementación de la estrategia de control, para el manejo se requiere conocimientos básicos de informática. [20]

➤ Sensor de posición

Los sensores de posición se utilizan para la detección de objetos, ya sean objetos estáticos o en movimiento.

Existen varios tipos de sensores según la aplicación que se requiera:

- ✓ Los sensores inductivos, son capaces de reconocer objetos metálicos.

- ✓ Los sensores capacitivos, se utilizan para el reconocimiento de objetos, independiente de las propiedades de estos. Para determinar la posición no es evaluado el campo magnético, si no la variación de la capacidad en un campo eléctrico.
- ✓ Sensores ultrasónicos, se utilizan en aplicaciones en las cuales se necesitan grandes áreas de detección.
- ✓ Sensores de reflexión directa o barreras fotoeléctricas, se utilizan para la detección de objetos en movimiento.
- ✓ Sensores laser, se utilizan para una detección muy precisa de los objetos más pequeños.

El rango de detección depende del modelo de sensor seleccionado según la aplicación para la cual se requiera. [4]

➤ Sensor de flujo

En muchas de las aplicaciones donde se trata con fluidos líquidos o gaseosos, se requieren sensores de caudal, cuya finalidad es medir el flujo o la detección de este, para hacer más eficientes los procesos y seguros.

Existen varios principios de medición relacionados con estos sensores:

Caudal volumétrico por medición electromagnética, caudal másico por coriolis o dispersión térmica, caudal volumétrico por vortex o ultrasonidos. [4]

## 2. PROPUESTA DE DISEÑO

El presente capítulo se enfoca en el diseño de la máquina llenadora de envases PET, la cual corresponde solo a la etapa de llenado dentro de una línea de envasado en la industria de bebidas. Ver figura 21.

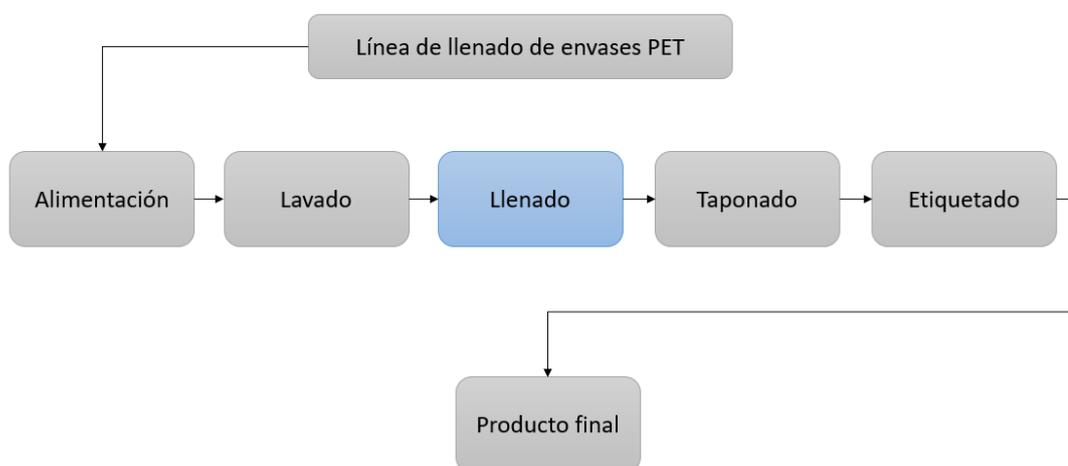


Figura 21. Ciclo de línea de envasado.

### 2.1 SELECCIÓN DE TIPO LLENADORA Y FORMA DE LLENADO

Tipo de llenadora seleccionada: Llenadora lineal.

Este tipo de llenadora presenta muchas ventajas en comparación con los otros tipos de llenadoras de envases, y siendo capaz de adaptarse a muchos tipos de requerimientos.

La selección del tipo de llenadora lineal se realiza de acuerdo a las siguientes ventajas:

- Logra velocidades de producción altas-moderadas.
- Presenta facilidad de montaje.

- Facilidad para llenar productos en diferentes presentaciones o capacidades.
- Facilidad para regular la altura de las boquillas de acuerdo a la presentación que se desea llenar.
- Tienen un menor costo en comparación a las llenadoras rotativas.

#### Forma de llenado seleccionado:

Se considera principalmente la forma de llenado por bomba para los envases, debido a que esta permite obtener diversos requerimientos de llenado.

También se analiza en este capítulo implementar el método de llenado por gravedad y un sistema de tanque hidroneumático, para que este ayude a reducir los tiempos de operación de la bomba y proporcione los mismos parámetros de llenado.

- Llenado por bomba:

Este método de llenado utiliza una ayuda externa para mover el líquido a través de las tuberías, permitiendo obtener ciertas condiciones como la presión y tiempo de llenado a la salida del líquido en las boquillas, efectuando el llenado de los envases mucho más rápido reflejando una mayor eficiencia, ya que la bomba vencerá todas las pérdidas ocasionadas en los tramos de tuberías y accesorios.

- Llenado con sistema de tanque hidroneumático:

Este sistema de bomba-tanque hidroneumático permite almacenar cierto volumen del fluido, para posteriormente ser entregado a la salida en las boquillas según las condiciones esperadas en cuanto a presión y tiempo de llenado, además permite que la bomba no esté siempre encendida o encendiéndose continuamente, lo cual se ve reflejado en el aumento de la

vida útil de la misma, debido a la reducción del sobrecalentamiento en los devanados del motor de la bomba.

- Llenado por gravedad:

Se analiza este método de llenado debido a que resulta más económico en cuanto a costo del tanque, lo que permite utilizar un tanque de almacenamiento de mucha más capacidad en comparación con un tanque hidroneumático, el tanque de almacenamiento elevado suministra el líquido por el simple efecto de la gravedad, por lo que se debe determinar la altura para obtener las condiciones de llenado deseadas.

## **2.2 BOQUILLA DE LLENADO**

La boquilla es uno de los elementos principales en las máquinas llenadoras debido a que esta permite el llenado de los envases PET, mediante el control de la apertura y cierre de la misma.

### **2.2.1 SELECCIÓN DEL TIPO DE BOQUILLA**

Tipo de boquilla seleccionada: boquilla mecánica de rebalse.

Este tipo de boquilla evita los desperdicios recirculando el líquido para ser reutilizado, lo que se refleja en precisión a la hora de efectuar el llenado, además esta boquilla permite obtener los requerimientos de presión y tiempos de llenado de los envases que serán definidos en este capítulo.

Este tipo de boquillas tiene un resorte al que se le establece una fuerza de precarga que evita que la presión del líquido pueda abrirla.

### 2.2.2 FUNCIONAMIENTO DE BOQUILLA

Un cilindro neumático controla el movimiento de las boquillas ejerciéndoles una fuerza cuando este se retrae y las boquillas hacen contacto con los envases, lo que permite deformar los resortes de las mismas.

La deformación en los resortes permite la apertura de las boquillas dando paso al inicio del llenado de los envases.

La figura 22 representa el caso cuando la boquilla se encuentra abierta, y se muestra el camino que sigue el líquido para realizar el proceso de llenado de los envases.

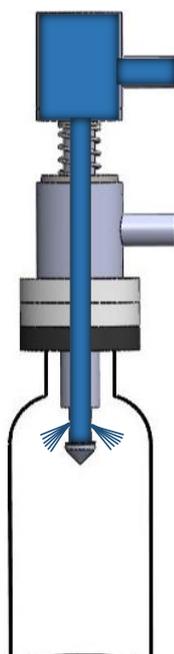


Figura 22. Representación de llenado por medio de la boquilla.

Este tipo de boquillas no permite que las botellas rebalsen, cuando las botellas alcanzan su nivel de llenado, el líquido recircula por la misma boquilla hacia un tanque de rebalse, y la misma recirculación da paso a la detención del llenado o cierre de la boquilla. El cierre se inicia cuando los sensores de flujo mandan una señal que detectaron líquido en la tubería de recirculación.

En la figura 23 se muestra el camino que sigue el líquido cuando recircula por la misma boquilla para su posterior cierre.

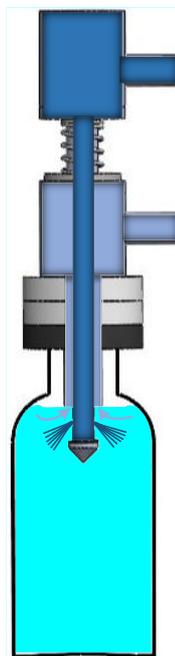


Figura 23. Representación de recirculación de flujo por medio la boquilla.

### 2.3 MECANISMO DE AVANCE

El mecanismo de avance utilizado es el electromecánico, un motor se acopla a un eje de la banda transportadora, lo que permite el movimiento de la banda con los envases.

### **2.3.1 SELECCIÓN DE TIPO DE BANDA TRANSPORTADORA**

Tipo de banda transportadora seleccionada: transportador por placas articuladas.

Las placas articuladas de la banda transportadora son extremadamente fuertes y resistentes al desgaste, poseen una superficie de contacto uniforme que permite una gran facilidad en el traslado de los envases PET.

Además, esta presenta una ventaja sobre los otros tipos de bandas transportadoras, porque no requieren de una tensión inicial.

### **2.3.2 SELECCIÓN DEL TIPO DE MOTOR**

Tipo de motor seleccionado: motor paso a paso.

Los motores paso a paso están diseñados para trabajar con paros y arranques consecutivos, y son utilizados en aplicaciones donde se requiera precisión, además son mucho más económicos en comparación a los servomotores que presentan características similares a los motores paso a paso.

## **2.4 PARÁMETROS DE DISEÑO**

Los parámetros de diseño son variables de mucha importancia, porque definen el diseño de la máquina de acuerdo a las condiciones deseadas.

Parámetros:

- Tamaño de los envases

El tamaño de los envases es un parámetro variable, debido a que la máquina permitirá realizar cambios de diferentes presentaciones de envases PET.

La máquina llenadora permitirá llenar presentaciones de envases desde 250 ml hasta 3.79 L.

- Número de boquillas

Para el diseño de la máquina llenadora solo se consideran un total de 4 boquillas, lo cual proporciona la capacidad de llenar 4 botellas en un ciclo.

Pero además la máquina llenadora puede permitir una expansión a futuro en cuanto al número de boquillas, lo que aumentaría la capacidad de producción por minuto.

- Tiempo de aceleración y desaceleración del motor

El tiempo de aceleración y desaceleración del motor paso se estima de 1 segundo, debido a que se busca la mayor eficiencia en el proceso de llenado.

El tiempo de aceleración será igual para cualquier presentación de envase y estos serán programados en el sistema de control.

- Distancia entre centros de la banda

La distancia entre centros de la banda transportadora será de 1955 mm. Ver figura 24.

Esta distancia se ha obtenido de acuerdo a la geometría de los envases de 3.79 L siendo su diámetro de 16 cm, esta distancia permite mantener 4 envases que han abandonado la etapa de llenado, 4 envases en la etapa de llenado y 4 envases que están por entrar a la etapa de llenado.

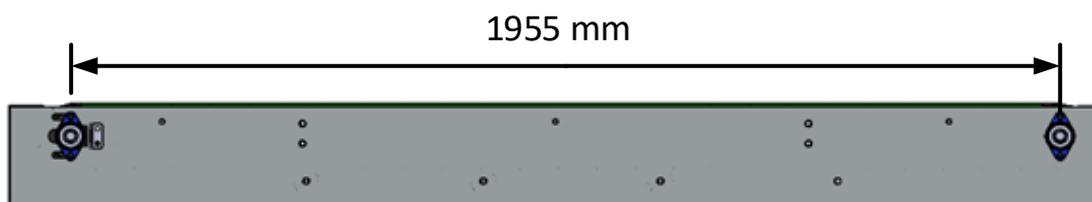


Figura 24. Distancia entre centros de la banda.

- Distancia de recorrido de los envases hasta la etapa de llenado.

Esta distancia es considerada partiendo del extremo de la banda, y esta puede variar dependiendo de la geometría de los envases, debido a que la separación de los cilindros neumáticos que retienen los envases pueden ser ajustada de acuerdo a la presentación de envase que se desea llenar. Se expresa una distancia teniendo en cuenta los envases de 1 L con un diámetro de 8 cm.

La distancia que recorren los envases desde el extremo de la banda transportadora, hasta el último cilindro neumático que retiene los envases es de 1137.5 mm. Ver figura 25.

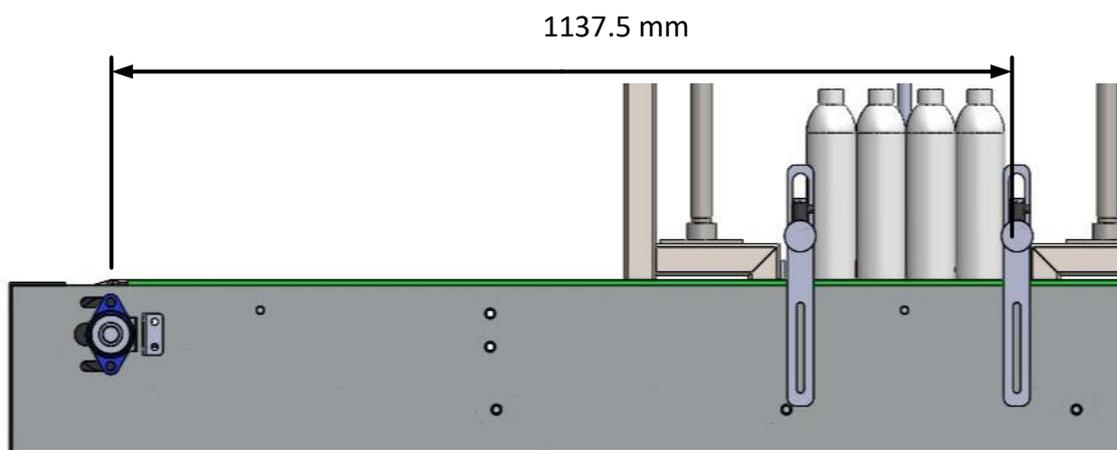


Figura 25. Distancia de recorrido de las botellas hasta la etapa de llenado.

- Apertura de boquillas

La máquina dispondrá de un tornillo de potencia para ajustar y mantener constante este parámetro, y así evitar que los envases puedan ser aplastados por la fuerza ejercida por el cilindro neumático cuando este se retraiga completamente.

La apertura se puede medir en la deformación del resorte y se tiene que cumplir la misma apertura en la boquilla para cada presentación de envase, con el objetivo de evitar que estos puedan ser aplastados.

El valor de la deformación del resorte será expresado en el apartado del diseño del resorte.

- Velocidad de la banda transportadora

La velocidad de la banda transportadora es un parámetro que se le establece al motor paso por medio del controlador, de manera que permita una buena movilidad de los envases. Ver figura 26.

Para determinar la velocidad de la banda transportadora se debe calcular la aceleración máxima permisible de la misma, por medio de los análisis de volteo y deslizamiento para el envase, siendo la aceleración de la banda la misma que experimenta el envase y es un parámetro crítico que puede producir volteo o deslizamiento en el envase.

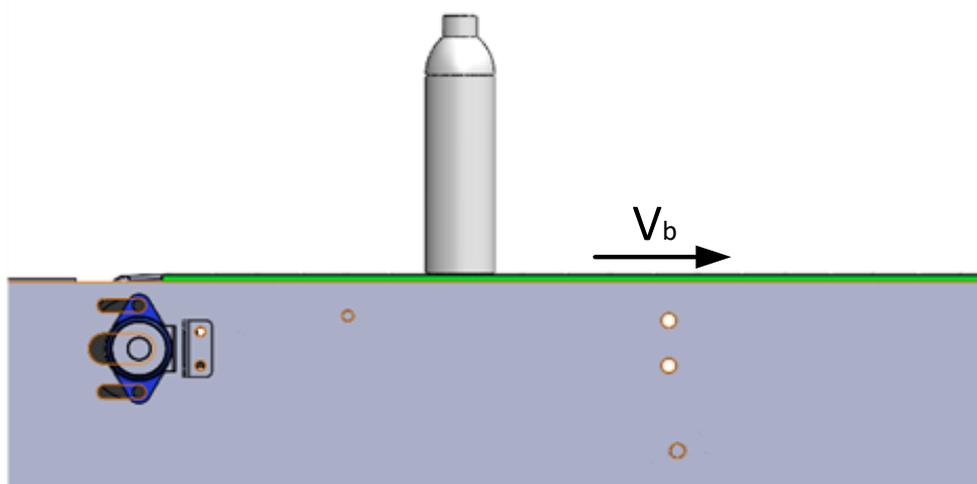


Figura 26. Velocidad de banda transportadora de placas articuladas.

Para efectos de cálculo se trabaja con la botella más pequeña con un volumen de 250 ml, siendo la más crítica y propensa a presentar volteo o deslizamiento. Los análisis de deslizamiento y volteo del envase se realizan partiendo de los datos presentados en la tabla 3.

Tabla 3. Datos para análisis de velocidad.

<b>DATOS</b>	
Gravedad ( $g$ )	$9.81 \text{ m/s}^2$
Masa del envase de 250 ml ( $m_B$ ). [27]	0.0172 kg
Altura del envase. [27]	0.25 m
Diámetro del envase. [27]	0.05 m
Coefficiente de fricción estático ( $\mu_s$ ).[Anexo B1]	0.20
Peso del envase de 250 ml ( $W_B$ )	0.168 N

Análisis de deslizamiento:

Este se realiza partiendo del diagrama de cuerpo libre presentado en la figura 27.

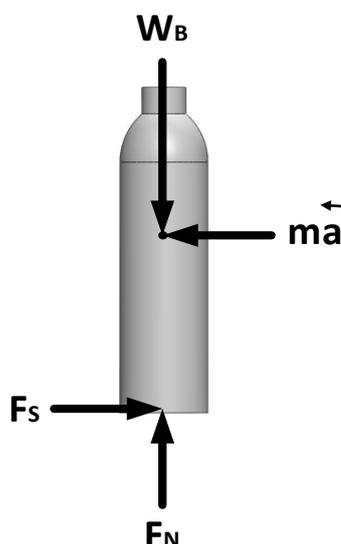


Figura 27. Diagrama de cuerpo libre – análisis de deslizamiento.

$$\sum F_y = 0$$

$$F_N = W_B \quad \text{Ec. 1}$$

$$\sum F_x = ma$$

$$F_s = m_B a_b \quad \text{Ec. 2}$$

Se considera la fuerza de fricción estática por ser el valor límite para mantener el envase de manera estática, y posteriormente se sustituye en la Ec. 2 para determinar la aceleración máxima que puede provocar deslizamiento. Ver tabla 4.

Tabla 4. Resultados de análisis de aceleración y fuerza de fricción.

$F_s = \mu_s F_N$	0.0336 N
$a_b = \frac{F_s}{m_B}$	1.96 m/s <sup>2</sup>

La aceleración máxima obtenida será la máxima que puede tener la banda para evitar la condición de deslizamiento en el envase.

Análisis de volteo:

Este se realiza partiendo del diagrama de cuerpo libre presentado en la figura 28.

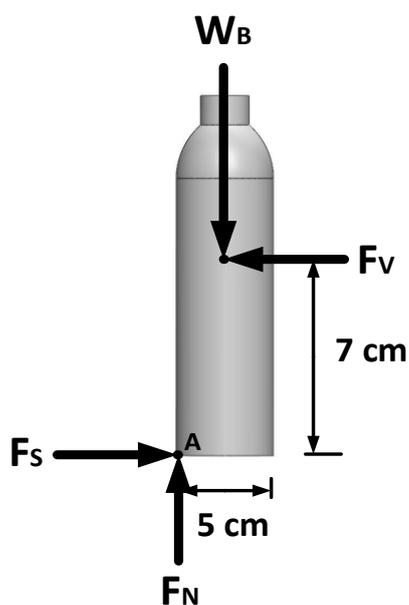


Figura 28. Diagrama de cuerpo libre – análisis de volteo.

Para el análisis de volteo se considera la fuerza  $F_V$  aplicada en el centro de gravedad del envase, siendo esa la fuerza de volteo que experimenta el envase producto de la aceleración de la banda.

$$\sum M_A = 0$$

$$F_V(0.07 \text{ m}) - W_B(0.025 \text{ m}) = 0 \quad \text{Ec. 3}$$

Analizando la Ec. 3 da como resultado una fuerza de:  $F_V = 0.06 \text{ N}$ .

Donde  $F_V$  es la fuerza que produce la condición de volteo en el envase.

$$F_V = m_B a_b \quad \text{Ec. 4}$$

Analizando la Ec. 4 se determina la aceleración máxima que puede provocar la condición de volteo en el envase:

$$a_b = \frac{F_V}{m_B} = 3.48 \text{ m/s}^2$$

La aceleración máxima obtenida será la máxima que puede tener la banda para evitar la condición de volteo en el envase.

En conclusión, se debe seleccionar una aceleración para la banda que no exceda ambas aceleraciones máximas en las condiciones de deslizamiento y volteo.

También se considera que la selección de la aceleración de la banda sea lo suficientemente pequeña, debido a que el envase no tiene una superficie de contacto uniforme, lo que representa una desventaja el trabajar con la aceleración máxima permitida, dado que para los análisis de volteo y deslizamiento no se considera toda la geometría de la base del envase, además reducirá la potencia requerida por el motor para producir el movimiento de la banda.

Teniendo en cuenta lo anterior se selecciona una aceleración para la banda de:

$$a_b = 0.2 \text{ m/s}^2$$

Las ecuaciones de movimiento rectilíneo uniformemente acelerado permiten determinar la velocidad de la banda en base a su aceleración  $a_b$  y tiempo de aceleración  $t_a$ , así como la distancia que recorre el envase en su aceleración. Ver tabla 5.

Tabla 5. Resultados de análisis de velocidad.

$t_a = t_d$	1 s
$v_b = v_0 + a_b t_a$	0.2 m/s = 20 cm/s
$x_a = x_0 + v_0 t_a + \frac{1}{2} a_b t_a^2$	0.1 m

- Tiempo a velocidad constante

Es el tiempo que recorre el envase desde el extremo de la banda a la distancia donde alcanza la velocidad constante hasta su posterior detención, es decir, no se considera la distancia de aceleración del motor.

Este tiempo será experimentado en el primer lote de envases, estando posicionados en el extremo de la banda transportadora.

La distancia recorrida en este trayecto será:

$$distancia = 1137.5 \text{ mm} - 100 \text{ mm}$$

$$distancia = 1037.5 \text{ mm}$$

Donde 1137.5 mm será la distancia de recorrido de los envases hasta la etapa de llenado, y los 100 mm será la distancia recorrida en la aceleración, considerando envases de 1 L con un diámetro de 8 cm.

El tiempo de recorrido a velocidad constante para el primer lote de botellas es:

$$tiempo = 1.0375 \text{ m} / 0.2 \text{ m/s}$$

$$tiempo = 5.2 \text{ s.}$$

El tiempo que recorre un envase de 1 L desde el extremo de la banda transportadora, hasta su posición de detención considerando su aceleración es de 6.2 segundos.

- Tiempo de entrada de los envases a la etapa de llenado

Este tiempo se calcula para determinar el número de ciclos de llenado, y se toma considerando que los envases están por entrar a la etapa de llenado. Se consideran envases de 1 L con un diámetro de 8 cm.

La distancia que ocupan los 4 envases de 1 L es de:

$$distancia = 4 \text{ envases} \times 8 \text{ cm}$$

$$distancia = 32 \text{ cm}$$

Posteriormente se obtendrá el tiempo  $t_e$  que se tardan los 4 envases en entrar a la etapa de llenado. Ver tabla 6.

Tabla 6. Resultado de análisis de tiempo de entrada de botellas.

$t_1 = \frac{32 \text{ cm} - x_a}{v_b}$	$t_1 = 1.1 \text{ s}$
$t_e = t_a + t_1$	$t_e = 2.1 \text{ s}$

- Altura de la banda transportadora

La altura estándar de la banda transportadora considerada desde el nivel de la superficie es de 36 pulgadas o su equivalencia 0.914 m. Ver figura 29.

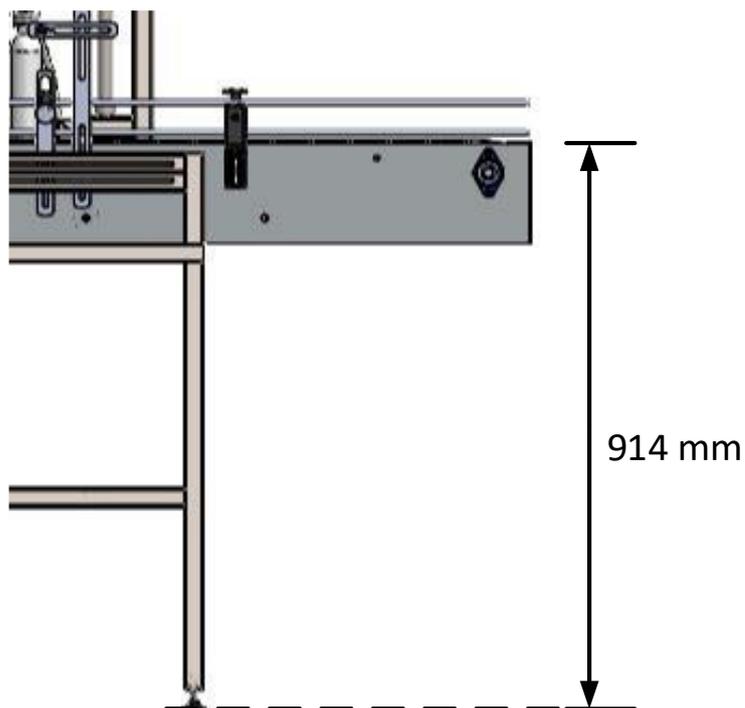


Figura 29. Altura de la banda transportadora.

- Tiempo de llenado

El tiempo de llenado es un parámetro que se considera de acuerdo a los envases de mediana capacidad, y se busca que el llenado sea lo más eficiente posible.

Se estima un tiempo ideal de llenado  $t_e$  de 5 segundos para 4 envases de 1 L.

Este parámetro disminuye para los envases de menor volumen y aumenta para los de mayor volumen.

- Número de ciclos de llenado

Para determinar este parámetro se necesita conocer el tiempo en que los envases entran a la etapa de llenado  $t_e$ , tiempo de llenado  $t_l$  y el tiempo en que suben y bajan las boquillas  $t_s$ , teniendo en cuenta que se analiza para envases de 1 L.

$$t_t = t_e + t_l + t_s$$

Ec. 5

Se estima que las boquillas tardan aproximadamente 1 segundo en bajar y 0.4 segundos en subir, en la bajada de las boquillas se considera un regulador de caudal para que estas no impacten de manera brusca contra los envases, haciendo un tiempo total de bajada y subida de las boquillas de 1.4 segundos.

Sustituyendo valores en la Ec. 5 da como resultado un tiempo de:

$$t_t = 2.1 s + 5 s + 1.4 s$$

$$t_t = 8.5 s$$

El número de ciclos de llenado es considerado para un minuto.

$$\text{número de ciclos} = \frac{60 s}{8.5 s}$$

$$\text{número de ciclos} = 7.058 \approx 7 \text{ ciclos por minuto}$$

Los 7 ciclos por minuto nos permiten llenar 28 envases en un minuto, lo que equivale a un total de 1,680 envases por hora, considerando 4 boquillas para condiciones de eficiencia máxima.

Este parámetro disminuye para los envases de mayor volumen y aumenta para los de menor volumen.

- Materiales

La máquina llenadora de envases se diseña considerando acero inoxidable para su fabricación, tanto para la estructura como para los demás componentes, de esta manera se garantiza cumplir con todos los estándares de higiene y aumenta la vida útil de la máquina.

## 2.5 DISEÑO GEOMÉTRICO DE LOS ELEMENTOS PRINCIPALES

El diseño geométrico de los componentes de la máquina llenadora de envases contempla aquellos elementos de mayor importancia para la máquina, se debe de diseñar cada uno de ellos para tener un ensamble exitoso.

### 2.5.1 PESO DE LOS ENVASES

Se presentan los datos necesarios en la tabla 7 para determinar el peso del envase vacío, envase lleno y peso total de los envases que están sobre la banda transportadora. Para los cálculos de los respectivos pesos ver la tabla 8.

Para efectos de cálculos posteriores se considera la masa para la presentación de envase de 3.79 L, siendo este envase el de mayor peso que soporta la banda transportadora.

Tabla 7. Datos para el análisis del peso del envase.

<b>DATOS</b>	
Densidad del agua ( $\rho_a$ )	$1000 \text{ kg}/\text{m}^3$
Volumen del envase de 3.79 L ( $V_B$ )	$3.79 \text{ L} = 3785.41 \text{ cm}^3$
Masa del envase vacío de 3.79 L ( $m_B$ ). [27]	0.16 kg
Velocidad de la banda ( $v_b$ )	$0.2 \text{ m}/\text{s} = 12 \text{ m}/\text{min}$

El total de envases soportados por la banda transportadora es de 8 envases llenos y 4 envases vacíos.

Tabla 8. Resultados de análisis para el peso de los envases.

Masa del agua por botella ( $m_a$ )	$m_a = \rho_a V_B$	3.79 kg
Peso del agua ( $W_a$ )	$W_a = m_a g$	37.18 N
Peso de la botella vacía ( $W_B$ )	$W_B = m_B g$	1.57 N
Peso de la botella llena ( $W_{BL}$ )	$W_{BL} = W_B + W_a$	38.75 N
Peso total de botellas soportadas por banda ( $W_{BT}$ )	$W_{BT} = 4W_B + 8W_{BL}$	316.28 N

## 2.5.2 CADENA DE BANDA TRANSPORTADORA

Todos los elementos que componen la banda con placas articuladas están previamente diseñados y se pueden obtener en diferentes dimensiones y materiales, según los requerimientos deseados.

Para la banda transportadora de la etapa de llenado de envases se seleccionó una cadena y piñones de acuerdo a la finalidad de la máquina, cuya finalidad es la de transportar los envases PET de diferentes presentaciones. Se consideró el diámetro y peso de los envases de mayor volumen y la capacidad de carga que soportan las placas articuladas, dando un parámetro para la selección de la cadena de placas articuladas siendo seleccionada una cadena serie 820. Los datos se muestran en la tabla 9.

Tabla 9. Datos de la cadena de placas articuladas.

<b>DATOS DE CADENA DE ESLABONES</b>	
Paso ( $p_c$ )	38.1 mm
Masa de la cadena/banda por metro ( $m_{c/m}$ )	1.25 kg/m
Temperatura de operación	Seco: -40 °C a 85 °C Mojado: 0 °C a 75 °C
Carga de trabajo (25 °C)	1250 N
Velocidad máxima	Lubricación: 80 m/min Seco: 50 m/min

A continuación, se determinarán algunos parámetros de la cadena. Ver tabla 10.

La longitud de la cadena es considerada según el parámetro de la distancia entre centros de la banda y la longitud de contacto con los piñones (arco de contacto del piñón).

Tabla 10. Resultado de análisis del peso de la cadena.

Longitud de contacto de ambos piñones	$2 * \pi * \left(\frac{D_p}{2}\right)$	0.36 m
Longitud de cadena	$L_c = (2 * 1955 \text{ cm}) + 360 \text{ cm}$	4270 mm
Número de eslabones	$N_e = \frac{L_c}{p_c}$	112
Masa de la cadena	$m_c = L_c * m_{c/m}$	5.34 kg
Peso total de la cadena	$W_c = m_c g$	52.38 N
Distancia entre centros de la banda ( $c_b$ )		1955 mm

### 2.5.3 PIÑONES DE LA BANDA TRANSPORTADORA

Los piñones son seleccionados de acuerdo a la cadena. Los datos de los piñones se muestran en la tabla 11.

Tabla 11. Datos del piñón.

DATOS DEL PIÑÓN		
Diámetro del piñón ( $D_p$ )	117 mm	
Ancho ( $B_p$ )	59 mm	
Material	Acetal	
Densidad del piñón ( $\rho_p$ )	$1.41 \text{ g/cm}^3 = 1410 \text{ kg/m}^3$	
Inercia de los piñones ( $I_p$ )	$I_p = 2\left(\frac{1}{2}\pi B_p \rho_p \left(\frac{D_p}{2}\right)^4\right)$	0.003061 kg m <sup>2</sup>

### 2.5.4 EJE DE BANDA TRANSPORTADORA

El eje es el elemento al cual el motor paso a paso le transmite su potencia o torque necesario para poder mover toda la carga. Ver figura 30.

Los diámetros del eje están definidos de acuerdo a las dimensiones del piñón y las chumaceras que se utilizan.

De la misma manera se definieron las longitudes del eje, tomando en consideración el ancho de la banda, chumaceras y acople para el motor.

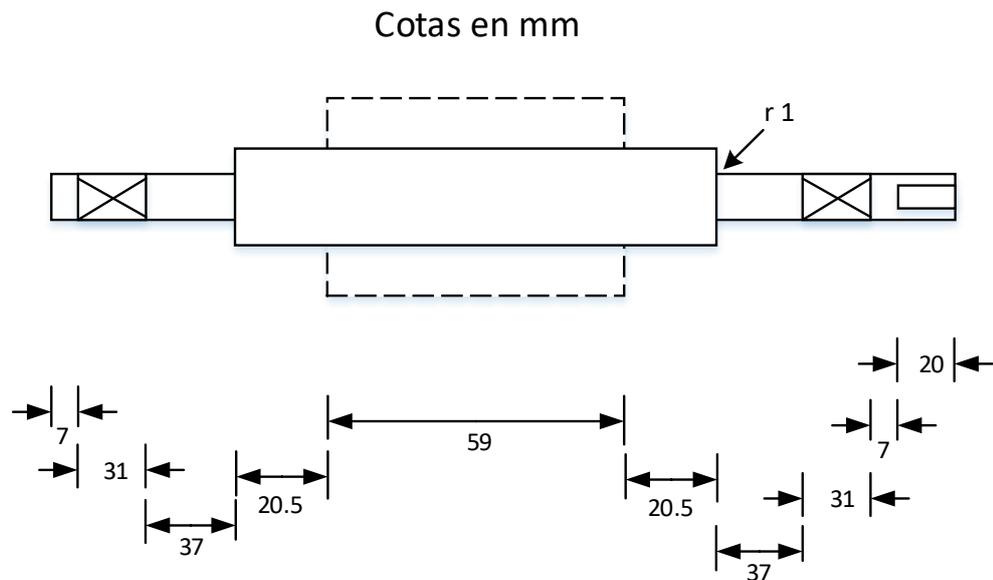


Figura 30. Eje de transmisión.

Los datos de los ejes que servirán como punto de partida para la determinación de otros de sus parámetros se muestran en la tabla 12.

Tabla 12. Datos del eje de transmisión.

<b>DATOS DE EJE</b>	
Diámetro mayor del eje ( $D_{E1}$ )	25 mm
Diámetro menor del eje ( $D_{E2}$ )	20 mm
Longitud de la parte de diámetro mayor ( $L_{E1}$ )	100 mm
Longitud de la parte de diámetro menor ( $L_{E2}$ )	170 mm
Radio ( $r$ )	1 mm
Material	Acero Inoxidable 304
Densidad ( $\rho_E$ )	$7.9 \text{ g/cm}^3$ $= 7900 \text{ kg/m}^3$

Los ejes serán de acero inoxidable debido a que pueden tener contacto con el líquido, en caso de un derrame en las placas de la banda.

A continuación, se calcula la inercia para los ejes. Ver tabla 13.

Tabla 13. Inercia de los ejes.

Inercia de los ejes ( $I_E$ )	$I_E = \pi\rho_E(L_{E1}\left(\frac{D_{E1}}{2}\right)^4 + L_{E2}\left(\frac{D_{E2}}{2}\right)^4)$	0.000103 kg m <sup>2</sup>
----------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------

### 2.5.5 ACOPLA PARA EL MOTOR Y EJE

El acople es un elemento que permite conectar de manera directa el eje de la banda transportadora y el eje del motor paso a paso, lo que evita pérdidas de potencia para la banda. En la tabla 14 se muestran sus datos.

Tabla 14. Datos de acople del motor y eje de la banda.

DATOS	
Longitud del acople ( $L_A$ )	40 mm
Diámetro del acople ( $D_A$ )	30 mm
Material	Acero Inoxidable 304
Densidad ( $\rho_A$ )	$7.9 \text{ g/cm}^3 = 7900 \text{ kg/m}^3$

A continuación, se determina la inercia del acople. Ver tabla 15.

Tabla 15. Inercia del acople.

Inercia de acople ( $I_A$ )	$I_A = \frac{1}{2}\pi\rho_A L_A \left(\frac{D_A}{2}\right)^4$	0.000025 kg m <sup>2</sup>
--------------------------------	---------------------------------------------------------------	----------------------------

## 2.5.6 SELECCIÓN DEL MOTOR PASO A PASO

Para realizar la selección del motor paso se debe tener en cuenta la carga a mover, así como la resistencia que la carga le hace a la banda transportadora por placas articuladas, por lo que se seleccionará un motor capaz de vencer esa resistencia.

### 2.5.6.1 TORQUE RESISTIVO

El torque resistivo es la resistencia producto del peso que soporta la banda de placas articuladas contra las guías que soportan la banda transportadora.

Los resultados del torque resistivo se presentan en la tabla 16.

Tabla 16. Resultados del análisis para el torque resistivo.

coeficiente de rozamiento entre cadena y guías ( $\mu_{s1}$ ). [Anexo B1]	0.15	
Fuerza de rozamiento entre banda y la guía	$F_f = \mu_{s1}(W_{BT} + W_c)$	55.30 N
Par necesario para mover la carga (Torque de resistencia)	$T_R = F_f \frac{D_p}{2}$	3.24 N m

### 2.5.6.2 TORQUE DE ACELERACIÓN

El torque de aceleración se determina a partir de las inercias de todos los elementos que pueden presentar una restricción o carga al motor y que este tiene que vencer.

Para la inercia de la carga se necesita la masa total de los envases de 3.79 L soportados por la banda y la masa total de la cadena.

Los resultados del torque de aceleración se presentan en la tabla 17.

Tabla 17. Resultados del análisis para el torque de aceleración.

Masa de toda la carga ( $m_w$ )	$m_w = 4m_B + 8(m_B + m_a) + m_c$	37.58 kg
Inercia de la carga ( $I_w$ )	$I_w = m_w \left(\frac{D_p}{2}\right)^2$	0.1286 kg m <sup>2</sup>
Velocidad angular ( $\omega$ )	$\omega = \frac{2v_b}{D_p}$	3.418 $\frac{rad}{s}$
Velocidad en rpm (n)	32.64 rpm	
Torque de aceleración	$T_a = (I_p + I_E + I_A + I_w) \frac{\omega}{t_a}$	0.450 N m

### 2.5.6.3 TORQUE DEL MOTOR

Se calcula el torque del motor paso sin considerar la inercia del mismo, pero cuando este sea seleccionado se deberá sumar la inercia del motor y verificar si este siempre cumple con los parámetros.

Los resultados para el torque del motor se presentan en la tabla 18.

Tabla 18. Resultados de análisis para el motor.

Torque del motor	$T_m = T_a + T_R$	3.69 N m
Con la inercia del motor		
Inercia de motor seleccionado. [Anexo B2]	$I_m$	2.70 kg cm <sup>3</sup> = 0.0000027 kg m <sup>3</sup>
Torque de aceleración	$T_a = (I_p + I_E + I_e + I_w + I_m) \frac{\omega}{t_a}$	0.450 N m
Torque del motor	$T_m = T_a + T_R$	3.69 N m
Potencia del motor	$P_m = \frac{2\pi T_m n}{60}$	12.61 W

La inercia del motor paso no representa un cambio significativo en el torque del motor paso para poder mover toda la carga, por lo cual en base al torque se selecciona el motor paso NEMA 34, que puede entregar un torque de 5.9 Nm.

### 2.5.7 COJINETES DE FRICCIÓN

El bronce es un material resistente utilizado mayormente para la fabricación de cojinetes de fricción, los cuales son adecuados para una amplia gama de aplicaciones, como movimientos oscilantes en sentido radial y axial, o para aplicaciones en las que las velocidades de giro son bajas.

Los cojinetes de fricción de bronce sólido pueden lubricarse con aceite o grasa, el lubricante no solo mejora las propiedades deslizantes, también reduce el desgaste y previene la corrosión. Los datos de los cojinetes de fricción se presentan en la tabla 19 y el cojinete en la figura 31.

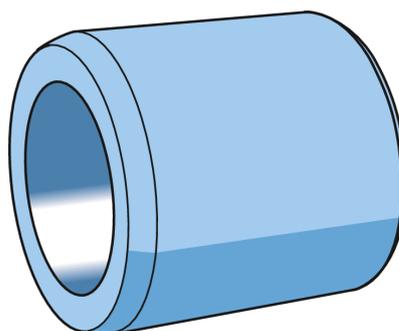


Figura 31. Cojinete de fricción. [22]

Tabla 19. Especificaciones de cojinete de fricción.

<b>ESPECIFICACIONES DE COJINETES</b>	
Material	Bronce
Rango de temperatura de funcionamiento admisible	-40 °C a +250 °C (-40 °F a +480 °F)
Carga admisible	Dinámica: $25 \text{ N/mm}^2$ Estática: $45 \text{ N/mm}^2$
Velocidad admisible de deslizamiento	$0.5 \text{ m/s}$
Coefficiente de fricción $\mu$	0.08 a 0.15 (engrasado)

Los datos de la geometría de los cojinetes se presentan en la tabla 20.

Tabla 20. Datos de diseño de cojinete deslizantes

<b>DATOS DE DISEÑO DE COJINETES</b>	
Diámetro interno	25.4 mm
Diámetro externo	35.25 mm
Longitud	76.2 mm

## 2.5.8 FUERZA REQUERIDA POR EL CILINDRO NEUMÁTICO

Para determinar la fuerza que necesita ejercer el cilindro neumático que mueve las boquillas para comprimir los resortes de las mismas, se analiza a partir de los elementos que afectan directamente, como las boquillas, los cojinetes, la tuerca del tornillo de potencia, la estructura o porta boquillas y el tornillo de potencia.

El sistema del cilindro neumático en conjunto con los demás elementos como la porta boquillas, tornillo de potencia y otros elementos, se presenta en la figura 32.

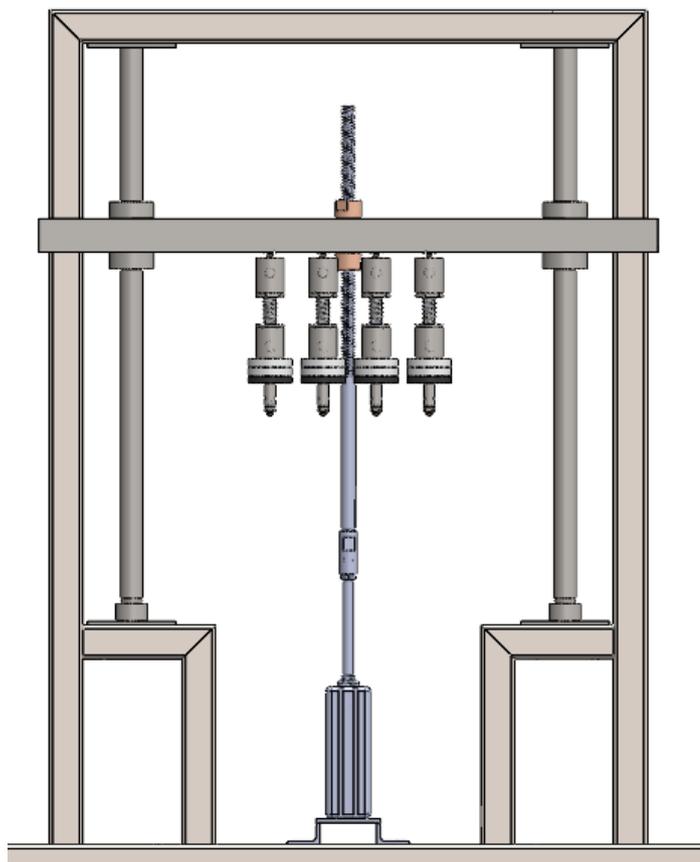


Figura 32. Estructura de porta boquillas.

Se tendrán en cuenta 4 boquillas, 2 cojinetes de fricción y 2 tuercas del tornillo de potencia. Ver datos en la tabla 21.

Tabla 21. Datos para el análisis de porta boquillas.

<b>DATOS</b>	
Peso de boquillas ( $W_b$ )	$4.41\text{ N} \times 4 = 17.64\text{ N}$
Peso del porta boquillas ( $W_p$ )	$65.23\text{ N}$
Peso del tornillo de potencia ( $W_T$ )	$10.3\text{ N}$
Peso de los cojinetes ( $W_s$ )	$3.8\text{ N} \times 2 = 7.6\text{ N}$
Peso de las tuercas del tornillo de potencia ( $W_n$ )	$2.4\text{ N} \times 2 = 4.8\text{ N}$
Diámetro de las guías	$25.4\text{ mm}$

El peso de los elementos descritos en la tabla 21 se determinó en base al diseño realizado de los mismos, en un programa de diseño que permite determinar ciertos parámetros para el diseño, entre esos parámetros se encuentra su peso una vez definidas sus dimensiones y su material.

La fuerza  $F_r$  se obtuvo del apartado del diseño del resorte de las boquillas en el apartado 2.6.6.

El análisis se realiza a partir del diagrama de cuerpo libre de la estructura de la porta-boquillas, como se muestra en la figura 33.

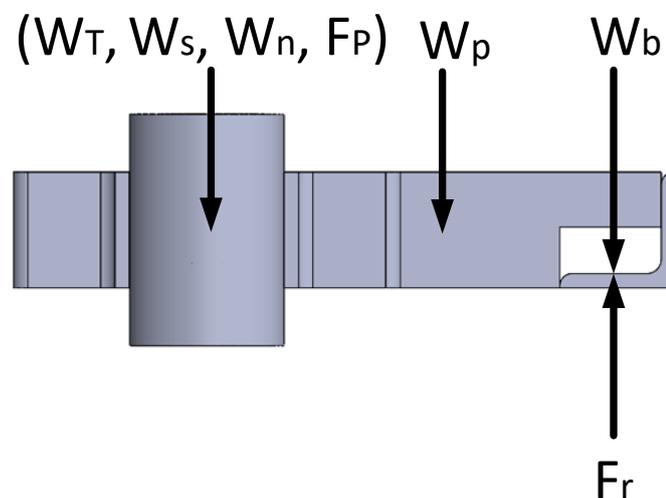


Figura 33. Diagrama de fuerzas de porta boquillas.

Donde  $F_r$  es la fuerza que experimentan los 4 resortes hasta comprimirse a su deformación de operación.

$$\Sigma F_y = 0$$

$$F_p = F_r - W_p - W_T - W_s - W_b - W_n \quad \text{Ec. 6}$$

Sustituyendo los valores de la Tabla 21 en la Ec. 6 da como resultado:

$$F_p = 181.23N - 65.23N - 10.3N - 7.6N - 17.64N - 4.8N$$

$$F_p = 75.66 N$$

El cilindro neumático que permite el movimiento vertical de las boquillas, tiene que suministrar una fuerza de 75.66 N para poder comprimir los resortes hasta la deformación de operación.

La presión para lograr la fuerza de 75.66 N en el cilindro neumático sería:

$$presión\ en\ cilindro = \frac{F}{A} \quad Ec. 7$$

Sustituyendo los datos en la Ec. 7 da como resultado una presión de:

$$presión = \frac{75.66\ N}{\left(\frac{\pi}{4}\right) \left( (0.032\ m)^2 - (0.012\ m)^2 \right)} = 109.47\ kPa = 1.09\ bar$$

Como se muestra, la fuerza necesaria para comprimir los resortes es de 75.66 N lo que equivale a aplicarle una presión al cilindro de 1.09 bar.

Pero también se debe analizar la otra condición cuando el cilindro se extiende, debido a que en esta condición el cilindro neumático tendría que levantar el peso de todos los elementos y además se considera de cero la fuerza de los resortes, como estos no se estarían comprimiendo.

$$F_p = W_p + W_T + W_s + W_b + W_n \quad Ec. 8$$

Sustituyendo los valores en la Ec. 8 da como resultado una fuerza en la extensión del cilindro neumático de:

$$F_p = 65.23N + 10.3N + 7.6N + 17.64N + 4.8N$$

$$F_p = 105.57\ N$$

Cuando el cilindro neumático se extiende se necesita ejercer a este una presión que se calcula sustituyendo los valores en la Ec. 7 que da como resultado:

$$presión = \frac{105.57\ N}{\left(\frac{\pi}{4}\right) \left( (0.032\ m)^2 \right)} = 131.265\ kPa = 1.31\ bar$$

La condición más crítica se da cuando el cilindro neumático se extienda, debido a que este demandará más presión.

## **2.5.9 ANÁLISIS DE GUÍAS Y PORTA BOQUILLAS**

El análisis en las guías y porta boquillas permite determinar si no habrá riesgo de falla en estos elementos, se analiza la estructura del portaboquillas con un programa de diseño y posteriormente se analizan las barras guías en base a las ecuaciones de deformaciones en vigas.

### **2.5.9.1 ANÁLISIS DE PORTABOQUILLAS**

Se analiza la estructura de las guías en conjunto con el porta boquillas, para determinar si este no presentará fallas de flexión por las fuerzas aplicadas, para ello se utiliza una herramienta CAE que permite realizar el estudio de la estructura, debido a que son elementos geoméricamente complejos para analizar como un conjunto, por ello se utiliza un software que permita realizar un análisis de elementos finitos y determinar si los elementos cumplen con los parámetros necesarios para no presentar problemas de fallas.

La fuerza aplicada para el análisis es la fuerza necesaria para comprimir los 4 resortes, debido a que es la carga máxima a la que será sometida la estructura. La fuerza de operación de cada resorte es de 44.48 ( fuerza determinada en el apartado 2.6.6). La estructura se muestra en la figura 34.

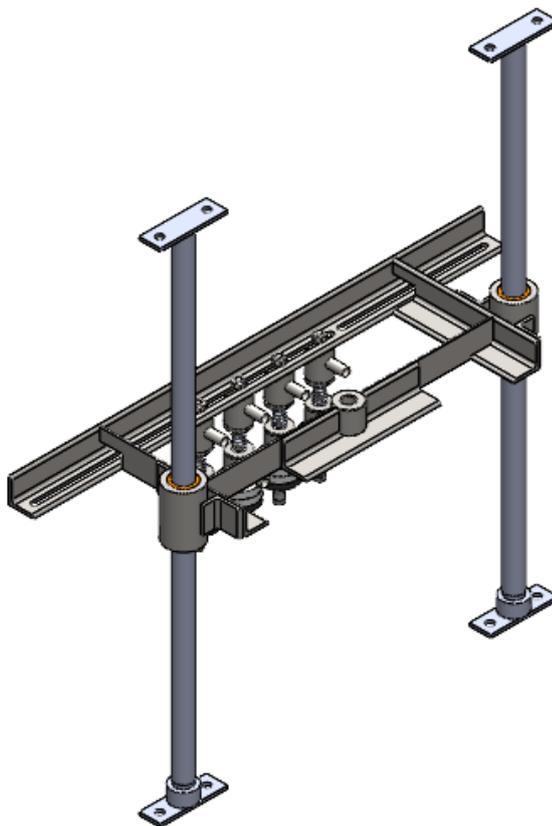


Figura 34. Estructura del portaboquillas y las guías de los cojinetes deslizantes.

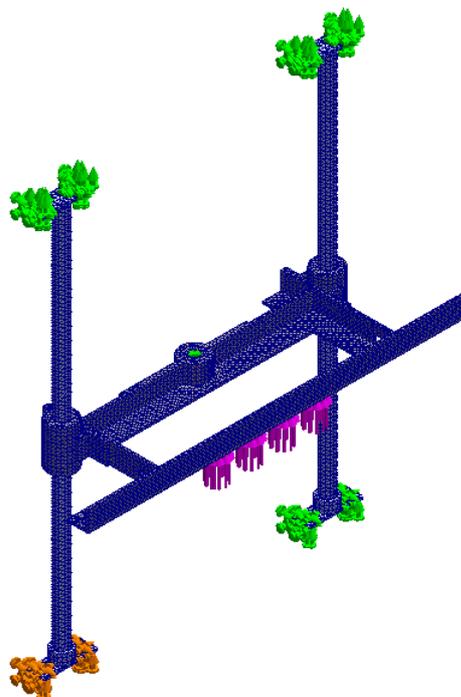


Figura 35. Mallado de la estructura.

La figura 35 muestra la representación de las fuerzas ejercidas por los 4 resortes, teniendo en cuenta que las guías estarán fijas en sus extremos, una vez ejecutado el estudio se obtuvieron los siguientes resultados, pero lo que se busca es un factor de seguridad  $S_f$  que permita verificar si el diseño es confiable y que no presenta falla si es sometido a esas cargas de trabajo.

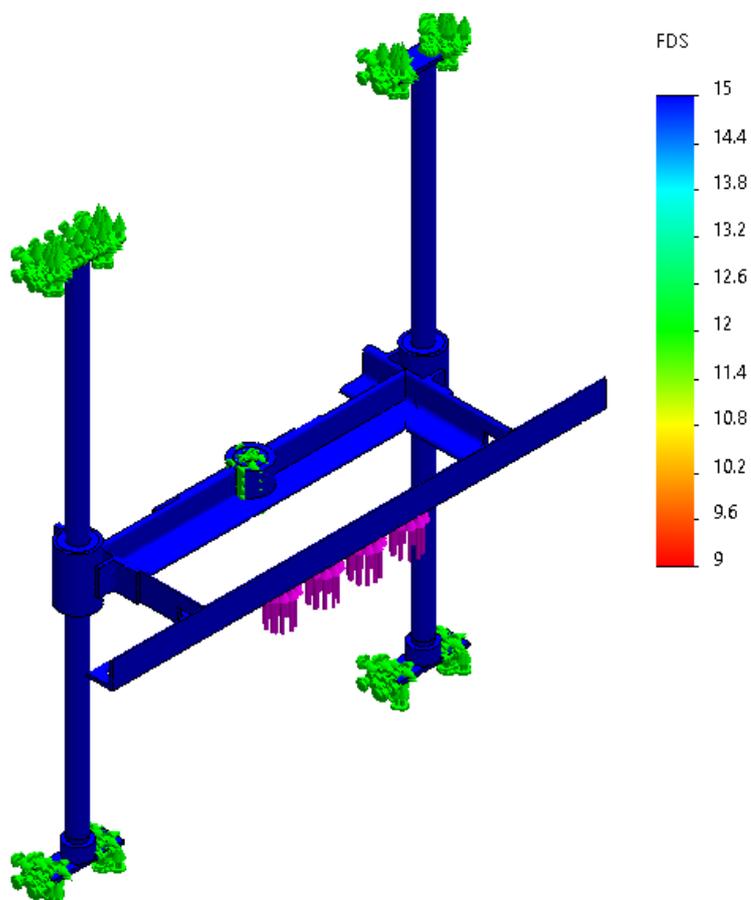


Figura 36. Resultado de la simulación.

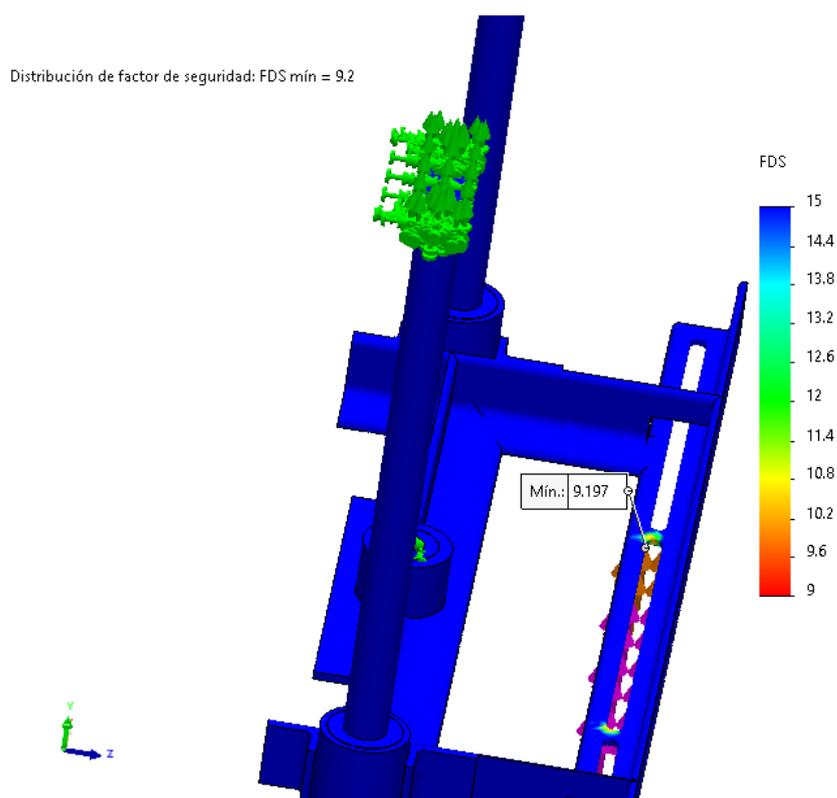


Figura 37. Muestra del factor de seguridad.

En la figura 37 se demuestra que el factor de seguridad mínimo que brindó el análisis y es de 9.197, lo que significa que el diseño de la estructura del portaboquillas es bastante confiable y garantiza que no habrá riesgo de falla.

### 2.5.9.2 ANÁLISIS DE LAS GUÍAS

Las barras guías se encargan de brindar el soporte al portaboquillas. Las barras han sido colocadas con el objetivo de que se distribuyan los esfuerzos en las mismas para evitar que el vástago del cilindro neumático sufra daños por flexión, de esa manera el momento que se genera al comprimir los resortes será distribuido entre las dos barras guías. Ver el esquema de la barra en la figura 38.

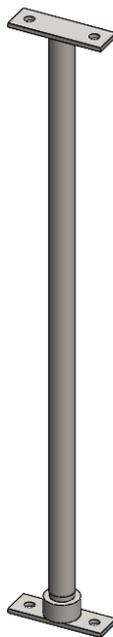


Figura 38. Barra guía.

El análisis de deflexión en las barras guías se realiza a partir de los datos mostrados en la tabla 22, y partiendo del análisis del diagrama de cuerpo libre de la estructura del portaboquillas como se presenta en la figura 39.

Tabla 22. Datos de las barras guías.

<b>DATOS DE GUÍAS</b>	
Diámetro	25.4 mm
Longitud de guías (L)	626 mm
Material	AISI 304
Módulo de elasticidad	190 GPa
Resistencia a la flexión EI	3882.025 Nm <sup>2</sup>

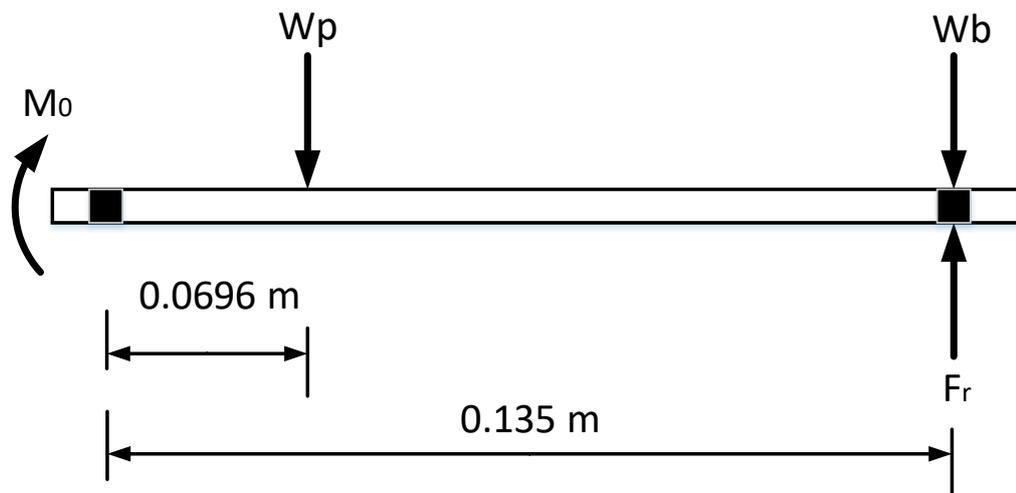


Figura 39. Diagrama de momentos del portaboquillas.

La fuerza  $F_r$  se obtuvo del apartado del cálculo de diseño del resorte de las boquillas del tema 2.6.6.

$$\Sigma M = 0$$

$$M_0 = (F_r)(0.135 \text{ m}) - (W_p)(0.0696 \text{ m}) - (W_b)(0.135 \text{ m}) \quad \text{Ec. 9}$$

Sustituyendo valores en la Ec. 9 da como resultado un momento de:

$$M_0 = 181.23 \text{ N} * 0.135 \text{ m} - 65.23 \text{ N} * 0.0696 \text{ m} - 17.64 \text{ N} * 0.135 \text{ m}$$

$$M_0 = 17.54 \text{ Nm}$$

Como son dos barras guías y se considera que ambas están sometidas a flexión debido a la fuerza que le ejercen los resortes.

$$M_0 = \frac{17.54 \text{ N.m}}{2} = 8.77 \text{ Nm}$$

Para el análisis de deflexión se toman las ecuaciones que proporcionan las tablas de deformación en vigas de los libros de mecánica de materiales.

En este caso se considera que el momento está aplicado a la mitad de la barra, y esta no experimenta ninguna otra fuerza. Ver figura 40.

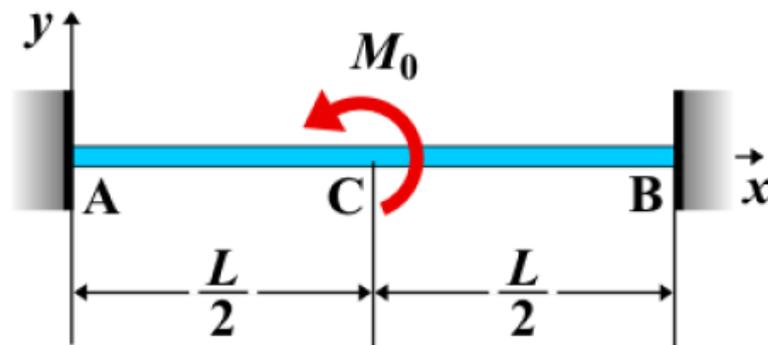


Figura 40. Diagrama de barra guía doblemente empotrada. [22]

La deflexión máxima que sufren las barras se representa en la figura 41, y está se da a una distancia  $x=0.209$  m.



Figura 41. Diagrama de deflexión de barras guías.

$$y_{AC} = \frac{M_0 x^2}{8LEI} (2x - L) \quad \text{Ec. 10}$$

Sustituyendo valores en la Ec. 10 da como resultado la máxima deflexión con un valor de:

$$y_{AC} = -4.1 * 10^{-6} \text{ m}$$

La deflexión en el punto más crítico es de  $4.1 * 10^{-6} \text{ m}$ , por lo tanto la deflexión que se genera en las barras guías es despreciable.

## **2.5.10 ANÁLISIS DE ELEMENTOS MECÁNICOS PRINCIPALES**

El análisis en los elementos mecánicos contempla el análisis por las teorías de fallas, para determinar la confiabilidad de estos y seleccionar algunos elementos mecánicos o definir algunos de sus parámetros más importantes.

### **2.5.10.1 ANÁLISIS DE FATIGA PARA EJE**

Los ejes tienen definidos sus parámetros y material, el análisis de fatiga permite determinar el factor de seguridad que tendrá el eje de acero inoxidable 304, según los parámetros previamente definidos en el apartado del eje de la banda transportadora 2.5.4.

El análisis se realiza al eje de mayor longitud o eje de transmisión, el cual está en contacto directo recibiendo toda la potencia por parte del motor paso a paso, y es considerado como el más crítico.

La figura 42 muestra un esquema de la representación de las fuerzas que actúan sobre el eje de transmisión.

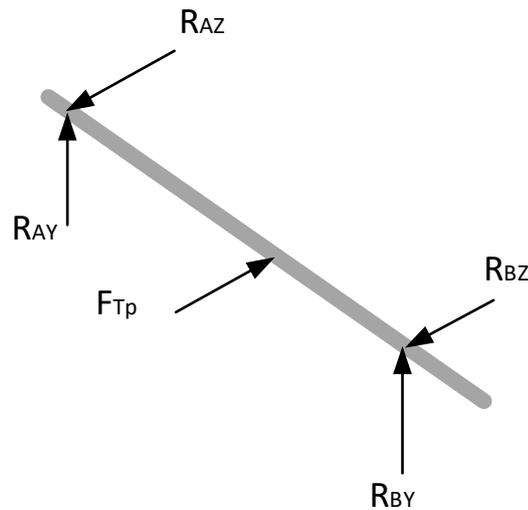


Figura 42. Representación de eje.

En base a la Ec. 11, se determina que el torque del motor es igual al torque del eje, ya que al estar acoplado directamente no hay pérdida de potencia.

$$P_E = P_m \quad \text{Ec. 11}$$

Por lo tanto:

$$F_{Tp} = \frac{2T_m}{D_p} \quad \text{Ec. 12}$$

Evaluando los valores de la Tabla 11 y Tabla 18 en la Ec. 12 da como resultado:

$$F_{Tp} = 63.08 \text{ N}$$

A continuación, se analizará el eje de transmisión en los ejes coordenados Y y Z como se muestra en la figura 43 y 44, lo que permite determinar las reacciones en los cojinetes para posteriormente construir los diagramas de momento y cortante para el eje de transmisión en ambos ejes coordenados Y y Z.

Análisis en el eje coordenado Z:

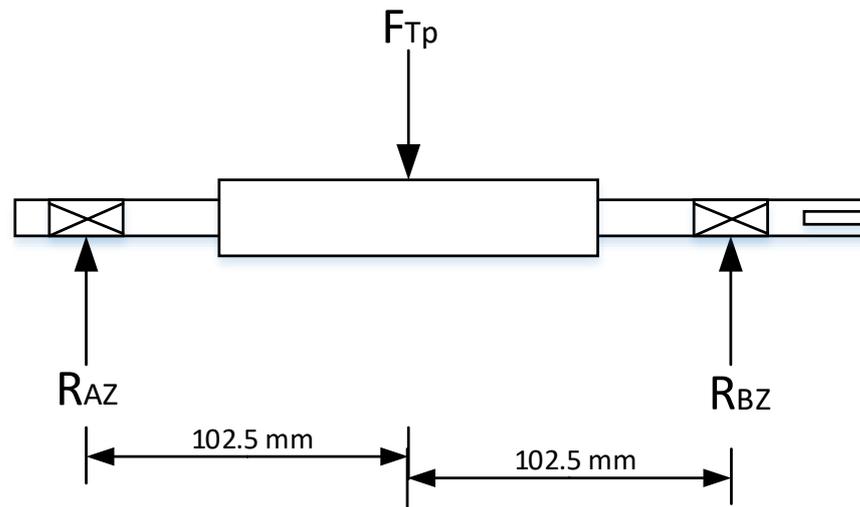


Figura 43. Representación de fuerzas en el eje para coordenada Z.

Tomando como pivote el punto A que representa el cojinete A, se analizan las fuerzas que generan momentos en el eje. Ver figura 43.

$$\sum M_Z = 0$$

$$-F_{Tp}(0.1025 \text{ m}) + R_{BZ}(0.205 \text{ m}) = 0 \quad \text{Ec.13}$$

Sustituyendo en la Ec. 13 el valor que dio como resultado de la Ec. 12, da como resultado una reacción en el cojinete B con un valor de:

$$R_{BZ} = 31.54 \text{ N}$$

Posteriormente se hace sumatoria de fuerzas en el eje coordenado Z.

$$\sum F_Z = 0$$

$$R_{AZ} - F_{Tp} + R_{BZ} = 0 \quad \text{Ec. 14}$$

Sustituyendo en la Ec. 14, da como resultado una reacción en el cojinete A con un valor de:

$$R_{AZ} = 31.54 \text{ N}$$

Análisis en el eje coordenado Y:

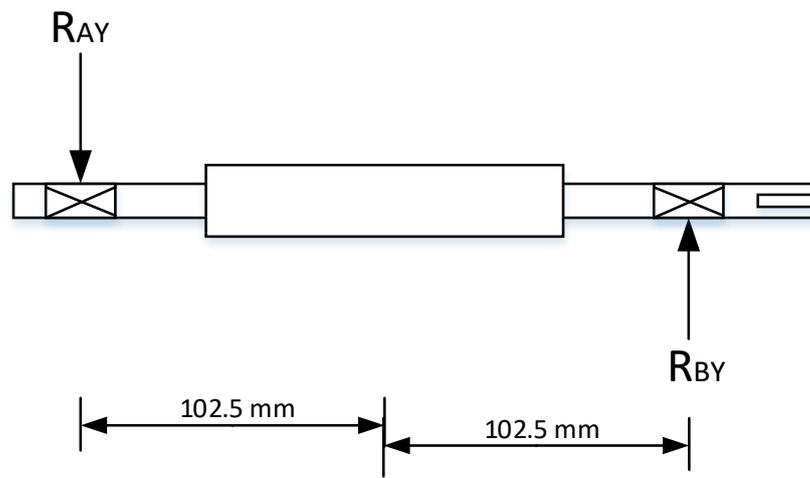


Figura 44. Representación de fuerzas en el eje para coordenada Y.

Como no existe otra fuerza en el eje coordenado Y al analizar por sumatoria de momentos, tomando de pivote el punto A, y posterior hacer sumatoria de fuerzas en Y, da como resultado:

$$R_{BY} = 0$$

$$R_{AY} = 0$$

Una vez determinados todos los valores se pueden construir los diagramas de cortante y momento para sus respectivas coordenadas Y y Z.

Los diagramas de momento nos permiten determinar los esfuerzos en cada punto del eje de transmisión para analizar su punto más crítico. Los diagramas de cortante y momento se presentan en las figuras 45.

Diagramas de momento y cortante:

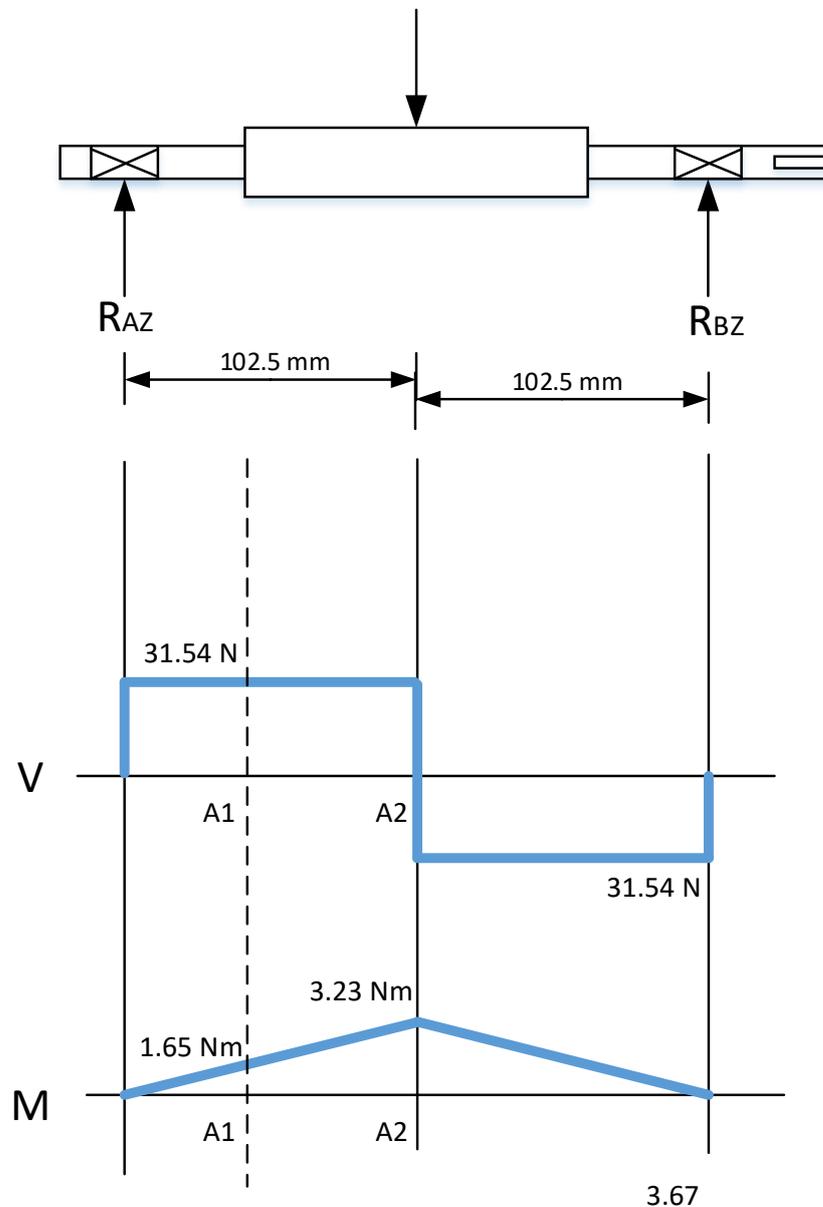


Figura 45. Diagrama de momento y cortante del eje para coordenada Z.

Como para la coordenada Y las reacciones son cero, los valores en el diagrama de cortante y momento también serán cero.

Se evalúa para determinar su factor de seguridad y verificar si excede el rango crítico.

Análisis de momentos y esfuerzo en los puntos más críticos.

Momentos:

$$M_{R1} = \sqrt{(M_{A1Y}^2 + M_{A1Z}^2)} \quad \text{Ec. 15}$$

$$M_{R2} = \sqrt{(M_{A2Y}^2 + M_{A2Z}^2)} \quad \text{Ec. 16}$$

Sustituyendo en las Ec. 15 y 16 los valores de momentos tomados de los diagramas de momento, dando como resultado:

$$M_{R1} = 1.65 \text{ Nm}$$

$$M_{R2} = 3.23 \text{ Nm}$$

Esfuerzos:

$$\sigma_{R1} = \frac{32M_{R1}}{\pi D_{E2}^3} K_f \quad \text{Ec. 16}$$

$$\sigma_{R2} = \frac{32M_{R2}}{\pi D_{E1}^3} \quad \text{Ec. 17}$$

$$\tau = \frac{16T_m}{\pi D_{E2}^3} \quad \text{Ec. 18}$$

$$K_f = 1 + q(K_t - 1) \quad \text{Ec. 19}$$

El primer esfuerzo se multiplica por un  $K_f$  producto del concentrador de esfuerzos por el cambio de sección, en la tabla 23 se muestran los concentradores de esfuerzo que se calcularon en base a los datos de la Tabla 12 y la Ec. 19.

Tabla 23. Concentradores de esfuerzos.

Concentrador de esfuerzo teórico $K_t$ . [Anexo B9]	1.62
Índice de sencibilidad a la entalla $q$ . [Anexo B10]	0.74
Concentrador por fatiga $K_f$ . [Ec 19]	1.46

Sustituyendo en las Ec. 16, 17 y 18, da como resultado:

$$\sigma_{R1} = 3.07 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{R2} = 2.11 \text{ MPa}$$

$$\tau = 2.35 \text{ MPa}$$

Para determinar los esfuerzos alternantes y medios se analiza el punto de máximo esfuerzo, siendo donde se encuentra el concentrador de esfuerzo.

$$\sigma_{ea} = \sqrt{\sigma_a^2 + 3(\tau_a)^2} \quad \text{Ec. 20}$$

$$\sigma_{em} = \sqrt{\sigma_m^2 + 3(\tau_m)^2} \quad \text{Ec.21}$$

Resolviendo para la Ec. 20 y 21 con la condición  $\tau_a = 0$ ,  $\sigma_m = 0$ , da como resultado:

$$\sigma_{ea} = \sigma_a = 3.07 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{em} = \sqrt{3}\tau_m = (\sqrt{3})1.20 \text{ MPa} = 4.07 \text{ MPa}$$

Considerando el material Acero Inoxidable 304, el fuerza último será [Anexo B3]:  $S_{ut} = 568 \text{ MPa}$

$$S'_n = 0.5S_{ut} \quad \text{Ec. 22}$$

Sustituyendo el valor del esfuerzo último en la Ec. 22 da como resultado un límite de resistencia de:

$$S'_n = 284 \text{ MPa}$$

Se determinan los factores que se muestran en la tabla 24, que serán aplicados en la teoría de Goodman.

Tabla 24. Factores para análisis de fatiga del eje.

Factor	Valor
Factor superficial y micro estructural: $K_a = 1.58(S_{ut})^{-0.085}$	0.92
Factor de tamaño: $K_b = 1.24(D_{E2})^{-0.107}$	0.89
Factor de carga: $K_c$	0.58
Factor de temperatura: $K_d$	1
Factor de efectos diversos: $K_e$	1

$$S_n = K_a K_b K_c K_d K_e S'_n \quad \text{Ec. 23}$$

Sustituyendo en la Ec. 23 los valores de la tabla 24 y el resultado obtenido al evaluar la Ec. 22 da como resultado un límite de resistencia a la fatiga real de:

$$S_n = 134.87 \text{ MPa}$$

Aplicando teoría de Goodman:

$$\frac{\sigma_{ea}}{S_n} + \frac{\sigma_{em}}{S_{ut}} = \frac{1}{S_f} \quad \text{Ec. 24}$$

Sustituyendo valores en la Ec. 24 da como resultado:

$$S_f = 33$$

El factor de seguridad indica que el eje fabricado de acero inoxidable no presentará falla por fatiga, debido a que está por encima del factor crítico.

### 2.5.10.2 SELECCIÓN DE CHUMACERAS

Una chumacera es un rodamiento montado que se utiliza para dar apoyo a un eje de rotación, en este caso los ejes que transmiten el movimiento a la banda transportadora.

Tabla 25. Datos para selección de chumacera.

<b>DATOS</b>	
Diámetro interno	20 mm
Velocidad de giro	32.64 rpm
Tipo de aplicación	Movimiento de eje de banda transportadora
Tipo de carga	Moderada

Con los datos requeridos según la función y velocidad del eje de transmisión, se selecciona la siguiente chumacera:

Rodamiento UCFL 204/H. [35]



Figura 46. Chumacera. [35]

Tabla 26. Características principales de la chumacera.

<b>CARACTERÍSTICAS</b>	
Capacidad de carga dinámica	12.7 kN
Capacidad de carga estática	6.55 kN
Velocidad límite	6500 rpm
Rosca del prisionero	M6x0.75
Diámetro recomendado para los pernos de fijación	M10
Ancho total de rodamiento	31 mm
Diámetro interno de rodamiento	20 mm
Distancia entre los pernos de fijación	90 mm

En el apartado 2.5.10.1 se muestran las reacciones en las chumaceras, de acuerdo a su valor garantiza que el eje está sometido a una carga dinámica pequeña, y en la tabla 26 se muestra que la chumacera seleccionada puede soportar una alta carga dinámica.

### 2.5.10.3 SELECCIÓN DE PERNOS

La selección se realiza partiendo de los pernos para las chumaceras que serán los más críticos porque están soportando todos los esfuerzos del eje, producidos por la acción de mover toda la carga. La chumacera seleccionada tiene las especificaciones de sus pernos los cuales están analizados para soportar esas cargas de trabajo. [35]

En la tabla 27 se muestran las especificaciones de todos los pernos que requiere la máquina para el llenado de envases.

Tabla 27. Especificaciones de los pernos

Pernos para chumaceras	Tipo de perno	<i>M10 – 1.25 ISO 4.6</i>
	Longitud de perno	<i>25 mm</i>
	Material	<i>Acero inoxidable</i>
Pernos para estructura	Tipo de perno	<i>M8 – 1.25 ISO 5.8</i>
	Longitud de perno	<i>15 mm, 25 mm, 60 mm</i>
	Material	<i>Acero inoxidable</i>

#### 2.5.10.4 ANÁLISIS Y DISEÑO DE TORNILLO DE POTENCIA

El tornillo de potencia tiene la función de ajustar la altura de las boquillas, con el fin de mejorar la eficiencia del proceso de llenado para el cambio de diferentes presentaciones de envases, evitando que los envases puedan ser aplastados y reduciendo el tiempo que tarda el cilindro neumático en subir y bajar las boquillas.

El ajuste de altura se realiza de forma manual girando un par de tuercas.

Para obtener la fuerza de operación del tornillo, se analiza el diagrama de cuerpo libre para las fuerzas que pueden influir como carga para el tornillo de potencia. Ver figura 47.

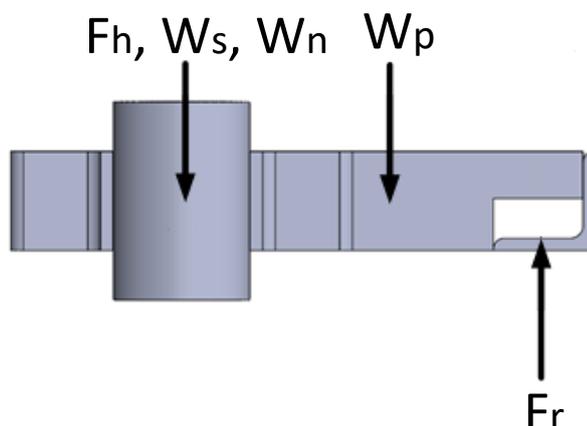


Figura 47. Diagrama de cuerpo libre para fuerza percibida por el tornillo.

La fuerza  $F_r$  se obtuvo del diseño del resorte de las boquillas en el apartado 2.6.6.

$$\sum F = 0$$

$$-F_h + F_r - W_p - W_s - W_n = 0 \quad \text{Ec. 25}$$

Sustituyendo en la Ec. 25 los valores de la Tabla 21, se obtiene la carga que soporta el tornillo de potencia  $F_h$ .

$$-F_h + 181.23 N - 65.23 N - 7.6 N - 2.4 N = 0$$

$$F_h = 106 N$$

Los datos del tornillo de potencia para la determinación de otras variables se presentan en la tabla 28.

Tabla 28. Datos del tornillo de potencia

<b>DATOS DE TORNILLO</b>	
Tipo de rosca	ACME
Diámetro externo del tornillo: $D_T$	0.625 in (15.875 mm)
Coeficiente de fricción: $\mu_T$ (Tornillo de acero lubricado y tuerca de bronce).	0.15
Longitud del tornillo: $L_T$	495 mm
Longitud de la tuerca	38.1 mm
Carga que soporta el tornillo: $F_h$	106 N
Límite elástico acero AISI 304 (tornillo).	310 MPa
Límite elástico bronce fosfórico (tuerca).	193 MPa
Paso del tornillo: $p_T$	3.175 mm
Diámetro de raíz del tornillo: $D_{Tr}$	12.7 mm
Diámetro medio del tornillo: $D_{Tm}$	14.3 mm
Número de hilos: $N_h$	8 hilos/in
Ángulo de flanco: $\alpha_F$	14.5°

Para obtener el paso del tornillo y las demás dimensiones del tornillo de potencia, se detallan las siguientes relaciones que se muestran en la tabla 29 y en la figura 48.

Tabla 29. Resultado del dimensionamiento del tornillo de potencia.

$e = \frac{p_T}{2}$	1.587 mm
Número de hélices	1
$l_T = \text{número de hélices} * p_T$	3.175 mm
$\tan \lambda = \frac{l_T}{\pi D_{Tm}}$	0.0707

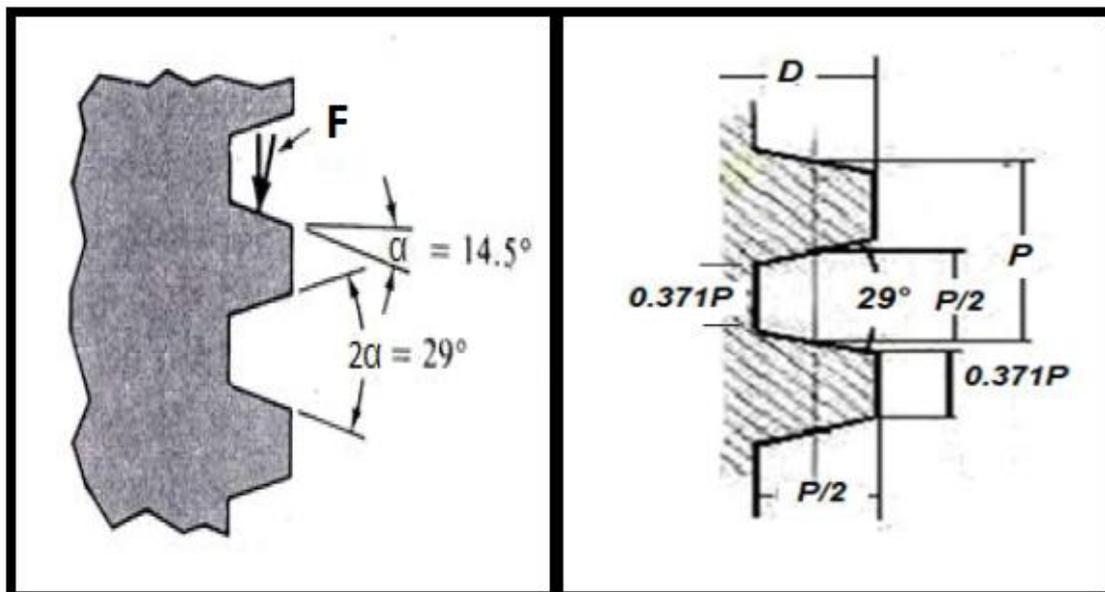


Figura 48. Tornillo de potencia de rosca ACME. [22]

El tornillo de rosca ACME tiene que cumplir la siguiente relación para garantizar que no habrá deslizamiento, como en este caso no está sometido a vibraciones se puede utilizar la inecuación que garantiza que el tornillo es auto asegurante.

$$\mu_T > \tan \lambda * \cos \alpha_F = 0.15 > 0.0684$$

Como la relación anterior se ha cumplido, garantiza que no habrá deslizamiento.

Se determinará el par de torsión que se requiere para hacer girar el tornillo de potencia, así como el esfuerzo cortante nominal en torsión del cuerpo del tornillo de potencia.

$$T_T = \frac{F_h D_T m}{2} \left( \frac{\tan \lambda + \frac{\mu_T}{\cos \alpha_F}}{1 - \frac{\mu_T \tan \lambda}{\cos \alpha_F}} \right) \quad \text{Ec. 26}$$

Sustituyendo valores en la Ec. 26 da como resultado:

$$T_T = 0.173 \text{ N.m}$$

Esfuerzo cortante en torsión.

$$\tau_T = \frac{16 T_T}{\pi D_T r^3} \quad \text{Ec. 27}$$

Sustituyendo valores en la Ec. 27 da como resultado:

$$\tau_T = 0.430 \text{ Mpa}$$

El esfuerzo axial normal nominal en el cuerpo del tornillo debido a la carga  $F_h$ .

$$\sigma_T = - \frac{4 F_h}{\pi \left( \frac{D_T + D_{Tr}}{2} \right)^2} \quad \text{Ec. 28}$$

Sustituyendo valores en la Ec. 28 da como resultado:

$$\sigma_T = -0.661 \text{ MPa}$$

El esfuerzo flexionante en la raíz de la rosca  $\sigma_b$ , siendo la primera rosca en contacto la que estaría recibiendo más fuerza, para este caso  $N_h=1$  (rosca en contacto), y se analiza esta debido a que es la rosca que recibe  $0.38 F_h$  mientras que las demás perciben una fuerza menor.

$$\sigma_b = \frac{6 * 0.38 F_h}{\pi D_{Tr} N_h p_T} \quad \text{Ec. 29}$$

Sustituyendo los valores en la Ec. 29 da como resultado:

$$\sigma_b = 1.91 \text{ MPa}$$

En la tabla 30 se presentan los esfuerzos ortogonales y cortantes para el análisis de la teoría de Von Mises.

Tabla 30. Esfuerzos normales y ortogonales.

<b>Esfuerzos normales ortogonales y los esfuerzos cortantes.</b>			
$\sigma_x$	1.91 MPa	$\tau_{xy}$	0
$\sigma_y$	0	$\tau_{yz}$	0.430 MPa
$\sigma_z$	-0.661 MPa	$\tau_{zx}$	0

Esfuerzo de von Mises:

$$\sigma' = \frac{1}{\sqrt{2}} * \{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)\}^{1/2} \quad \text{Ec. 30}$$

Sustituyendo los valores de la tabla 30 en la Ec. 30 da como resultado:

$$\sigma' = 2.43 \text{ MPa}$$

$$\text{Factor de Seguridad} = \frac{\text{Límite Elástico del material}}{\text{Esfuerzo máximo de Von Mises}} \quad \text{Ec. 31}$$

Sustituyendo los valores en la Ec. 31, se puede determinar el factor de seguridad del tornillo de potencia y de la tuerca del tornillo de potencia.

El factor de seguridad para el tornillo de potencia:

$$S_f = \frac{310 \text{ MPa}}{2.35 \text{ MPa}} = 127.57$$

Factor de seguridad para la tuerca del tornillo de potencia:

$$S_f = \frac{193 \text{ MPa}}{2.35 \text{ MPa}} = 79.42$$

El tornillo de potencia y la tuerca resistirán las cargas a las que serán sometidos, debido a que presentan factores de seguridad bastante altos, superando el factor de seguridad crítico.

### 2.5.11 ESTRUCTURA SOPORTANTE.

La estructura soportante es la que soporta todos los elementos como lo son el portaboquillas, la banda transportadora, el tanque de rebalse, colector y los demás elementos, esta estructura será de acero inoxidable AISI 304 ya que estará en contacto con líquidos, dicha estructura tiene que ser resistente a todas estas condiciones y presentar gran resistencia a la corrosión.

El perfil estructural utilizado en la estructura es tubo cuadrado de 1.5 in, chapa 14, será soldado con soldadura SMAW y se utilizará el electrodo E308L.

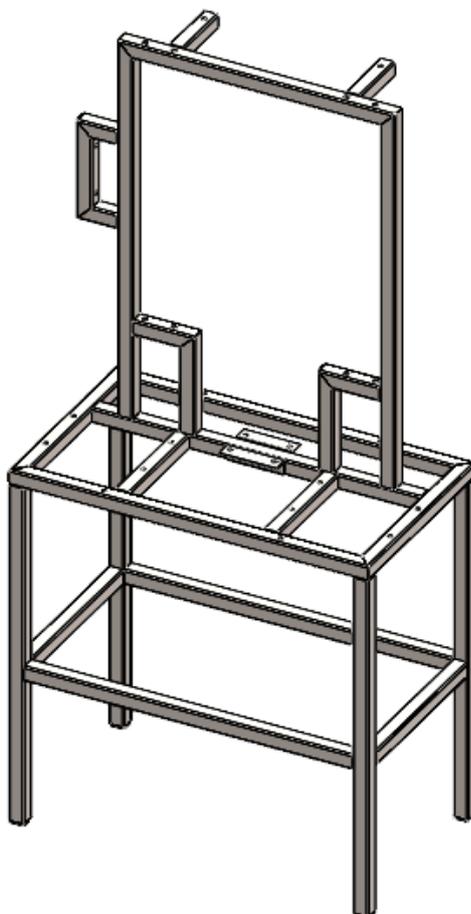


Figura 49. Estructura soportante.

## 2.5.12 SELECCIÓN DE PERNO DE NIVELACIÓN

Se encargan de darle el soporte a toda la estructura de la máquina y permiten la nivelación de la estructura por si existe alguna irregularidad en la superficie donde se coloque la máquina. Ver figura 50 y 51.

Tabla 31. Datos del perno de nivelación

DATOS	
D	60 mm
d	M12
L	87 mm
l	68 mm
l2	19 mm
S	24 mm
S1	6 mm
Carga estática Máx.	5000 N

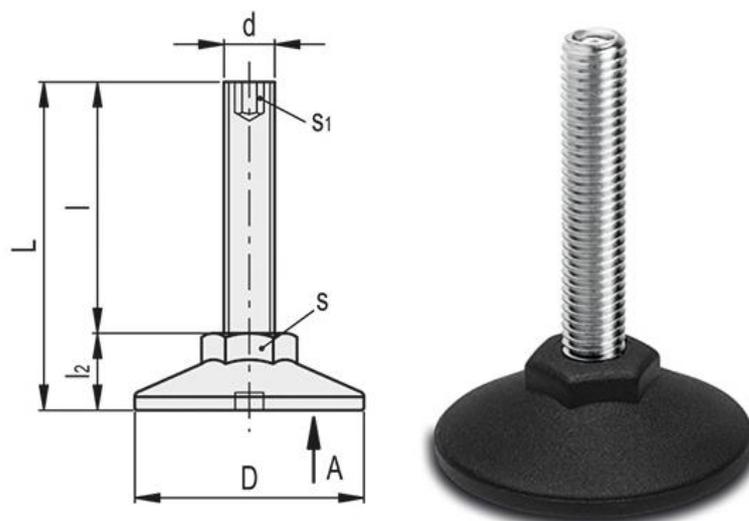


Figura 50. Dimensiones del perno de nivelación



Figura 51. Pernos de nivelación.

## 2.6 DISEÑO DEL SISTEMA HIDRÁULICO

El sistema hidráulico para la máquina llenadora, transporta el líquido a envasar desde un recipiente de almacenamiento hasta la salida de las boquillas, para efectuar el posterior llenado según las condiciones que se requieran, para esta tarea se deben de conocer las variables como el caudal y la presión de trabajo de la máquina.

### 2.6.1 CAUDAL Y CARGA DINÁMICA

El análisis en este apartado comprende desde el cálculo del caudal necesario que se estará suministrando al sistema y la carga dinámica total de la bomba ( $H_B$ ), ya que esta será la energía necesaria a aplicarle al sistema para mover el líquido a las condiciones que se requieren, teniendo en cuenta que el líquido para las condiciones del diseño hidráulico es agua.

El cálculo de caudal se realiza tomando de referencia un envase de 1 L. La tabla 32 presenta las variables que permiten el diseño del sistema hidráulico.

Tabla 32. Variables para cálculo de caudal.

Símbolo	Descripción	Valor
$V_B$	Volumen del envase	1 L
$N_b$	Número de boquillas	4
$t_l$	Tiempo de llenado	5 s

$$Q_u = \frac{V_B}{t_l} \left[ \frac{\text{Volumen del envase}}{\text{tiempo de llenado}} \right] \quad \text{Ec. 32}$$

$$Q_s = N_b Q_u \quad \text{Ec. 33}$$

La Ec. 32 permite determinar el caudal unitario:

$$Q_u = 0.2 \left[ \frac{L}{s} \right]$$

La Ec. 33 permite determinar el caudal del sistema:

$$Q_s = 0.8 \left[ \frac{L}{s} \right] = 0.0008 \text{ m}^3/s$$

En la tabla 33 se presentan los tiempos de llenado según la capacidad de los envases.

Tabla 33. Tabla de relaciones de capacidad vs tiempo de llenado.

Volumen (L)	Tiempo de llenado (s)
0.25	1.25
0.50	2.50
1.00	5.00
1.50	7.50
2.00	10.00
2.50	12.50
3.00	15.00
3.79	18.95

Ecuación de Bernoulli:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 + H_B = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 + H_{ps} \quad \text{Ec. 34}$$

Donde  $H_{ps}$  son las pérdidas del sistema.

Para efectos de cálculos se considera que el recipiente de donde la bomba está extrayendo el agua estará presión atmosférica y será el punto 1, además consideramos que a la salida de la boquilla también estará sometido a presión atmosférica y será el punto 2, debido a que se está analizando cuando está abierta. Ver figura 52.

Condiciones iniciales conocidas:

$$P_1 = P_{atm} \quad \text{Ec. 35}$$

$$z_1 = 0$$

$$v_1 = 0$$

Condiciones finales conocidas:

$$P_2 = P_{atm} \quad \text{Ec. 36}$$

$$z_2 = 1.25 \text{ m}$$

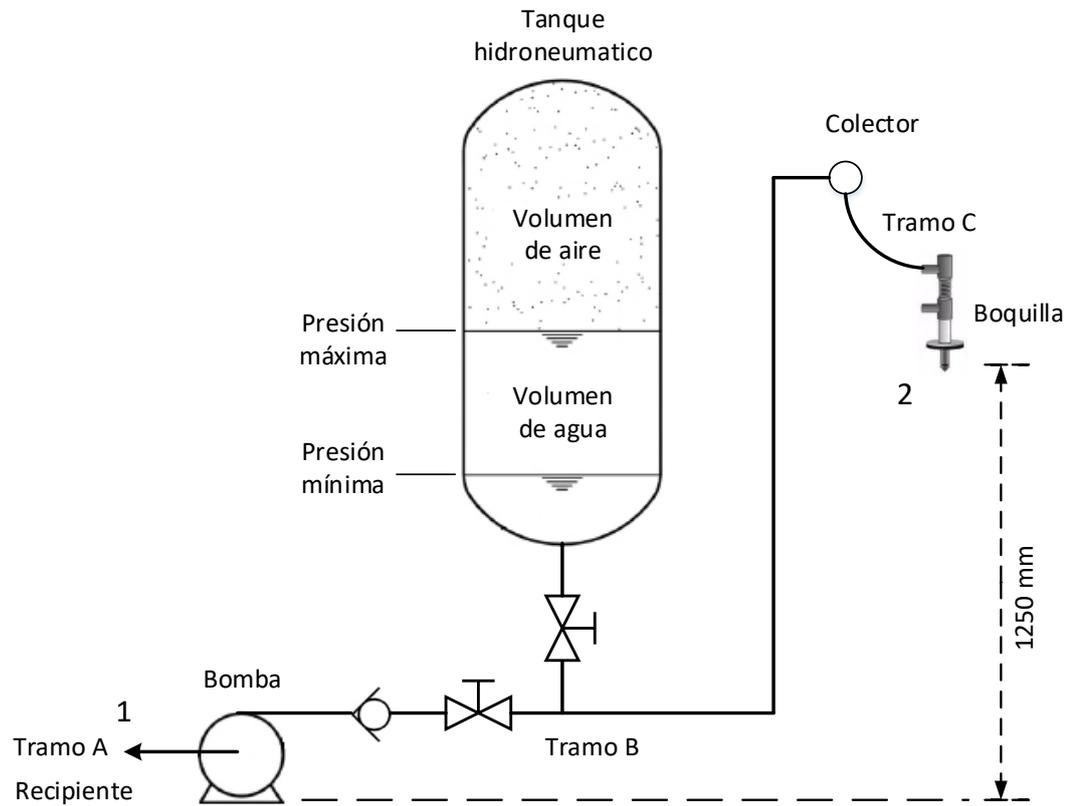


Figura 52. Esquema de representación del sistema hidráulico de llenado.

Después de simplificar la Ec. 34 queda:

$$H_B = z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + H_{ps} \quad \text{Ec. 37}$$

$$v = \frac{Q}{A} \quad \text{Ec. 38}$$

$$A = \frac{\pi}{4} d^2 \quad \text{Ec. 39}$$

Sustituyendo Ec. 38 y 39 en la Ec. 37, el término de la velocidad queda de la siguiente manera:

$$\frac{v^2}{2g} = \frac{8Q^2}{g\pi^2 d^4} \quad \text{Ec. 40}$$

Las pérdidas primarias en las tuberías se calculan mediante la ecuación de Darcy-Weibach:

$$H_f = \frac{fL}{2gD} v^2 = \frac{8fLQ^2}{g\pi^2 d^5} \quad \text{Ec. 41}$$

Donde  $H_f$  son las pérdidas primarias.

Las pérdidas secundarias en accesorios también se representan como:

$$H_k = \frac{Kv^2}{2g} = \frac{KQ^2}{2gA^2} \quad \text{Ec. 42}$$

Donde  $H_k$  representa las pérdidas secundarias.

$$H_p = H_f + H_k \quad \text{Ec. 43}$$

Simplificando la Ec. 34 queda una expresión de la siguiente forma:

$$H_B = z_2 + \frac{v^2}{2g} + H_{p,A} + H_{p,B} + H_{p,C} + H_{p,D} \quad \text{Ec. 44}$$

Usaremos la ecuación de Colebrook-White para obtener ( $f$ ) el factor de fricción de Darcy.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left( \frac{\epsilon}{3.7D} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right) \quad \text{Ec. 45}$$

También utilizaremos la fórmula para obtener el número de Reynolds.

$$Re = \frac{4Q}{v\pi D} \quad \text{Ec. 46}$$

Viscosidad cinemática del agua a 20 °C:  $1.007 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ .

En la tabla 34 se terminan mediante la Ec. 45 y 46 los factores de Darcy, en la tabla 35 se terminan las longitudes equivalentes para los accesorios del sistema, en la tabla 36 se presentan las longitudes de tubería de acuerdo al tramo y en la tabla 37 se presentan los coeficientes de resistencia.

Tabla 34. Factores de fricción de Darcy.

Tabla de factores de fricción de Darcy						
Tramos	D(mm)	Área (m <sup>2</sup> )	ε(mm)	Q(m <sup>3</sup> /s)	Re	f
Tubería A	35.05	9.648x10 <sup>-4</sup>	0.002	0.0008	28859.01	0.0238
Tubería B	26.64	5.573x10 <sup>-4</sup>	0.002	0.0008	37969.63	0.0224
Tubería C	15.8	1.96x10 <sup>-4</sup>	0.002	0.0002	16004.92	0.0276
Boquilla	6	2.827x10 <sup>-5</sup>	0.045	0.0002	42146.29	0.0361

Tabla 35. Longitud equivalente de accesorios del sistema de tuberías.

Longitud equivalente de accesorios de tubería				
Accesorio	D <sub>int</sub> (mm)	Cantidad	Le/D	Le(m)
Válvula de compuerta	35.05	1	150	5.25
Codo 90° Estándar	26.64	4	30	0.799
Válvula de compuerta	26.64	2	150	3.996
Tee estándar	26.64	1	20	0.532
Válvula check	26.64	1	150	3.996

Tabla 36. Longitud de tramos de tuberías.

Longitud de tuberías	
Tramos	Longitud(m)
A	3
B	4
C	1
D (boquilla)	0.14

Tabla 37. Coeficientes de resistencia.

Coeficientes de resistencia					
Accesorios	Pérdidas	D(mm)	Área(m <sup>2</sup> )	Q(m <sup>3</sup> /s)	(K)
Tanque	Entrada de tubería.	35.05mm	9.648x10 <sup>-4</sup>	0.0008	0.25
Colector	Ampliación súbita	26.64	5.573x10 <sup>-4</sup>	0.0008	1
	Entrada de boquillas	15.8	1.96x10 <sup>-4</sup>	0.0002	0.3
Boquillas	Contracción súbita	6	2.827x10 <sup>-5</sup>	0.0002	0.35

$$H_p = \frac{KQ^2}{2gA^2} + \frac{8fLQ^2}{g\pi^2 d^5} \quad \text{Ec. 47}$$

Se calculan las pérdidas del sistema de los 4 tramos, sustituyendo valores en la Ec. 47.

$$H_{p,A} = \frac{0.25 * (0.0008 \text{ m}^3/\text{s})^2}{2 * 9.81 \text{ m}/\text{s}^2 * (9.648 * 10^{-4} \text{ m}^2)^2} + \frac{8 * 0.0238 * (5.25 \text{ m} + 3 \text{ m}) * (0.0008 \text{ m}^3/\text{s})^2}{9.81 \text{ m}/\text{s}^2 * \pi^2 * (0.03505 \text{ m})^5} = 0.205 \text{ m}$$

$H_{p,B}$

$$= \frac{1 * (0.0008 \text{ m}^3/\text{s})^2}{2 * 9.81 \text{ m}/\text{s}^2 * (5.573 * 10^{-4} \text{ m}^2)^2} + \frac{8 * 0.0224 * (0.799 \text{ m} * 4 + 3.996 \text{ m} * 3 + 0.532 \text{ m} + 4 \text{ m}) * (0.0008 \text{ m}^3/\text{s})^2}{9.81 \text{ m}/\text{s}^2 * \pi^2 * (0.02664 \text{ m})^5} = 1.84 \text{ m}$$

$$H_{p,C} = \frac{0.3 * (0.0002 \text{ m}^3/\text{s})^2}{2 * 9.81 \text{ m}/\text{s}^2 * (1.96 * 10^{-4} \text{ m}^2)^2} + \frac{8 * 0.0276 * (1 \text{ m}) * (0.0002 \text{ m}^3/\text{s})^2}{9.81 \text{ m}/\text{s}^2 * \pi^2 * (0.0158 \text{ m})^5} = 0.109 \text{ m}$$

$$H_{p,D} = \frac{0.35 * (0.0002 \text{ m}^3/\text{s})^2}{2 * 9.81 \text{ m}/\text{s}^2 * (2.827 * 10^{-5} \text{ m}^2)^2} = 0.892 \text{ m}$$

La boquilla se considera como un accesorio por lo que solo tendría pérdidas secundarias.

Se analiza la carga cinética a la salida de la boquilla sustituyendo valores en la Ec. 40:

$$\frac{v^2}{2g} = \frac{(0.0002 \text{ m}^3/\text{s})^2}{2 * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * (2.827 \times 10^{-5} \text{ m}^2)^2} = 2.55 \text{ m}$$

La carga cinética que se necesita para que el fluido salga según las condiciones requeridas para el llenado es de 2.55 m.

Ahora hacemos toda la sumatoria para el resultado de la carga dinámica total  $H_B$  sustituyendo valores en la Ec. 44 quedando de la siguiente manera:

$$H_B = 1.25 \text{ m} + 2.55 \text{ m} + 0.205 \text{ m} + 1.84 \text{ m} + 0.109 \text{ m} + 0.892 \text{ m}$$

$$H_B = 6.85 \text{ m}$$

Esta es la energía total que la bomba tiene que suplir para vencer todas las pérdidas y proveerle la energía cinética necesaria al fluido para llenar los envases en los tiempos establecidos.

Se calcula la bomba considerando que esta tiene una eficiencia del 70%.

$$\gamma = 9810 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} \quad Q_s = 0.0008 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad H_B = 6.85 \text{ m. c. a}$$

$$P_{bom} = \frac{\gamma Q_s H_B}{\eta} \quad \text{Ec. 48}$$

Sustituyendo en la Ec. 65 da como resultado una potencia en la bomba de:

$$P_{bom} = 76.80 \text{ Watts} = 0.103 \text{ hp}$$

Una bomba de 0.5 hp bastaría para suplir la energía necesaria para el líquido, pero estaría apagándose y encendiéndose constantemente cuando se tenga que llenar los envases, por ejemplo, para llenar envases de 1 L, la cantidad

de veces que se enciende y apaga en un minuto sería de 7 veces según la cantidad de ciclos por minuto.

Esto podría provocar sobrecalentamiento al motor de la bomba y posteriormente se reduzca la vida útil de la misma por eso necesitamos un sistema que ayude a reducir el tiempo de operación de la bomba.

Análisis del tanque de almacenamiento elevado:

Su diseño se realiza partiendo de la Ec. 34 o ecuación de Bernoulli y de la Ec. 47 que incluye las pérdidas primarias y secundarias en los tramos de tubería.

Reduciendo la Ec. 34 para el análisis del tanque elevado queda de la siguiente manera:

$$z_1 = z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + H_{p,B} + H_{p,C} + H_{p,D} \quad \text{Ec. 49}$$

Dónde:  $z_1$ : altura del tanque elevado

$z_2$ : altura de la boquilla

$v_2$ : velocidad del líquido a la salida en la boquilla

$H_p$ : representa las pérdidas en cada tramo de tubería

El tramo B es desde el tanque elevado hasta el colector, tramo C es desde el colector hasta la boquilla y el tramo D es considerada como la boquilla.

Efectuando el análisis de la Ec. 49 el valor que cambia son las pérdidas en el tramo B, debido a que se incluye un mayor tramo de tubería, dando como resultado un  $z_1$  un valor de 6.4 m, lo que significa que para obtener las mismas condiciones de llenado se requiere colocar un tanque elevado a la altura  $z_1$ .

En conclusión, no es rentable instalar un tanque elevado debido a que es un gasto excesivo para la construcción de la base estructural sumándole el costo del mismo tanque elevado, además resultaría más difícil el efectuar mantenimientos y por su estructura de gran tamaño no puede ser cambiado de lugar en caso de ser requerido.

## 2.6.2 DISEÑO DE TANQUE HIDRONEUMÁTICO

Un tanque hidroneumático puede verse como una bolsa de aire. El objetivo al dimensionar un tanque hidroneumático es hacer que la bolsa de aire sea lo suficientemente grande para que cuando se ponga la cantidad de agua deseada en el tanque, el aire no se comprima a una presión mayor que la del diseño del sistema. El primer paso para dimensionar un tanque hidroneumático es determinar la cantidad de agua que el tanque deberá suministrar durante cualquier ciclo dado. Ver figura 53.

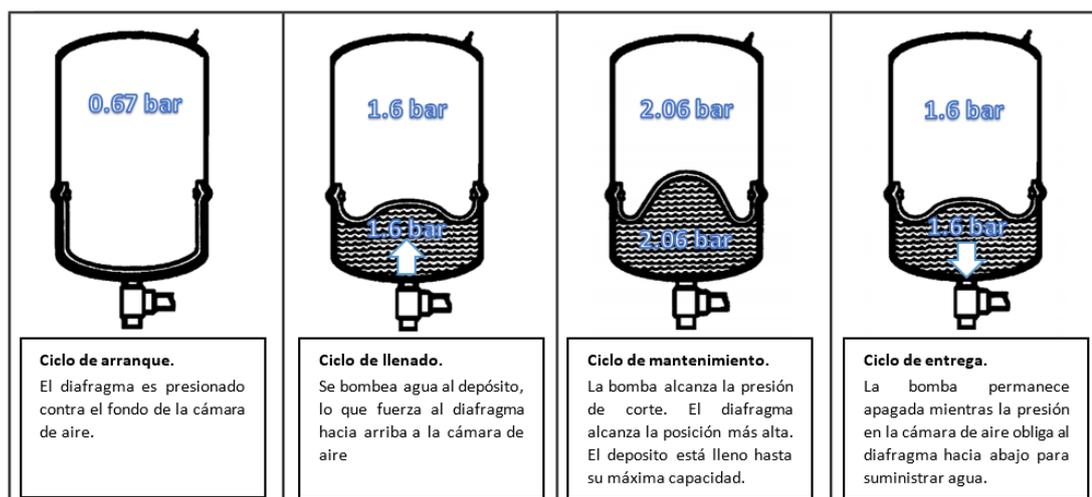


Figura 53. Funcionamiento del tanque hidroneumático.

Para dimensionar el tanque hidroneumático se debe determinar el caudal de bombeo a partir del caudal del sistema, se considera que la bomba debe suministrar un caudal que permita llenar el tanque cuando este se encuentre vacío y al mismo tiempo entregar el caudal requerido para efectuar el llenado, se dimensiona para un caudal de 250% mayor al caudal del sistema para suplir las condiciones, teniendo en cuenta que ese caudal permita un llenado más rápido del tanque.

El caudal del sistema se determinó en el apartado 2.6.1.

$$Q_b = 2.5Q_s \quad \text{Ec. 50}$$

Resolviendo la Ec. 50 da como resultado:

$$Q_b = 0.002 \text{ (m}^3\text{/s)}$$

Otra variable a ser seleccionada es el máximo de arranques que tiene que realizar la bomba, y según recomendación para instalaciones que no demandan mucha potencia.

$$\text{número de arranques} = 12 \text{ arranques / 1 hora}$$

Posteriormente se obtiene el tiempo del intervalo de operación del conjunto motor bomba- tanque hidroneumático.

$$t_i = \frac{1}{12 \frac{\text{arranques}}{h}} = \frac{1}{12} h = 5 \text{ min}$$

A continuación, se presenta el conjunto de ecuaciones a utilizar en el apartado de diseño del tanque hidroneumático.

$$f_q = \frac{Q_b}{Q_s} \quad \text{Ec. 51}$$

$$t_b = \frac{t_i}{f_q} \quad \text{Ec. 52}$$

$$t_n = t_i - t_b \quad \text{Ec. 53}$$

$$V_{ut} = Q_s * t_i \left(1 - \frac{1}{f_q}\right) \quad \text{Ec. 54}$$

Relación de caudales: Resolviendo para la Ec. 51.

$$f_q = \frac{0.002 \text{ m}^3/\text{s}}{0.0008 \text{ m}^3/\text{s}} = 2.5$$

Se calcula el tiempo que la bomba pasará encendida a partir de la Ec. 52:

$$t_b = \frac{5 \text{ min}}{2.5} = 2 \text{ min}$$

Se calcula el tiempo que la bomba pasará apagada a partir de la Ec. 53:

$$t_n = 3 \text{ min}$$

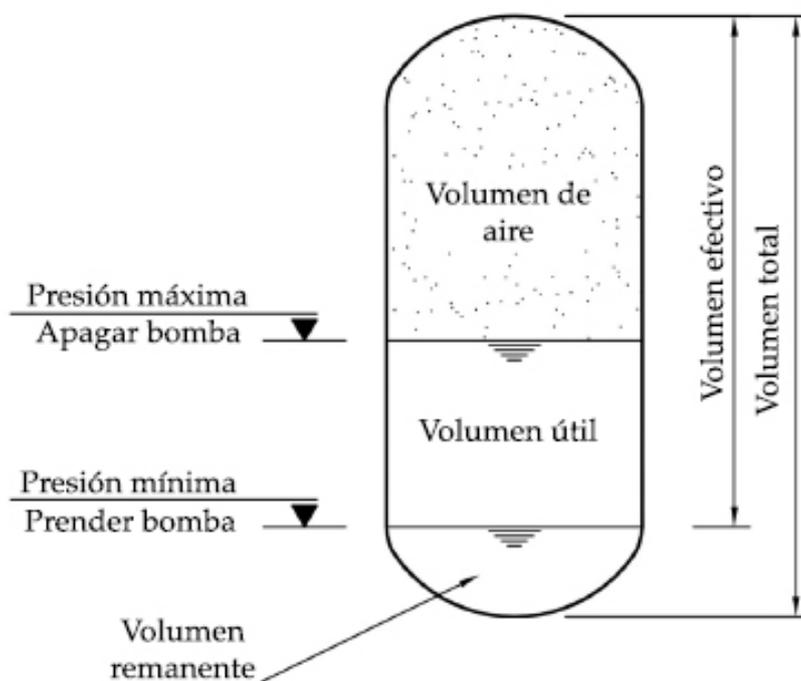


Figura 54. Descripción del tanque hidroneumático.

Se calcula para el volumen útil del tanque hidroneumático a partir de la Ec. 54:

$$V_{ut} = 0.144 \text{ m}^3 = 38.04 \text{ gal}$$

Para calcular el volumen efectivo se necesitan las presiones del sistema.

La  $P_{min}$  la obtenemos de la altura manométrica ganada por el fluido a su paso por la bomba.

$$P_{min} = 6.85 \text{ m. c. a} * \frac{1 \text{ bar}}{10.2 \text{ m. c. a}} = 0.67 \text{ bar}$$

La presión máxima se obtiene según recomendación de los fabricantes:

$$P_{max} = P_{min} + 1.39 \text{ bar} \quad \text{Ec. 55}$$

Evaluando la Ec. 55 da como resultado:

$$P_{max} = 2.06 \text{ bar}$$

La presión atmosférica en el país oscila por el valor de 1.011 bar

$$\frac{V_{ef}}{V_{ut}} = \frac{P_{max} + P_{atm}}{P_{max} - P_{min}} \quad \text{Ec. 56}$$

Evaluando la Ec. 56 da como resultado:

$$\frac{V_{ef}}{V_{ut}} = 2.21$$

Volumen efectivo del tanque:

$$V_{ef} = V_{ut} * 2.21 \quad \text{Ec. 57}$$

Evaluando la Ec. 57 da como resultado:

$$V_{ef} = 0.318 \text{ m}^3 = 84.06 \text{ gal}$$

Volumen remanente del tanque:

$$V_{rem} = 0.25 * V_{ef} \quad \text{Ec. 58}$$

Evaluando la Ec. 58 da como resultado:

$$V_{rem} = 21.01 \text{ gal} = 0.0795 \text{ m}^3$$

Volumen total del tanque hidroneumático:

$$V_{total} = V_{ef} + V_{rem} \quad \text{Ec. 59}$$

Evaluando la Ec. 59 da como resultado:

$$V_{total} = 0.398 \text{ m}^3 = 105.07 \text{ gal}$$

El tanque hidroneumático recomendado según las capacidades que se manejan en el mercado, sería de 120 galones de grado alimenticio de acuerdo a la aplicación.

### 2.6.3 SELECCIÓN DE LA BOMBA PARA TANQUE HIDRONEUMÁTICO

Para la selección de la bomba se considera una bomba de grado alimenticio para cumplir con los estándares de higiene.

De acuerdo a los datos obtenidos del diseño del tanque hidroneumático, la bomba deberá suministrar un caudal  $Q_b = 0.002 \text{ m}^3/s$  y tendrá una altura dinámica total de:

$$H_B = 2.06 \text{ bar} * \frac{10.2 \text{ m. c. a}}{1 \text{ bar}} = 21.012 \text{ m. c. a}$$

$$\gamma = 9810 \text{ N/m}^3 \quad \eta = 70\%$$

Evaluando en la Ec. 48 da como resultado:

$$P_{bom} = 588.94 \text{ Watts} = 0.79 \text{ hp}$$

La bomba que debe tener la instalación con el tanque hidroneumático es de 1 hp tipo centrifuga, para cumplir con los requerimientos demandados.

## 2.6.4 PRESIÓN EN BOQUILLAS

El sistema tendrá una presión máxima de 2.06 bar, cuando se cierra la boquilla todo el sistema estará sometido a esa presión, por eso se debe determinar la precarga en los resortes de las boquillas, para que sea lo suficientemente grande para evitar que la presión en el sistema pueda abrir las boquillas.

$$P_{sistema} = P_{max} = 2.06 \text{ bar} = 206000 \text{ Pa}$$

El área de la boquilla es la que se encuentra entre el diámetro exterior del tubo interno y el diámetro interior del tubo externo, como se muestra en la Figura 55.

$$A = \frac{\pi}{4} * (D_{bi}^2 - D_{be}^2) \quad \text{Ec. 60}$$

Evaluando en la Ec. 60 da como resultado un área de:

$$A = \frac{\pi}{4} * ((0.011 \text{ m})^2 - (0.008 \text{ m})^2) = 4.477 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

Fuerza debido a la presión máxima en las boquillas:

$$F = P_{sistema} * A \quad \text{Ec. 61}$$

Evaluando en la Ec. 61 da como resultado:

$$F = 9.22 \text{ N}$$

Esa es la fuerza resultado de la presión que se ejerce en las boquillas cuando se encuentran cerradas.

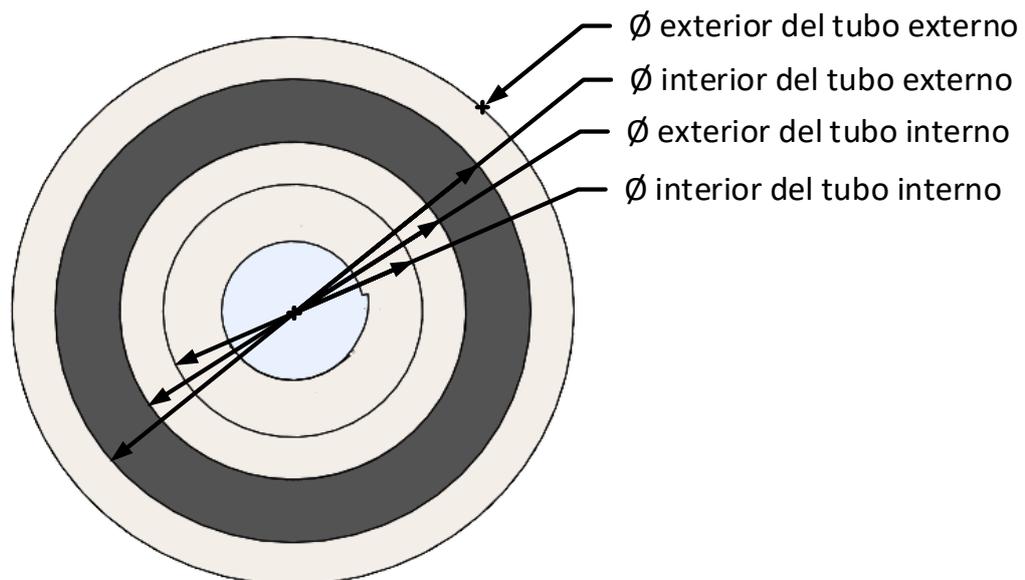


Figura 55. Diámetros de la boquilla.

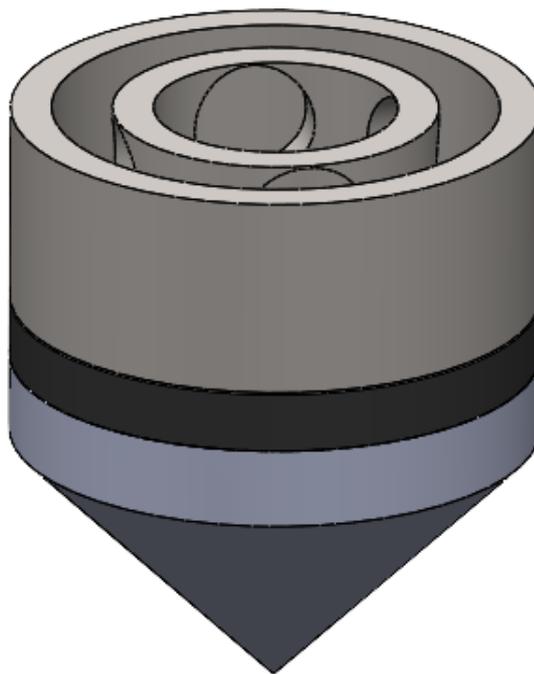


Figura 56. Extremo a la salida de la boquilla.

### 2.6.5 ANÁLISIS INTERNO DE LA BOQUILLA.

Se analiza el interior de la boquilla ya que puede ser una parte crítica, porque ahí se presentan los mayores esfuerzos a los que estará sometida la boquilla producto de la presión que le ejerce el líquido, la boquilla presenta una geometría bastante compleja por lo que se utiliza un software CAE, que permita realizar un análisis de elementos finitos para poder obtener un valor más real de los esfuerzos a los que está sometida la parte interna de la boquilla.

El software hace el análisis y considera todas las variables involucradas para la presentación de los resultados.

Para la realización del estudio se tiene en cuenta los resultados obtenidos en el apartado de 2.6.4 de presión en boquillas, donde se detalló que la boquilla estará sometido a una presión máxima de  $P_{max} = 2.06 \text{ bar}$ , partiendo de esa presión se analiza la parte interna de la boquilla. Ver figura 57.

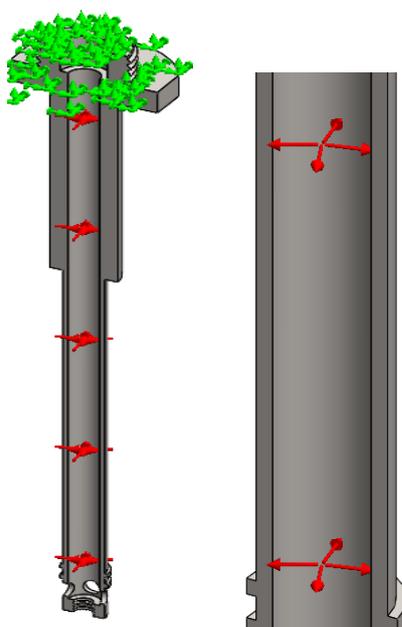


Figura 57. Fijación de parámetros de estudio.

Para obtener un mejor resultado se realiza un mallado fino, mientras más fina es la malla los resultados obtenidos serán más precisos. Ver figura 58.

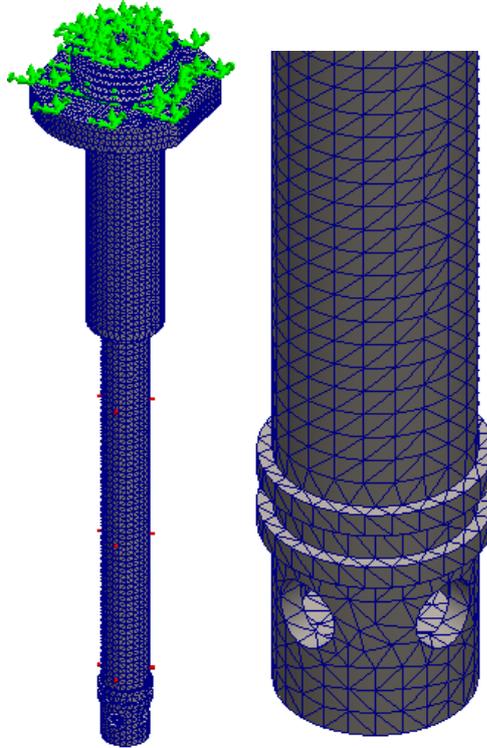


Figura 58. Mallado de la boquilla.

Se efectúa el estudio en el software para obtener los resultados, el valor de mayor importancia es el factor de seguridad, debido que ese nos demuestra si el diseño cumple con las exigencias y no fallará al ser sometido a esas presiones sobre las paredes internas de la boquilla.

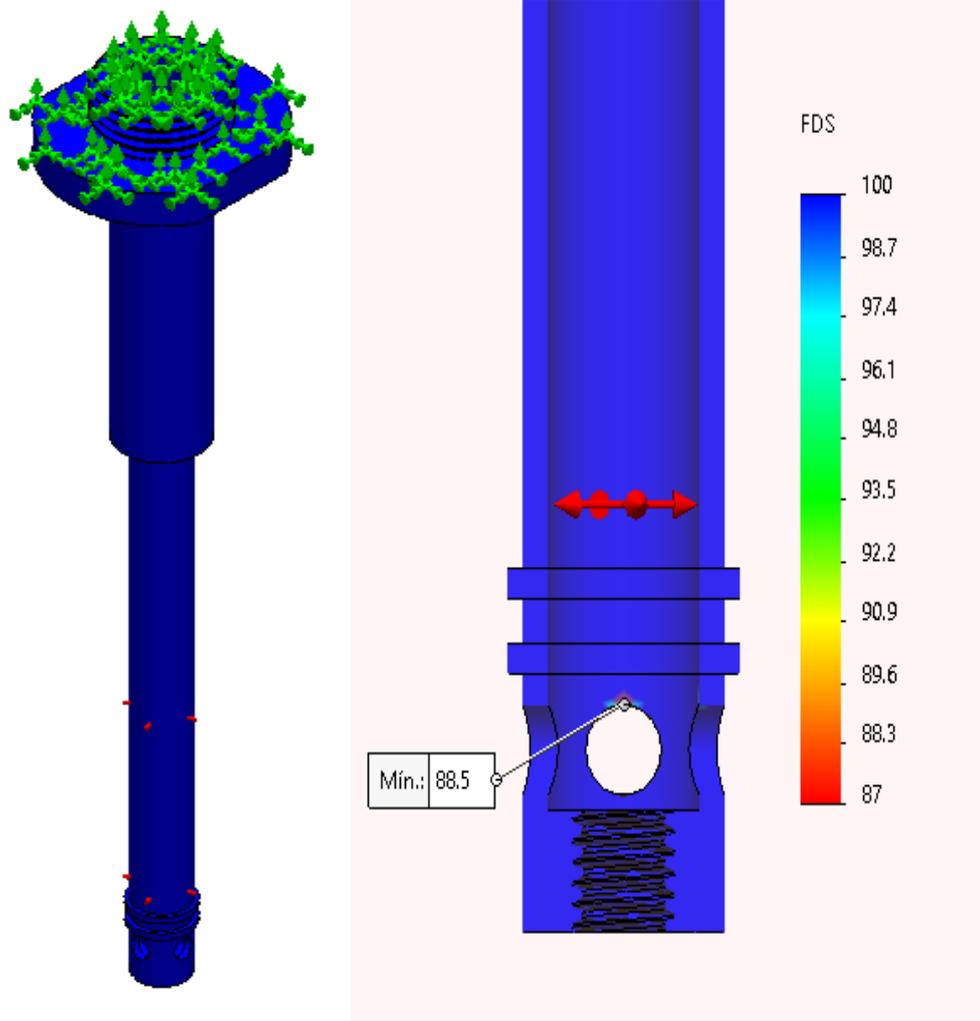


Figura 59. Resultados de la parte más crítica de la boquilla.

Según los resultados del estudio que se le realizó a la boquilla mediante el software CAE, el factor de seguridad mínimo que se presenta en el interior de la boquilla es de 88.5, por lo que se puede concluir que la boquilla no presentará falla al estar sometida a esas exigencias de trabajo. Ver figura 59.

## 2.6.6 DISEÑO DEL RESORTE DE LAS BOQUILLAS

Se analiza el resorte en base a los algunos criterios empleados en el diseño en cuanto a dimensionamiento, para determinar otras variables y así verificar si estos resistirán la operación a la que estarán sometidos. Ver tabla 38 con los datos del resorte.

La fuerza de precarga del resorte está definida según la fuerza producto de la presión del líquido que experimenta la boquilla en su interior, se establece una fuerza de precarga del resorte mayor a esa fuerza producto de la presión, para evitar que la boquilla pueda abrirse o evitar que haya filtración de agua cuando la boquilla está cerrada.

Tabla 38. Datos para análisis de resorte de boquillas.

<b>DATOS DE RESORTE</b>	
Fuerza máxima de que resiste una botella de PET. [4]	$12 \text{ lb} = 53.38 \text{ N}$
Fuerza de operación del resorte	$F_o = 10 \text{ lb} = 44.48 \text{ N}$
Precarga del resorte	$F_i = 3.15 \text{ lb} = 14 \text{ N}$
Diámetro del alambre	$D_r = 1.6 \text{ mm}$
Material de alambre	Acero inoxidable 304
Módulo de rigidez.[Anexo B6]	$G = 69 \text{ GPa}$
Diámetro exterior de la boquilla	$D_{be1} = 13 \text{ mm}$
Deformación de operación	$\delta_o = 22 \text{ mm}$
Longitud libre	$L_r = 36 \text{ mm}$

Para la estimación de la resistencia de tensión mínima del alambre de acero inoxidable se tienen las variables:  $A = 1867 \text{ MPa} \cdot \text{mm}^m$ ,  $m = 0.146$ , estas son tomadas de la tabla en el Anexo B7.

De acuerdo a los datos presentados se calculan otros parámetros del resorte. Ver tabla 39.

Tabla 39. Resultados de parámetros del análisis de resorte de boquillas.

Diámetro medio del resorte	$D_{rm} = D_{be1} + D_r + \text{holgura}$	$D_{mr} = 16.6 \text{ mm}$
Diámetro exterior del resorte	$D_{re} = D_{rm} + D_r$	$D_{er} = 18.2 \text{ mm}$
Diámetro interior del resorte	$D_{ri} = D_{rm} - D_r$	$D_{ir} = 15 \text{ mm}$
Índice del resorte	$i = \frac{D_{rm}}{D_r}$	$i = 10.375$
Numero de espiras ( $N_a$ )	$N_a = \frac{\delta_o G D_r}{8 F_o i^3}$	$N_a = 6$
Constante del resorte	$k = \frac{G D_r}{8 i^3 N_a}$	$k = 2059.51 \text{ N/m}$
Deformación de Precarga	$\delta_i = \frac{F_i}{k}$	$\delta_i = 6.80 \text{ mm}$

Se toman los extremos del resorte como extremos planos y esmerilados para los resortes, debido a que en ese tipo de extremos se distribuye de mejor forma la carga.

En base al tipo de extremos definido por medio de la tabla del Anexo B8 podemos determinar otros parámetros del resorte como el número de espiras totales, la longitud de cierre y el paso. Ver tabla 40.

Tabla 40. Resultados de parámetros de análisis de resorte.

Número de espiras totales	$N_t = N_a + 1$	$N_t = 7$
Longitud sólida/cierre	$L_s = D_r N_t$	$L_s = 11.2 \text{ mm}$
Paso	$p_r = \frac{L_r}{(N_a + 1)}$	$p_r = 5.14 \text{ mm/espiras}$
Esfuerzo ultimo	$S_{ut} = \frac{A}{D_r^m}$	$S_{ut} = 1743.18 \text{ MPa}$
Coeficiente de curvatura	$K_B = \frac{4i + 2}{4i - 3}$	$K_B = 1.13$

El análisis de fatiga se da por la aplicación continua de la fuerza de precarga y de operación. Ver resultados de análisis en la tabla 41.

Tabla 41. Resultados de análisis de fatiga del resorte de las boquillas.

Fuerza alternante	$F_a = \frac{F_{max} - F_{min}}{2}$	$F_a = 15.24 N$
Fuerza media	$F_m = \frac{F_{max} + F_{min}}{2}$	$F_m = 29.24 N$
Esfuerzo alternante	$\tau_a = K_B \frac{8F_a D_{rm}}{\pi D_r^3}$	$\tau_a = 177.71 MPa$
Esfuerzo medio	$\tau_m = K_B \frac{8F_m D_{rm}}{\pi D_r^3}$	$\tau_m = 340.95 MPa$
Límite de Resistencia	$S'n = 0.5S_{ut}$	$S'n = 871.59 MPa$
	$K_a = 1.58S_{ut}^{-0.085}$	$K_a = 0.838$
	$K_b$	$K_b = 1$
	$K_c$	$K_c = 0.58$
	$K_d$	$K_d = 1$
	$K_e$	$K_e = 1$
Límite de Resistencia	$S_n = K_a K_b K_c K_d K_e S'n$	$S_n = 423.53 MPa$
Teoría de fatiga de Goodman		$\frac{\tau_a}{S_n} + \frac{\tau_m}{S_{ut}} = \frac{1}{S_f}$
Factor de seguridad		$S_f = 1.62$

Como el factor de seguridad para fatiga supera el valor crítico de 1, garantiza que el resorte cumple y que no fallará por fatiga.

El resorte se deformará 22 mm incluyendo la precarga, sin considerar la precarga se deforma 15.2 mm, como el resorte inicialmente estará precargado se medirá la deformación del resorte sin considerar la precarga, y como para abrir las boquillas solo se necesita una deformación de 15 mm (apertura óptima para las boquillas), por tanto, se regularán por medio del tornillo de potencia una deformación que garantice los 15 mm sin considerar la precarga. Ver figura 60.

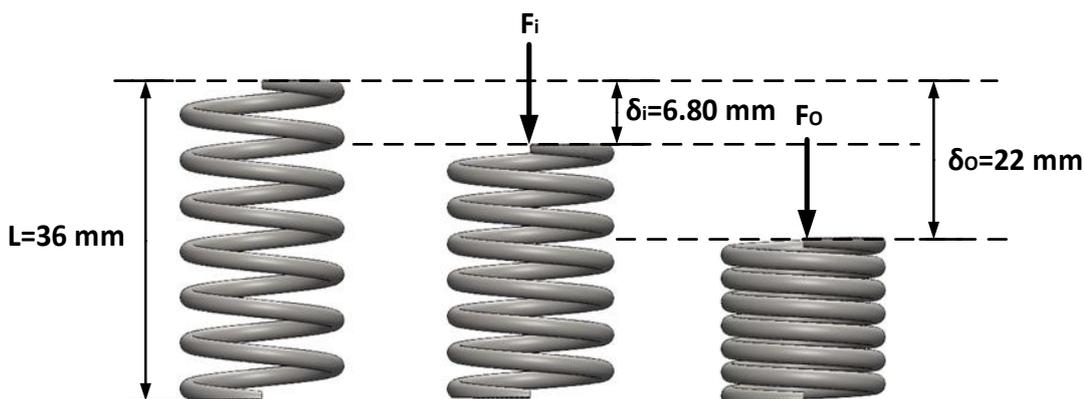


Figura 60. Resorte de boquilla.

Análisis de pandeo para el resorte de boquilla.

$$\frac{\delta_o}{L_r} = \frac{22\text{ mm}}{36\text{ mm}} = 0.61 \tag{Ec. 62}$$

$$\frac{L_r}{D_{rm}} = \frac{36\text{ mm}}{16.6\text{ mm}} = 2.16 \tag{Ec. 63}$$

Los extremos del resorte son paralelos. Verificar en la gráfica con los resultados de las Ec. 62 y 63.

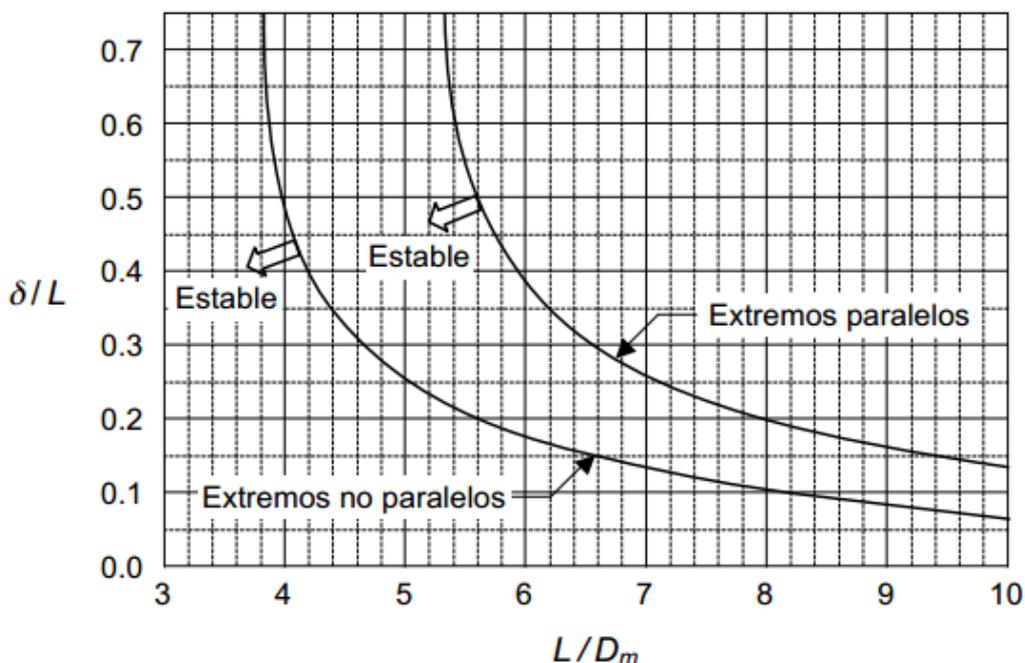


Figura 61. Diagrama de pandeo en resortes de compresión.

Como la relación  $L_r/D_{rm}$  no es lo suficientemente grande, no intercepta la curva de extremos paralelos, por tanto, este resorte no presentará pandeo. Ver figura 61.

El arreglo de los resortes en el riel de válvulas es en paralelo por lo cual debemos obtener la fuerza que se debe aplicar para una misma deformación en cada resorte.

$$F = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 = k_1\delta_o + k_2\delta_o + k_3\delta_o + k_4\delta_o \quad \text{Ec. 64}$$

$$k_1 = k_2 = k_3 = k_4 = k \quad \text{Ec. 65}$$

Sustituyendo la Ec. 65 en la Ec. 64 y simplificando da como resultado:

$$F = k\delta \quad \text{Ec. 66}$$

Evaluando los valores en la Ec. 66 da como resultado:

$$F_r = 4(2059.51)(0.022) = 181.23 \text{ N}$$

## 2.7 DISEÑO DEL SISTEMA NEUMÁTICO

El sistema neumático se enfoca en el accionamiento de actuadores neumáticos, de los cuales podemos encontrar cilindros neumáticos, válvulas neumáticas entre otras, que permiten realizar ciertas operaciones al ser accionados por aire, por lo cual se deben de seleccionar los componentes de este sistema según los requerimientos del sistema.

### 2.7.1 SELECCIÓN DE LOS CILINDROS NEUMÁTICOS

Se utilizarán cilindros neumáticos de doble efecto, debido a que estos garantizan un mejor control en cuanto a la retracción y extensión del vástago, y no se necesita mantener activo el flujo de aire comprimido al cilindro para evitar su retracción o extensión.

Se necesita que los cilindros que cortan y permiten el paso de los envases se extiendan y retraigan lo más rápido posible, de la misma manera para el cilindro que levanta y baja las boquillas, se necesita que se extienda de manera rápida.

La distribución de los cilindros es de la siguiente manera:

- Cilindro A: es el que limita que no entren más de 4 envases a la etapa de llenado (primer cilindro que encuentran los envases).
- Cilindro B: es el que evita que los envases abandonen la etapa de llenado sin antes haber sido efectuada (es el último cilindro que encuentran los envases).
- Cilindro C: es el que baja y sube las boquillas para realizar el llenado en cada uno de los envases vacíos.

Especificaciones de Cilindro C:



Figura 62. Cilindro Neumático C. [20]

Tabla 42. Especificaciones de cilindro C.

<b>ESPECIFICACIONES DEL CILINDRO</b>	
Diámetro del émbolo	32 mm
Carrera	100 mm
Diámetro del vástago	12 mm
Modo de operación	Doble efecto
Amortiguación neumática	Regulable a ambos lados
Longitud de amortiguación (PPS)	4 mm
Detección de posiciones	Sensor de proximidad
Conexión neumática	G1/8
Vástago con rosca exterior	M10x1.25
Presión de funcionamiento	1.5 a 10 bar
Temperatura ambiente	-20 a 80 °C
Clase de resistencia a la corrosión	2
Fuerza teórica a 6 bar, avance	483 N
Fuerza teórica a 6 bar, retroceso	415 N

Especificaciones de cilindros A y B:



Figura 63. Cilindro hidráulico A y B. [20]

Tabla 43. Especificaciones de cilindro A y B.

<b>ESPECIFICACIONES DE LOS CILINDROS A y B</b>	
Diámetro del émbolo	20 mm
carrera	150 mm
Modo de operación	Doble efecto
Amortiguación neumática	Regulable a ambos lados
Longitud de amortiguación (PPS)	15 mm
Detección de posiciones	Sensor de proximidad
Conexión neumática	G1/8
Vástago con rosca exterior	M8
Presión de funcionamiento	1.5 a 10 bar
Temperatura ambiente	-20 a 80 °C
Clase de resistencia a la corrosión	2
Fuerza teórica a 6 bar, avance	188.5 N
Fuerza teórica a 6 bar, retroceso	158.3N

## 2.7.2 SELECCIÓN DE LAS VÁLVULAS NEUMÁTICAS

Para el accionamiento de los 3 cilindros neumáticos de doble efecto utilizados en el proceso de llenado de envases, se utilizarán 3 electroválvulas neumáticas 5/2 vías biestables para el accionamiento de los cilindros neumáticos.

Se seleccionan las válvulas SY5220-5DZ-01N debido a que están diseñadas con el fin de conseguir unas elevadas prestaciones con un tamaño reducido. Ver figura 64 y tabla 44.

Permiten su montaje en bases múltiples desde 2 hasta 10 puestos que centralizan la entrada y los escapes simplificando las aplicaciones neumáticas, por ello se utilizará de una base manifold SY5000 para el montaje de las 3 válvulas.

Tabla 44. Especificaciones de válvulas neumáticas.

<b>ESPECIFICACIONES DE VALVULAS ELECTRONEUMÁTICAS</b>	
Fluido	Aire
Tipo	Válvulas solenoides
Actuación	Doble
Conexión	1/8 "
Lubricación	Libre de lubricación
Puertos	5
Tipo de sello	Sello suave
Diámetro nominal	M3
Tipo de rosca	NPT
Masa	135 g
Presión	101 psi
Temperatura	-5 °C a 50 °C
Caudal de referencia	5.93 CFM
Tiempo de respuesta	32 ms
Voltaje	24 VDC;
Valor CV	0.49
Entrada eléctrica del cable	Terminal DIN / con conector
Cuerpo de válvula	Aluminio

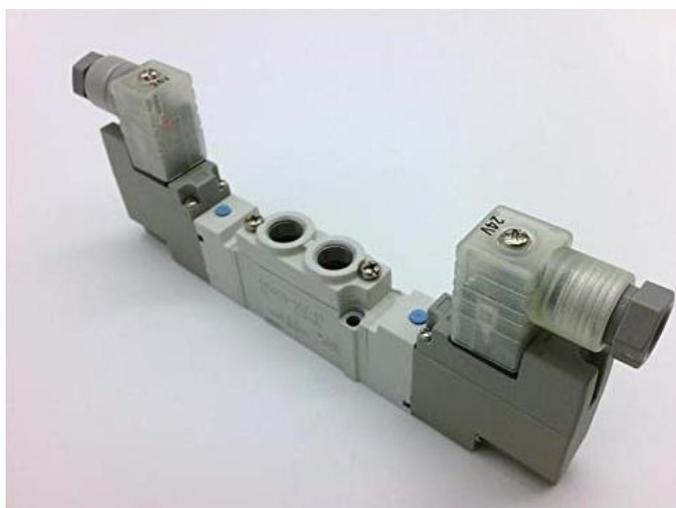


Figura 64. Válvula electroneumática. [11]

### 2.7.3 DISEÑO Y SELECCIÓN DEL COMPRESOR

El compresor es un dispositivo sumamente importante para la llenadora de envases, debido a que permite el accionar de otros dispositivos. Se necesita conocer el consumo de aire de todos los componentes de la máquina que serán accionados por aire comprimido, para seleccionar de un compresor que supla esas demandas de consumo. El cálculo del consumo debe estar referido a condiciones normales de funcionamiento.

El consumo de aire en la máquina para la etapa de llenado de envases PET es solo para los cilindros de doble efecto. Ver figura 65.

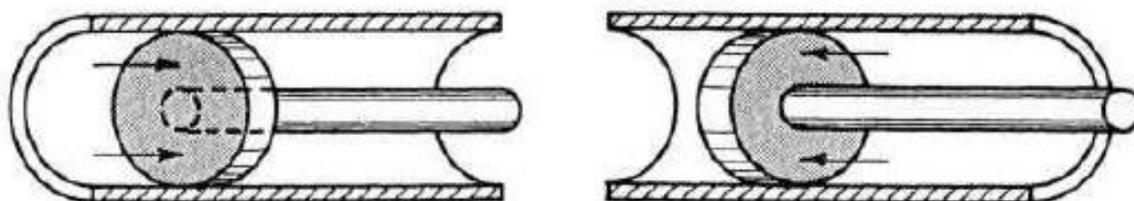


Figura 65. Esquema interno de cilindro de doble efecto. [28]

Para el planteamiento de los cálculos se requiere el diámetro del émbolo o pistón, el diámetro del vástago y la carrera del vástago. Además, los cálculos son tomados de acuerdo al cilindro neumático C que es el que tiene mayor diámetro y una carrera considerable. Ver tabla 45.

Tabla 45. Datos de cilindro C para análisis del compresor.

Diámetro del pistón $D_c$	32 mm
Diámetro del vástago $D_v$	12 mm
Avance del vástago $l_v$	100 mm

Área de la sección del émbolo en el avance:

$$A_a = \frac{\pi D_c^2}{4} = 804.248 \text{ mm}^2 \quad \text{Ec. 67}$$

Área de la sección del émbolo en el retroceso:

$$A_r = \frac{\pi D_c^2}{4} - \frac{\pi D_v^2}{4} = 691.15 \text{ mm}^2 \quad \text{Ec. 68}$$

Volumen total del cilindro de doble efecto:

Sustituyendo Ec. 67 y 68 y los datos de la tabla 45, da como resultado:

$$V_C = A_a l_v + A_r l_v \quad \text{Ec. 69}$$

$$V_C = 149539.8 \text{ mm}^3$$

Teniendo el volumen total se puede conocer el consumo de aire a una determinada presión de trabajo. Para transformar este volumen a condiciones normales, se aplica la Ley de Boyle-Mariotte.

Donde se involucra la presión de trabajo siendo la máxima del cilindro neumático con un valor de 6 bar.

$$P_{abs} * V_C = P_{atm} V_{air} \quad \text{Ec. 70}$$

Sustituyendo valores en la Ec. 70, da como resultado:

$$V_{air} = \frac{P_{abs} * V_C}{P_{atm}} = 897238.8 \text{ mm}^3$$

Por último, habrá que considerar el número de ciclos por minuto que realiza el cilindro de doble efecto para determinar su consumo.

$$Q_c = N_{ciclos} V_{air} \quad \text{Ec. 71}$$

Evaluando los datos en las Ec. 71, donde el número de ciclos se determina en el apartado de los parámetros del diseño y para este caso se considera para envases de 250 ml con un valor de 14 ciclos por minuto.

$$Q_c = 0.012561 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$$

Para la selección de un compresor que supla la necesidad requerida, se calcula el consumo para los 3 cilindros de doble efecto, considerándolos igual al de mayor consumo de aire.

$$Q_{c1} = Q_c * N_c \quad \text{Ec. 72}$$

Evaluando en la Ec. 72:

$$Q_{c1} = 0.0377 \text{ m}^3/\text{min}$$

Se considera que el proceso es continuo por tanto la tasa de uso es del 100%.

Pérdidas por fuga: está demostrado que es muy difícil realizar una instalación de aire comprimido con cero fugas en el sistema. Por tanto, se considera un factor del 5% para pérdidas por fugas.

Cuando sea puesto en marcha el proceso y se logra observar que hay un alto nivel de pérdidas por fugas, es mucho más rentable tratar de corregirlas o modificar la instalación, que instalar un compresor de mayor capacidad que cubra las necesidades de aire comprimido y las fugas detectadas.

$$Q_{CT} = Q_{c1} + (Q_{c1} * e_f) \quad \text{Ec. 73}$$

Evaluando en la Ec. 73 se puede determinar el consumo de aire incluyendo las pérdidas en el sistema:

$$Q_{CT} = 0.0396 \text{ m}^3/\text{min} = 39.6 \text{ L}/\text{min}$$

Conociendo el consumo total estimado con pérdidas se recomienda para la instalación neumática bajo las condiciones anteriormente descritas, se utilice un compresor con una capacidad mínima de 30 galones, para garantizar un buen margen de tiempo para el encendido del compresor.

Los 30 galones equivalen a 114 Litros aproximadamente, se procede a calcular el tiempo que este compresor tardaría en vaciarse:

$$t_c = \frac{114 L}{39.6 L/min} = 2.88 min$$

Ese es el tiempo en que el tanque del compresor se vacía completamente, pero como en la realidad estos no se vacían completamente, se enciende hasta que alcanza una presión mínima que puede ser regulada. El tanque de 30 galones garantiza un tiempo considerable para el encendido del compresor.

También se debe tener en cuenta que fue diseñado para 3 cilindros neumáticos, y que habrá cortos lapsos en que no estará enviando ese flujo y además ese caudal no es demandado al mismo tiempo por los 3 cilindros, por lo tanto, ese tiempo se puede ver incrementado.

#### **2.7.4 SELECCIÓN DE FILTRO Y REGULADOR**

El sistema neumático tendrá un filtro y un regulador (unidad FR), no dispondrá de un lubricador debido a que el aire que entra a los cilindros neumáticos será liberado al ambiente, y como la contaminación en el ambiente tiene que ser controlada por la categoría de grado alimentario que posee la máquina.

También los cilindros neumáticos tienen que ser del tipo que no requieran lubricación.

## 2.7.5 CONEXIÓN NEUMÁTICA CILINDROS-VALVULAS

Se presenta el esquema de conexión de cada uno de los cilindros neumáticos de doble efecto con sus respectivas válvulas 5/2, siendo los cilindros A y B los encargados de cortar el paso a los envases PET que circulan por la banda transportadora y el cilindro C es el encargado de bajar las 4 boquillas cuando se efectúa la operación de llenado. Ver figura 66.

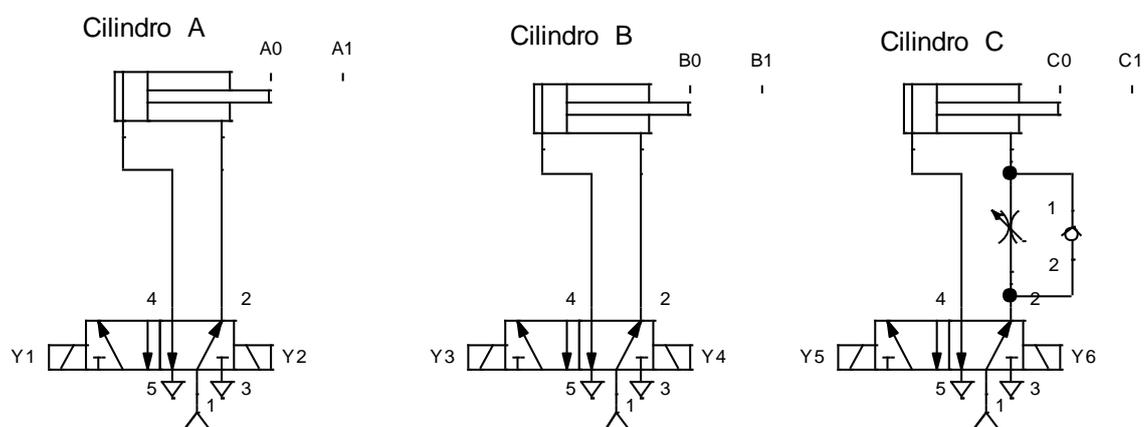


Figura 66. Esquema de conexión de cilindros – válvulas.

Se presentan las variables especificadas en el esquema de conexión de los cilindros y las válvulas. Ver tabla 46.

Tabla 46. Descripción de las variables solenoides y finales de carrera.

<b>Variable</b>	<b>Descripción</b>
A0	Final de carrera en la posición de retraído del cilindro A
A1	Final de carrera en la posición de extendido del cilindro A
B0	Final de carrera en la posición de retraído del cilindro B
B1	Final de carrera en la posición de extendido del cilindro B
C0	Final de carrera en la posición de retraído del cilindro C
C1	Final de carrera en la posición de extendido del cilindro B
Y1	Solenoide de la electroválvula 5/2 vías que activa la extensión del cilindro A
Y2	Solenoide de la electroválvula 5/2 vías que activa la retracción del cilindro A
Y3	Solenoide de la electroválvula 5/2 vías que activa la extensión del cilindro B
Y4	Solenoide de la electroválvula 5/2 vías que activa la retracción del cilindro B
Y5	Solenoide de la electroválvula 5/2 vías que activa la extensión del cilindro C
Y6	Solenoide de la electroválvula 5/2 vías que activa la retracción del cilindro C

## 2.8 DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO

En el sistema eléctrico se presenta la conexión de todos los componentes electrónicos que intervienen en la realización de los procesos de llenado de los envases PET.

Los diagramas eléctricos se diseñan de acuerdo a una secuencia para cada una de las acciones que debe realizar la máquina.

La llenadora se diseñó principalmente para operar en sistema automático o ciclo continuo de llenado.

## 2.8.1 DIAGRAMA ELÉCTRICO DEL MOTOR PASO A PASO

Permite controlar los paros y arranques del motor paso, para que el motor paso se detenga en el momento justo cuando desciendan las boquillas para realizar el llenado. Ver figura 67.

Este cuenta con un interruptor MB para activar el motor paso cuando no se ha activado ningún ciclo de llenado.

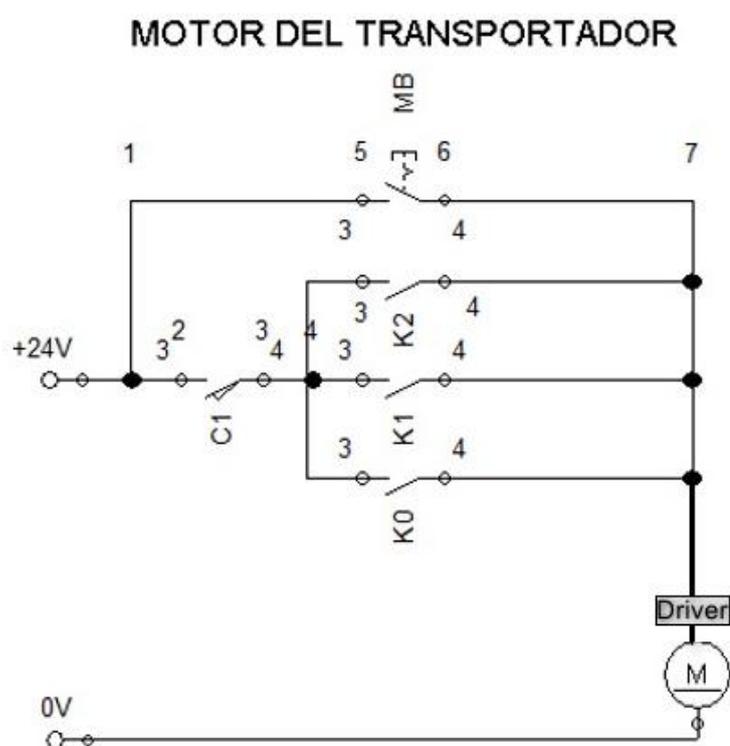


Figura 67. Diagrama eléctrico del motor paso a paso.

## 2.8.2 DIAGRAMA ELÉCTRICO DE CICLO CONTINUO DE LLENADO

El ciclo continuo permite un llenado automático de los envases PET, para un tiempo indefinido hasta que el operador decida realizar el paro de este sistema, presionando el pulsador STOP normalmente cerrado que corta el paso de la energía al ciclo continuo para su posterior detención. Ver figura 68.

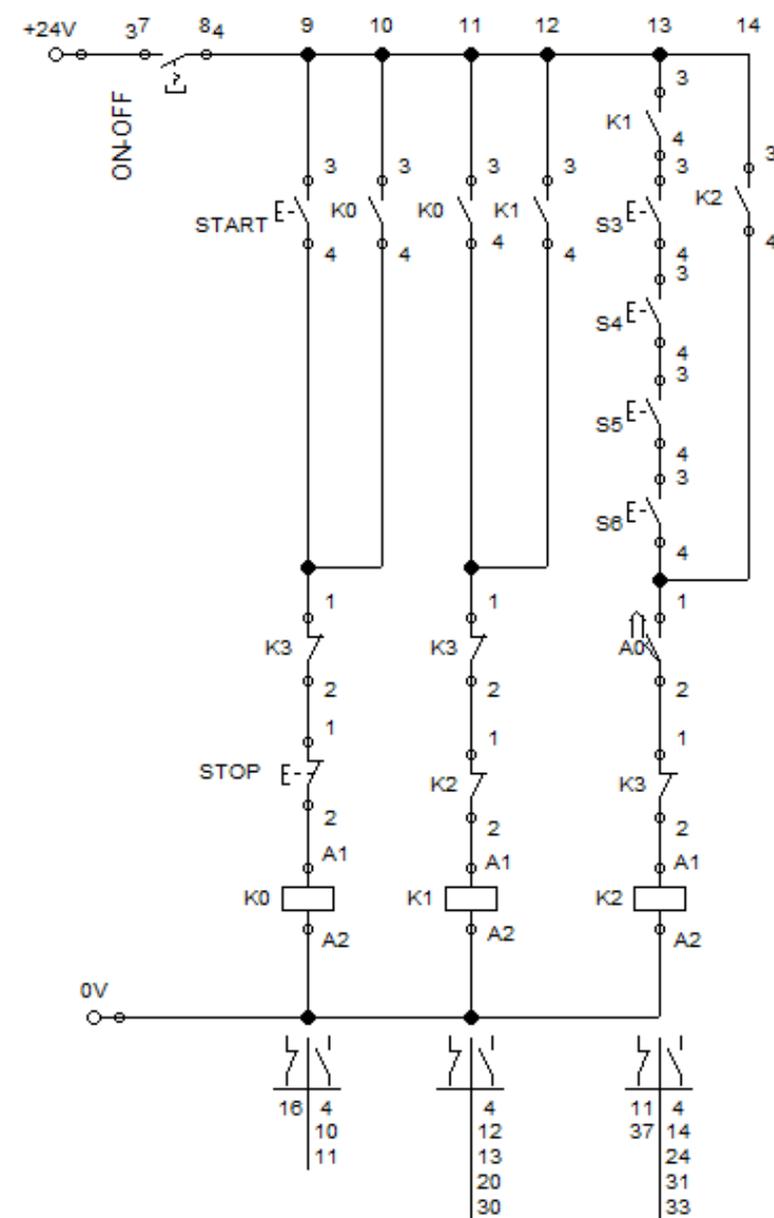


Figura 68. Diagrama eléctrico del control del ciclo continuo.

### 2.8.3 DIAGRAMA ELÉCTRICO DEL SISTEMA RESET DE LLENADO

Este permite restablecer los cilindros a su posición inicial o normal, estando los cilindros neumáticos A y B completamente retraídos y el cilindro neumático C completamente extendido sin importar la operación que se esté realizando, de esta forma podemos cambiar del ciclo continuo al manual o viceversa.

El reset cuenta con un interruptor, el cual permite activar y desactivar el sistema de reset. Ver figura 69.

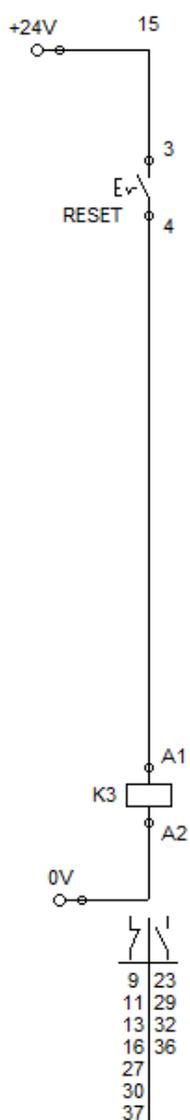


Figura 69. Diagrama eléctrico de control del reset.

## 2.8.4 DIAGRAMA ELÉCTRICO DE CICLO MANUAL DE LLENADO

El ciclo manual consta solamente del control del cilindro neumático C, que es el encargado de bajar y subir las boquillas para efectuar la operación de llenado.

El ciclo consta de un pulsador para extender el cilindro neumático C y otro para retraerlo, además el pulsador para extender el cilindro C permite actuar como botón de emergencia en caso de que se requiera una extensión oportuna del mismo, funcionando de igual manera para el ciclo continuo.

El pulsador de RETRACT permitirá efectuar el llenado y el pulsador EXTENC permitirá que las boquillas asciendan. Ver figura 70.

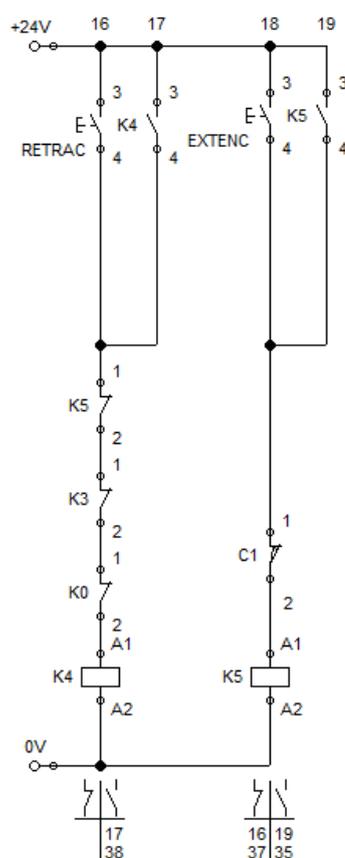


Figura 70. Diagrama eléctrico de control del ciclo manual.

## 2.8.5 DIAGRAMA ELÉCTRICO DE CIRCUITOS RESTANTES

Se presenta la conexión de los solenoides que contralán las válvulas 5/2 vías, los finales de carrera y los diferentes sensores que intervienen en la realización de las operaciones en los diferentes ciclos de llenado.

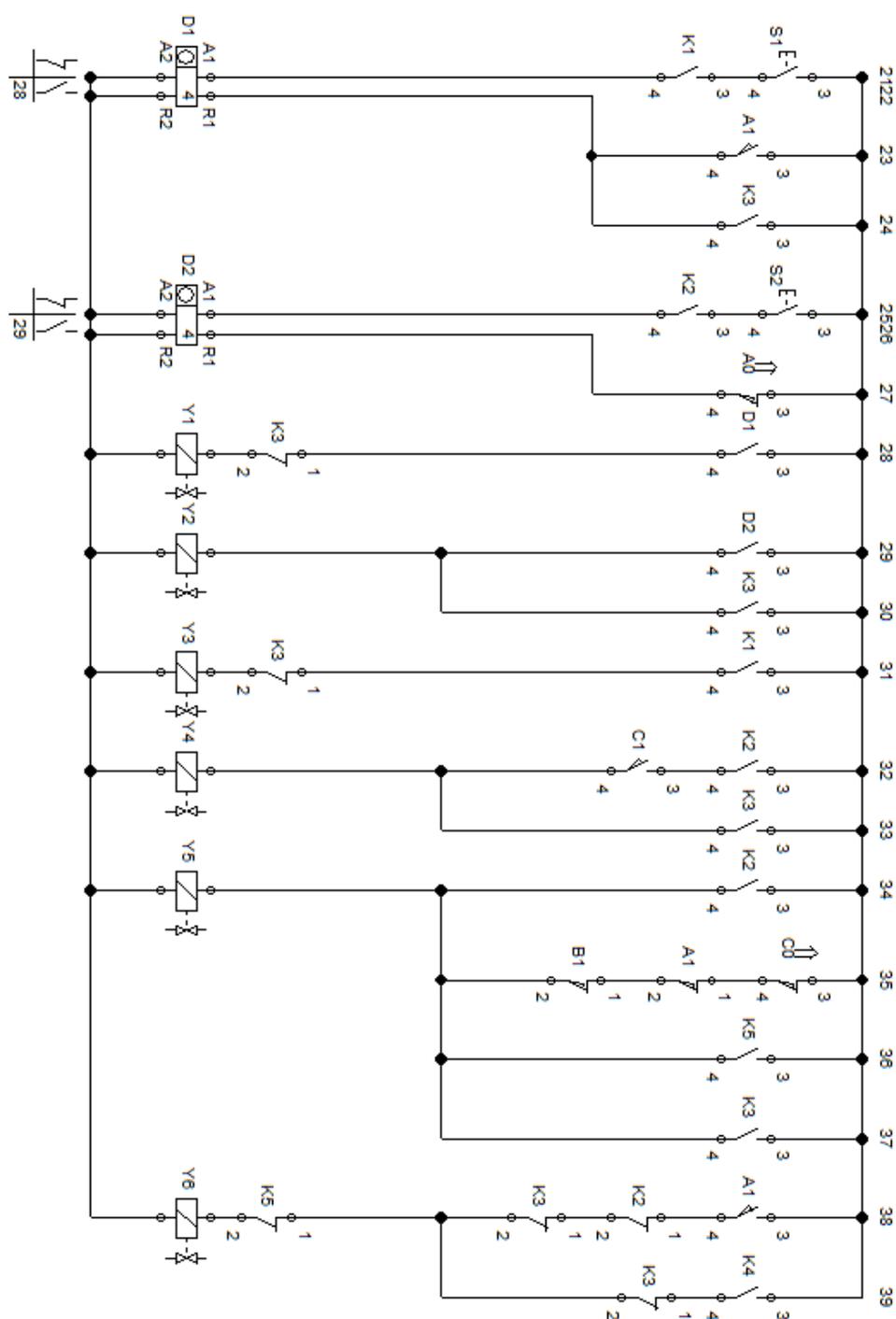


Figura 71. Diagrama eléctrico de las demás variables de cilindros y válvulas.

Descripción de variables presentadas en los diagramas de la figura 67, 68, 69, 70 y 71.

Tabla 47. Descripción de elementos del circuito eléctrico.

<b>Variable</b>	<b>Descripción</b>
ON-OFF	Interruptor que energiza y desenergiza todo el circuito
START	Pulsador que da inicio al ciclo continuo
STOP	Pulsador franqueador que desactiva el ciclo continuo
RESET	Interruptor que activa y desactiva el sistema de reinicio
RETRAC	Pulsador que conforma el ciclo manual y realiza la retracción del cilindro C
EXTENC	Pulsador que conforma el ciclo manual y realiza la extensión del cilindro C
MB	Interruptor que active y desactive el motor paso
K0	Relé que activa el ciclo continuo
K1	Relé que forma parte del ciclo continuo
K2	Relé que forma parte del ciclo continuo
K3	Relé que activa el sistema RESET
K4	Relé que activa la retracción del cilindro en el ciclo manual
K5	Relé que activa la extensión del cilindro en el ciclo manual
S1	Sensor de posición que detecta las botellas que están por entrar a ser llenadas
S2	Sensor de posición que detecta las botellas que salen de la etapa de llenado
S3	Sensor de flujo que detecta el fluido que está siendo retornado al tanque desde las botellas
S4	Sensor de flujo que detecta el fluido que está siendo retornado al tanque desde las botellas
S5	Sensor de flujo que detecta el fluido que está siendo retornado al tanque desde las botellas
S6	Sensor de flujo que detecta el fluido que está siendo retornado al tanque desde las botellas
D1	Contador que se ubica a la entrada de las botellas
D2	Contador que se ubica a la salida de las botellas

## 2.9 SISTEMA DE CONTROL

El sistema de control se compone por un conjunto de componentes que pueden influir en su propio funcionamiento, o en el de otros componentes que no formen parte del sistema de control, siendo útil conocer el número de señales a manejar para seleccionar y programar un PLC que cumpla con las funciones que se requieran.

### 2.9.1 SELECCIÓN DEL CONTROLADOR

El controlador es el componente que permite realizar las funciones o acciones según los requerimientos establecidos para la llenadora de envases, se buscará un controlador lógico programable PLC para realizar las tareas de automatización de manera flexible y eficiente, además tiene que contar con una amplia gama de funciones, así como un diseño especialmente compacto. Se necesitarán 17 entradas y 9 salidas, en base a esos requerimientos se selecciona el PLC CP1LEM30DRD cuyas especificaciones son: ver tabla 48.



Figura 72. Controlador PLC. [30]

Tabla 48. Especificaciones del controlador PLC.

<b>ESPECIFICACIONES DE PLC</b>	
Suministro de voltaje	24 VDC
Corriente	10 mA
Entradas digitales	18
Salidas digitales	12
Tipo de entrada	PNP/NPN
Salidas tipo	Relay
Capacidad del programa	20 K pasos
Capacidad de memoria de datos	32 K palabras
Tiempo de ejecución lógica	0.55 $\mu$ s
Puerto de comunicación	Ethernet TCP/IP
Número de puertos Ethernet	1
Número de canales de entrada de encoder	4
Frecuencia máxima de entrada de encoder	100 kHz
Programación de funciones de diagrama de escalera.	Si
Reloj de tiempo real	Si
Tablero de funciones analógicas	Si
Rango de temperatura de operación	0 – 55 °C
Altura	90 mm
Ancho	130 mm
Profundidad	85 mm
Peso	485 g
Número máximo de unidades de expansión	3
Número de canales analógicos I/O	34

### 2.9.2 CONTROL DE MOTOR PASO A PASO CON PLC

Hay dos maneras para conectar un motor paso a paso a un PLC, una es conectar directamente los terminales de los devanados del motor a las salidas del PLC, otra forma es utilizar los pulsos rápidos de salida del PLC con un driver. Ver figura 73.

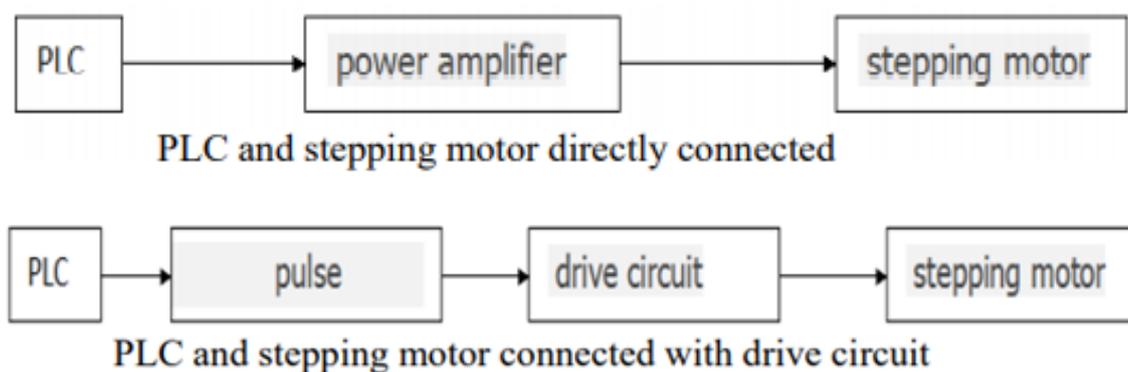


Figura 73. Modos de conexión del motor paso a paso a un PLC. [4]

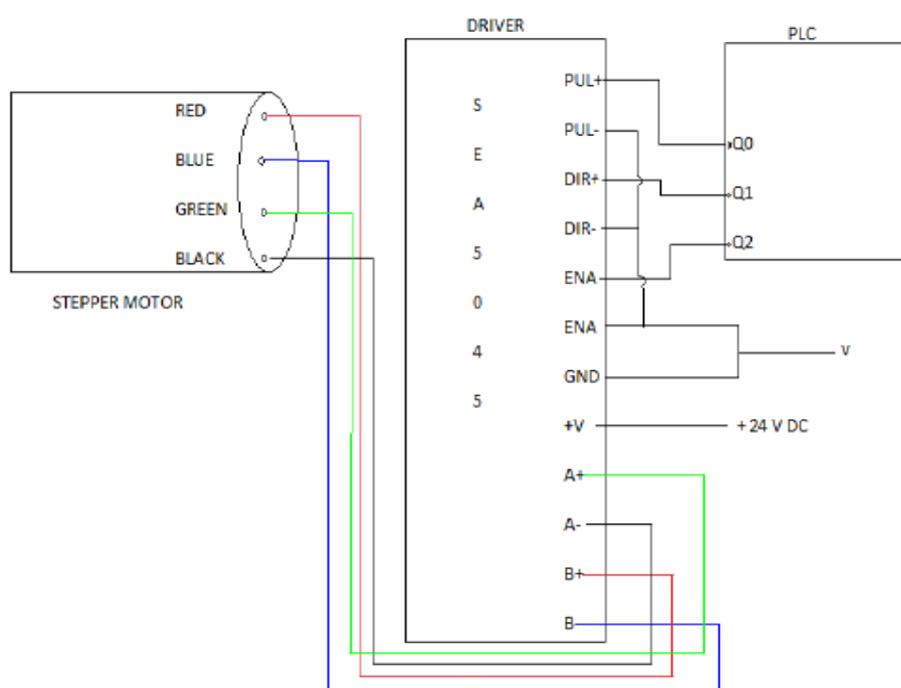


Figura 74. Conexión eléctrica del motor al PLC por medio de un driver. [32]

La figura 74 muestra el diagrama de conexión del motor paso a paso por medio de un driver de pulsos, que se conecta al PLC para el control de los pulsos del motor.

Driver que se utilizará para el control del motor paso a paso será el CW5045 Stepper Motor Driver. Ver figura 75, 76 y tabla 49.

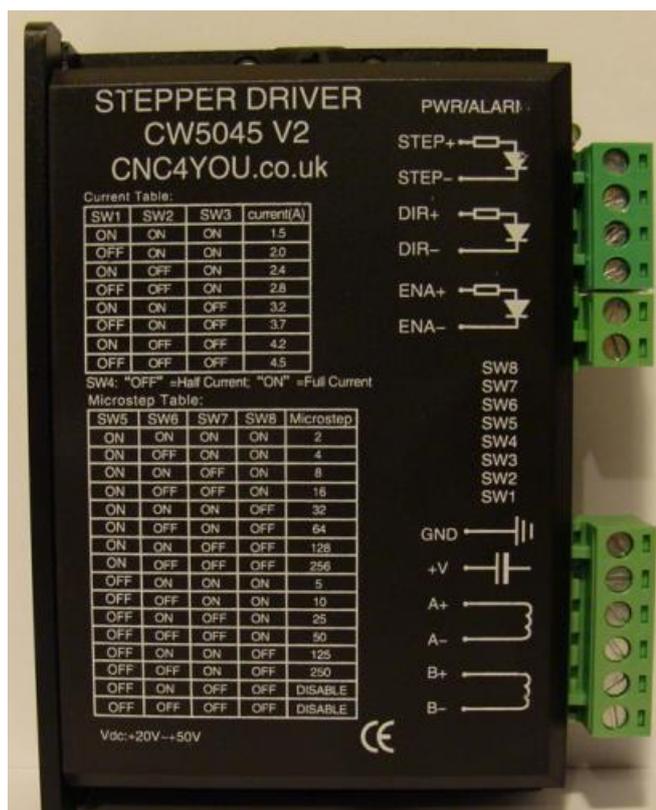


Figura 75. Driver para el control del motor. [32]

Tabla 49. Especificaciones del driver.

<b>ESPECIFICACIONES DEL DRIVER</b>	
Voltaje de entrada (DC)	20 V – 50 V
Corriente de salida	1.5 A - 4.5 A
Micro Step	1/2, 1/4, 1/8, 1/16, 1/32, 1/64, 1/128, 1/256, 1/5, 1/10, 1/25, 1/50, 1/125, 1/250
Forma de protección	Sobrecalentado, protección contra errores de polaridad
Velocidad de pulso máximo	100 kHz
Dimensiones	118 mm x 75 mm x 32 mm
Peso	280 g
Ambiente de trabajo	Temperatura: 15 °C – 40 °C Humedad: menor al 90 %
I/O Pin Descripción	
VCC+	Conexión positiva DC
GND	Conexión negativa DC
A+, A-	Fase del motor paso de un devanado
B+, B-	Fase del motor paso del otro devanado
PUL+, PUL-	Entrada de pulso +5V
DIR+, DIR-	Dirección de motor paso
ENA+, ENA-	Habilitar entrada del motor, dejar abierto si no es necesario

**Switch Choice:** (ON=0 , OFF=1)

**1, Microstepping choice:**

SW5	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
SW6	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
SW7	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0
SW8	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1
Micro	1/2	1/4	1/8	1/16	1/32	1/64	1/128	1/256	1/5	1/10	1/25	1/50	1/125	1/250

**2, Current choice :**

SW1	0	1	0	1	0	1	0	1
SW2	0	0	1	1	0	0	1	1
SW3	0	0	0	0	1	1	1	1
Current A	1.3	1.8	2.3	2.7	3.2	3.7	4.2	4.5

Figura 76. Modos de configuración del driver. [32]

Como el motor paso a paso tiene un ángulo de paso de  $1.8^\circ$ , entonces en una vuelta de  $360^\circ$  tendremos:  $\frac{360}{1.8} = 200 \text{ pasos}$ .

El driver nos permite obtener micro pasos del motor, pero a medida tenga más micro pasos se hará más preciso, no se trabajará con los 200 pasos normales porque al hacerlo más preciso también hacemos que el arranque del motor sea mucho más lento, por tanto se selecciona la configuración de 1/8 por medio del driver, lo cual nos daría un total de  $1600 \text{ pasos/rev}$ . Ver los datos en la tabla 50.

Tabla 50. Datos para el análisis de número de pulsos para el motor.

DATOS	
Revoluciones del motor (n)	32.64rpm
Pasos por revolución ( $\Theta 1$ )	$1600 \text{ pasos/rev}$
Tiempo de aceleración del motor	1 s
Tiempo de total del motor	6.25 s

Los tiempos son considerados para envases de 1 L, el tiempo total del motor paso a paso se considera para la primera operación, debido que será la etapa en la que estará más tiempo encendido el motor.

$$f_{max} = \frac{n\theta_1}{60} \quad \text{Ec. 74}$$

Sustituyendo los valores de la tabla 50 en la Ec. 74:

$$f_{max} = 870.4 \text{ Hz}$$

Dónde: 60 es el factor de conversión de minutos a segundos.

Para determinar el número de pulsos totales para alcanzar esa velocidad:

$f_o$ , es la frecuencia de entrada, se establece a una de 10 Hz al motor paso a paso para evitar que el arranque lo haga brusco y pueda provocar la caída de los envases.

$$f_{max} = \frac{(P_{total} - (f_o * t_a))}{(t_{total} - t_a)} \quad \text{Ec. 75}$$

Evaluando los valores en la Ec. 75, nos da como resultado un total de pulsos de:

$$870.4 \text{ Hz} = \frac{(P_{total} - (10 \text{ Hz} * 1s))}{(6.25s - 1s)}$$

$$P_{total} = 4579.6 \text{ pulsos}$$

### 2.9.3 DIAGRAMA LADDER DE ETAPA LLENADO DE BOTELLAS

Se presentan las variables utilizadas en el sistema de manera que puedan ser procesadas por el controlador lógico programable, el controlador las reconoce de acuerdo a la dirección establecida.

Las variables se presentan de acuerdo a las presentadas en la tabla 46 y 47.

Tabla de variables estándar				
		Name	Data type	Address
1		Start	Bool	%I0.0
2		Stop	Bool	%I0.1
3		Reset	Bool	%I0.2
4		Retract	Bool	%I0.3
5		Extenc	Bool	%I0.4
6		S1	Bool	%I0.5
7		S2	Bool	%I0.6
8		S3	Bool	%I0.7
9		S4	Bool	%I1.0
10		S5	Bool	%I1.1
11		S6	Bool	%I1.2
12		A0	Bool	%I1.3
13		A1	Bool	%I1.4
14		B0	Bool	%I1.5
15		B1	Bool	%I1.6
16		C0	Bool	%I1.7
17		C1	Bool	%I2.0
18		K0	Bool	%M0.0
19		K1	Bool	%M0.1
20		K2	Bool	%M0.2
21		K3	Bool	%M0.3
22		K4	Bool	%M0.4
23		K5	Bool	%M0.5
24		Y1	Bool	%Q1.1
25		Y2	Bool	%Q0.1
26		Y3	Bool	%Q0.2
27		Y4	Bool	%Q0.3
28		Y5	Bool	%Q0.4
29		Y6	Bool	%Q0.5
30		D1	Bool	%Q0.6
31		D2	Bool	%Q0.7
32		Tag_1	Real	%MD100
33		Tag_2	Real	%MD200
34		Tag_3	Bool	%M0.6
35		Tag_4	Bool	%M0.7
36		MB	Bool	%I2.1

Figura 77. Variables del diagrama ladder.

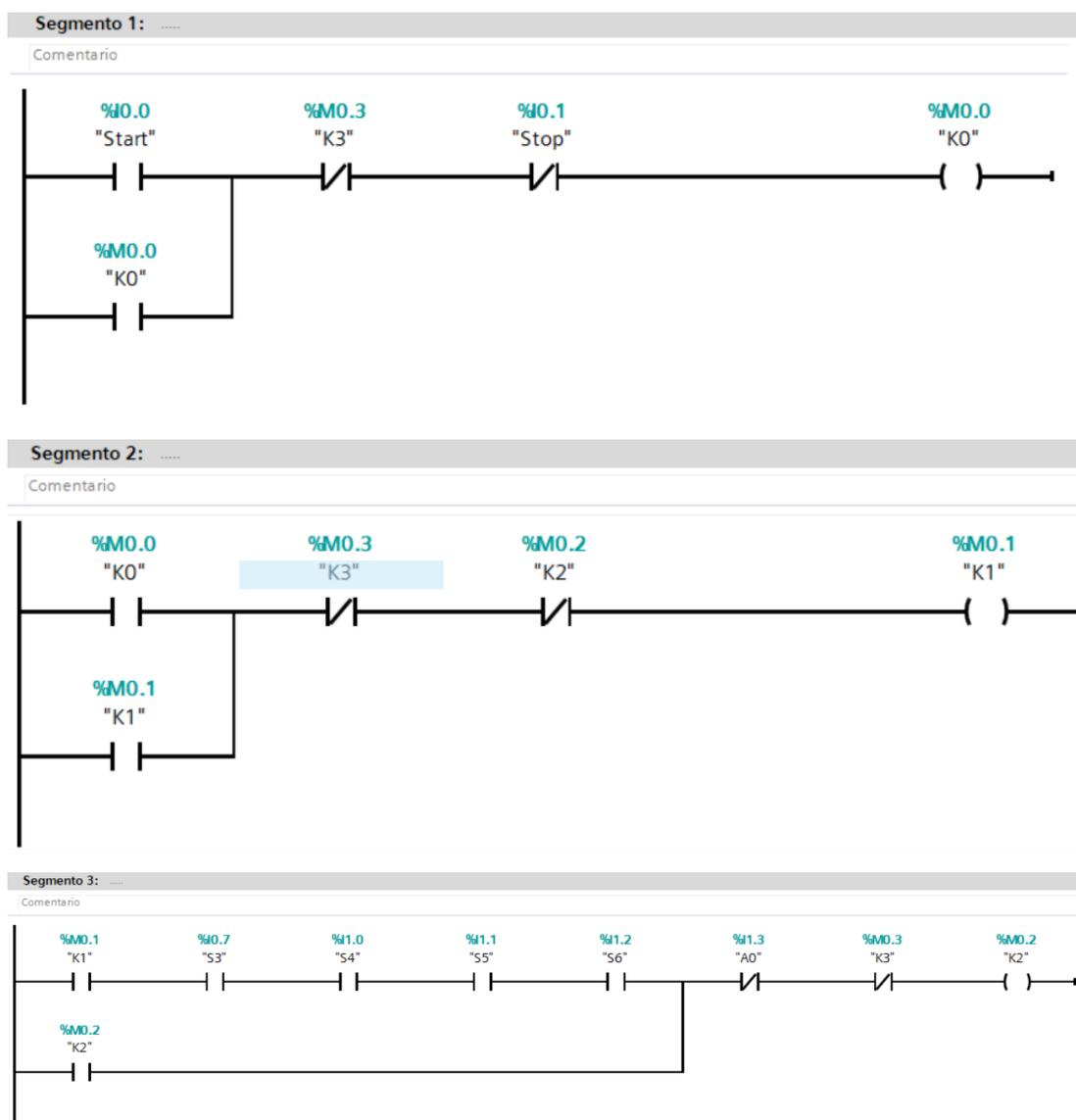
El motor paso a paso contara con 3 salidas Q1.0, Q0.0 y Q1.2 aunque en la liste se exprese como una sola salida, pero el PLC cumplen con esa cantidad de salidas.

Diagrama de escalera o ladder:

El diagrama de escalera es la representación de los diagramas eléctricos para el funcionamiento de cada uno de los sistemas con los que contará la máquina. Los diagramas de escalera son la representación de los de la figura 67, 68, 69, 70 y 71.

Estos diagramas son la presentación de como necesita el controlador evaluar las secuencias para las diferentes modalidades o sistemas con que cuenta la máquina, estos se cargarán al sistema del controlador.

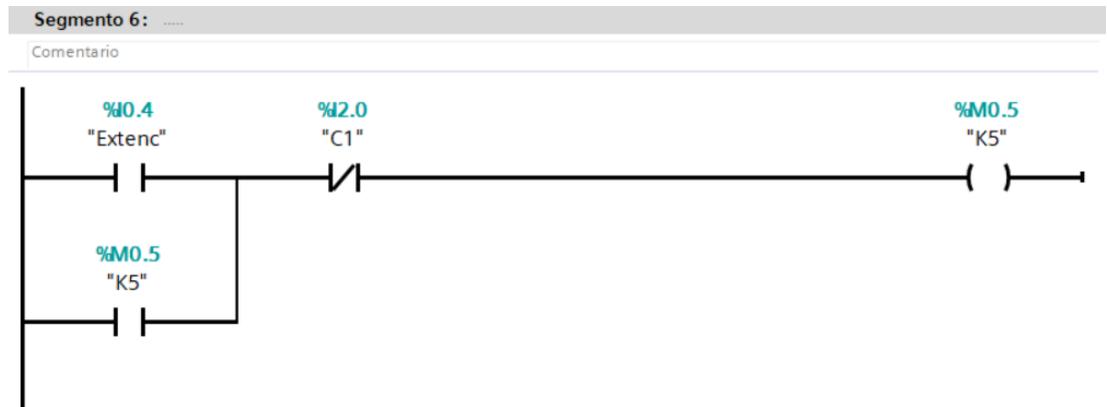
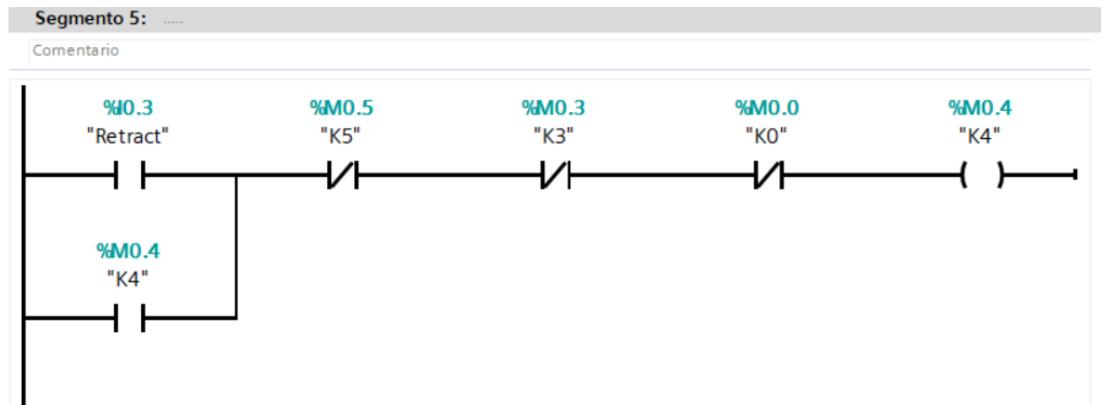
Ciclo continuo de llenado:



### Sistema de reset:



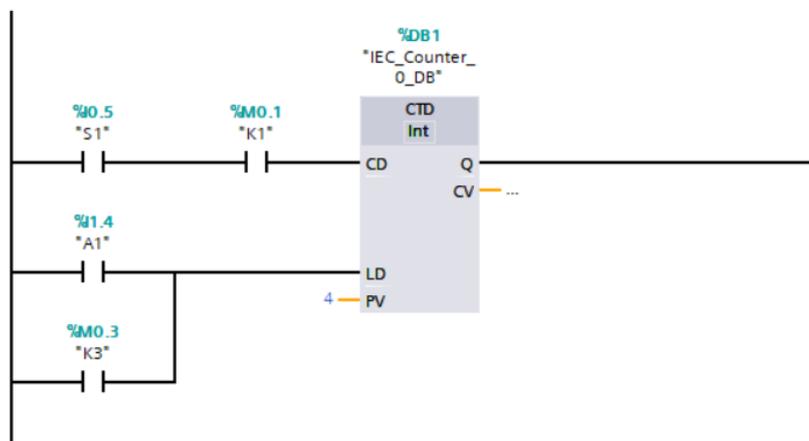
### Ciclo manual de llenado:



### Diagrama ladder de elementos restantes:

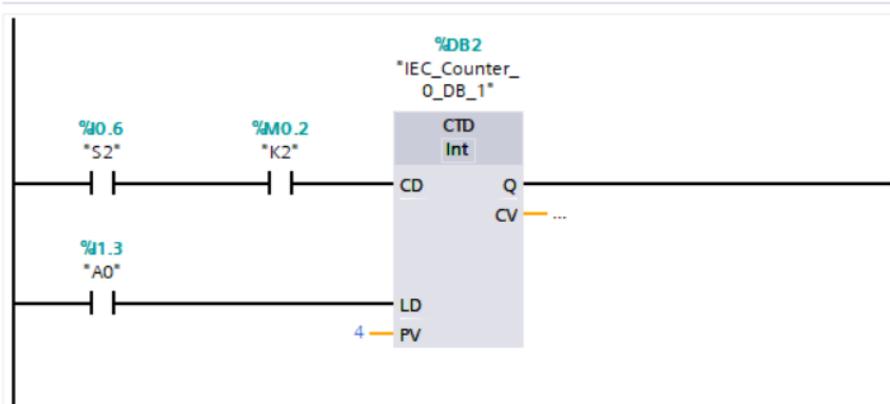
#### ▼ Segmento 7: .....

Comentario



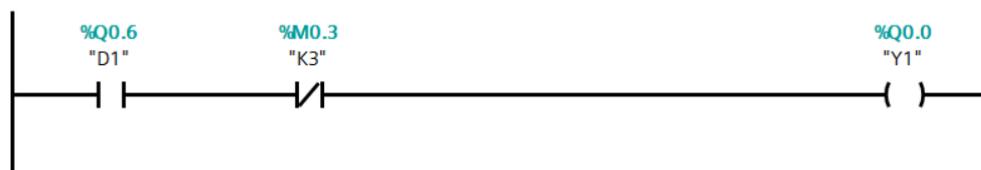
#### ▼ Segmento 8: .....

Comentario



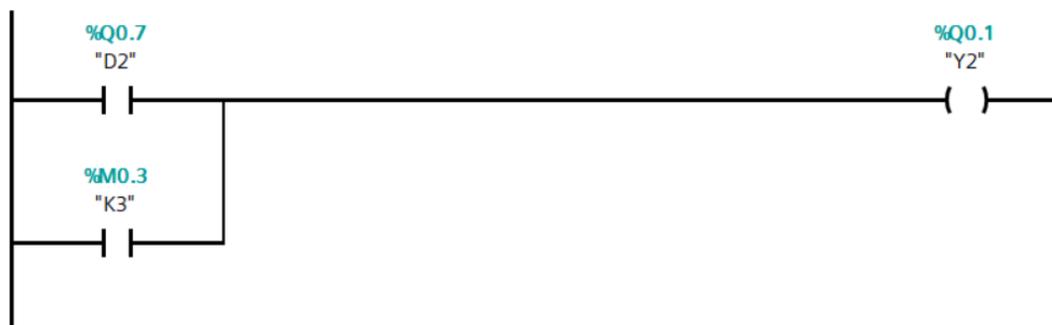
#### Segmento 9: .....

Comentario



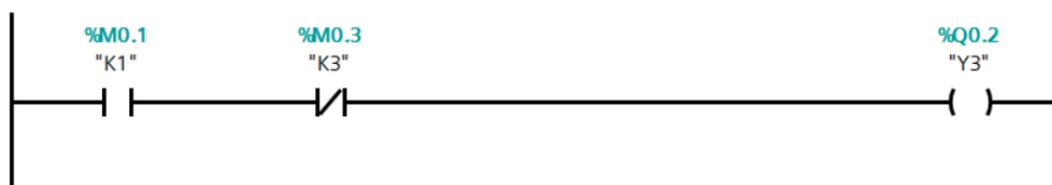
## Segmento 10: .....

Comentario



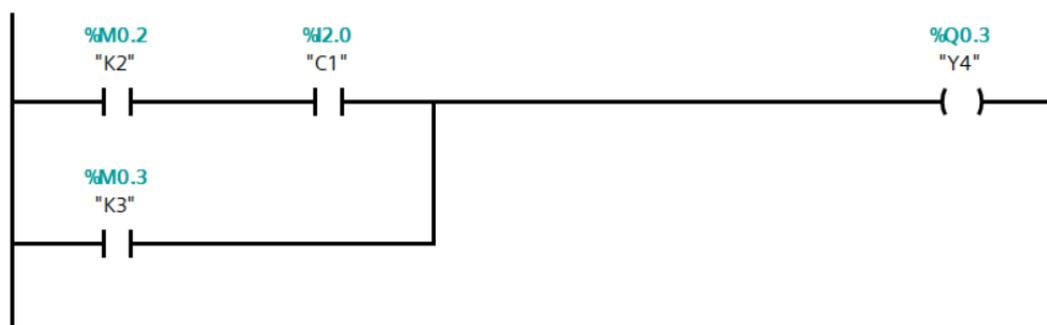
## Segmento 11: .....

Comentario



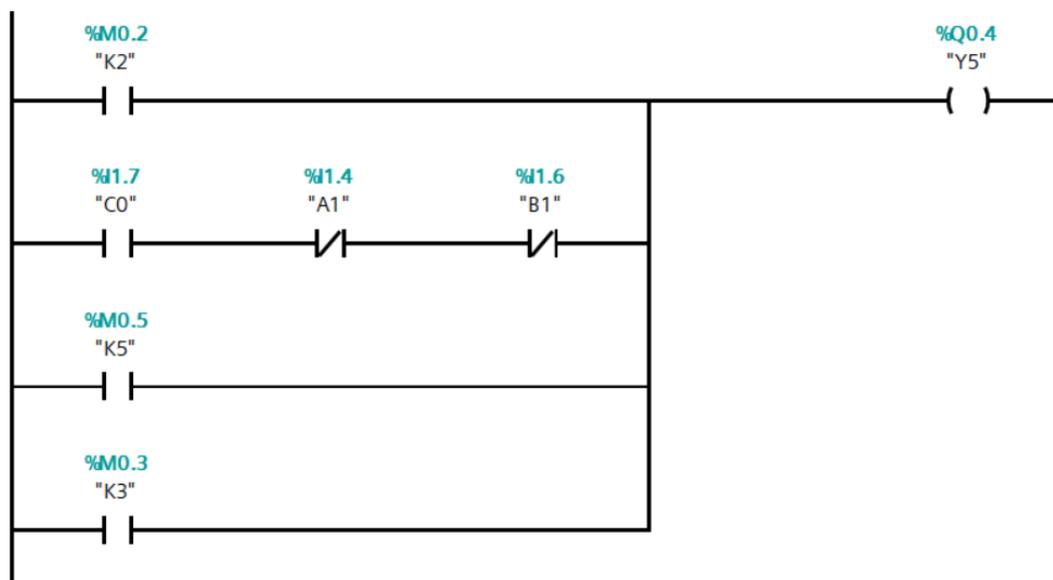
## Segmento 12: .....

Comentario



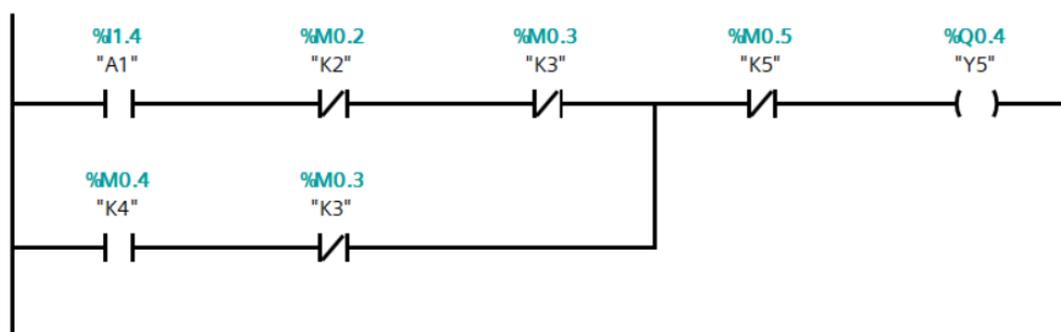
## Segmento 13: .....

Comentario



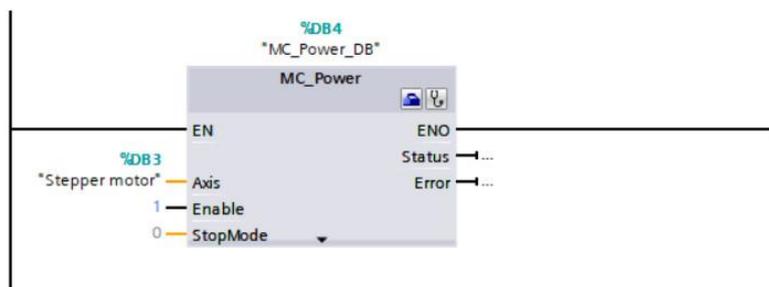
## Segmento 14: .....

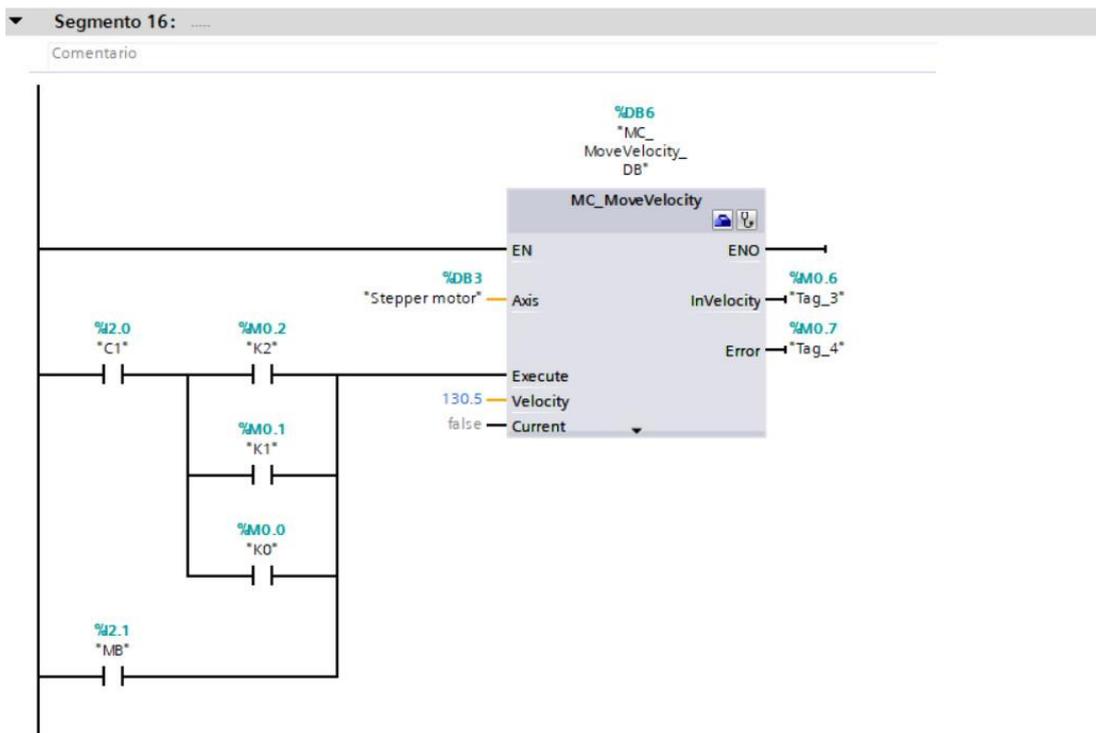
Comentario

Sistema del motor paso a paso:

## ▼ Segmento 15: .....

Comentario





## 2.9.4 DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

Inicialmente los tres cilindros neumáticos se encuentran retraídos, cuando se activa el interruptor ON-OFF, el cilindro C se extiende automáticamente.

El cilindro C se extenderá automáticamente para evitar que las boquillas vayan a interferir con el paso de los envases.

### INTERRUPTOR MB:

Este interruptor será usado para la realización de pruebas en la banda transportadora, el cual permitirá accionar de manera directa el motor paso a paso, sin que se active algún ciclo de llenado.

Al presionar el interruptor MB se energizará el motor paso a paso que mueve la banda transportadora, y para desenergizar el motor paso a paso se requiere presionar nuevamente el interruptor MB.

## CICLO CONTINUO:

El ciclo continuo debe de realizar la siguiente secuencia:

- ✓ Activación del motor paso a paso
- ✓ Lectura del primer sensor de posición
- ✓ Extensión de cilindro neumático B
- ✓ Contador 1 termina lectura
- ✓ Extensión de cilindro neumático A
- ✓ Retracción de cilindro neumático C y desactivación de motor paso a paso
- ✓ Lectura de los sensores de flujo de caudal
- ✓ Extensión de cilindro neumático C y activación de motor paso a paso
- ✓ Retracción de cilindro neumático B
- ✓ Lectura del segundo sensor de posición
- ✓ Contador 2 termina lectura
- ✓ Retracción de cilindro neumático A

Se presenta a detalle cómo se realiza esta secuencia según el diagrama eléctrico:

- Se activa presionando el pulsador START, el cual activa el relé k0 y el motor paso a paso.
- El relé k0 activa el relé k1 el cual energiza al solenoide Y3, este realiza la extensión del cilindro B, el cual evita que los envases salgan de la línea de llenado, además permite que el contador D1 que es quien cuenta los envases que entran, pueda iniciar su operación.
- Cuando el contador D1 determine que han pasado 4 envases por medio del sensor de posición S1, este energizará el solenoide Y1, este realiza la extensión del cilindro A, esto permitirá que los envases se

mantengan retenidas por ambos cilindros A y B para que estén bien ubicadas para proceder al llenado.

- Una vez que el cilindro A se ha extendido hasta la posición A1, este final de carrera activa el solenoide Y6, este realiza la retracción del cilindro C, el cual bajará las boquillas para efectuar el llenado en los 4 envases y además efectuará el paro del motor paso a paso.
- Cuando los 4 envases sean llenados y los 4 sensores de flujo ubicados en el retorno del líquido de los envases hacia el tanque de rebalse, detecten flujo en sus 4 sensores (S3, S4, S5 y S6), este energizará el relé k2.
- El relé k2 activará el solenoide Y5, este realiza la extensión del cilindro C deteniendo el llenado debido a que levantará las boquillas, además permite que el contador D2 que es quien cuenta los envases que salen de la etapa de llenado pueda iniciar su operación, así también desenergiza el relé k1.
- Una vez el cilindro C llegue a la posición C1, se activará el motor paso a paso y a su vez este activará el solenoide Y4, el cual realizará la retracción del cilindro B, hasta la posición B0 y dejara salir los envases que fueron llenados.
- Cuando el contador D2 determine que han pasado 4 envases por medio del sensor de posición S2, este energizará el solenoide Y2, el cual realizará la retracción del cilindro A, hasta la posición A0.
- Una vez el cilindro A se haya retraído un ciclo habrá terminado, dando paso un nuevo ciclo que se estará realizando continuamente hasta que este sea detenido pulsando el pulsador franqueador STOP, si no se ha detenido el ciclo significará que el relé k0 sigue activo, y como la acción de la retracción del cilindro A hasta A0 desenergiza el relé k3, dando

paso a la activación del relé k1 y repitiendo las operaciones antes descritas.

#### CICLO MANUAL:

El ciclo manual permite llenar solo un lote de envases o si se desea llenar una cantidad menor de 4 envases.

Para el ciclo manual solo se controlará el cilindro C por medio de 2 pulsadores, el pulsador EXTENC y el pulsador RETRAC, el motor no se activará cuando se efectuó este ciclo.

El ciclo manual realiza la siguiente secuencia:

- ✓ Retracción de cilindro neumático C
- ✓ Extensión de cilindro neumático C

Se presenta a detalle cómo se realiza esta secuencia según el diagrama eléctrico:

- Una vez que los envases sean posicionadas manualmente debajo de las boquillas, el pulsador RETRACT energizará el relé k4 y este energizará Y6, este realizará la retracción del cilindro C para efectuar el llenado de los envases.
- Como en este ciclo manual no se tomará en cuenta la señal de los sensores de flujo, el operador deberá observar si los envases están llenos, para posteriormente presionar el pulsador EXTENC el cual energizará el relé k5 y este energizará Y5, este realizará la extensión del cilindro C hasta la posición C1, para dar por terminada la etapa de llenado.

## INTERRUPTOR RESET:

Al presionar el interruptor RESET, este energizará el relé k3, dando paso a la retracción de los cilindros A y B, y la extensión del cilindro C, en caso de que se requiera iniciar cualquier de los ciclos se debe presionar el interruptor RESET nuevamente para desenergizar el relé k3.

La activación del relé k3, desenergizará los relés k0, k1, k2 y k4 en caso de estar energizados, así como Y1, Y3 y Y6, además este energizará Y2, Y4 y Y5, eso para garantizar que los cilindros estén en las posiciones antes mencionadas al presionar el RESET.

### **2.9.5 SELECCIÓN DE SENSOR DE POSICIÓN**

Existen muchos tipos de sensores de posición, pero para cumplir con las condiciones planteadas para la llenadora de envases PET se considera utilizar sensores fotoeléctricos de la serie E3Z-B., debido a las características y ventajas que estos presentan. Ver especificaciones en la tabla 51 y el sensor en la figura 78.

El sistema automatizado de llenado de envases consta de 2 sensores de posición que se encargan de detectar los envases para efectuar posteriores acciones dentro del proceso de llenado.

El ámbito de aplicación de este tipo de sensores contempla la detección de envases PET.

Se escogieron sensores ultrasónicos debido a las siguientes ventajas que presentan:

- Detecta una gran variedad de envases sin importar su presentación.
- Incorpora un sistema óptico de Omron para detectar varias formas de envases PET y objetos transparentes.
- Proporciona un alto grado de protección.
- Protección contra interferencia mutua.
- Alto grado de inmunidad contra el ruido.
- Selector para ENC., en la luz y ENC., en la oscuridad.
- Mayor precisión.

La distancia a la que se encuentran los envases medida desde el sensor es de 80 mm a 100 mm, como puede variar debido a la presentación del envase, por lo tanto, la gama de estos sensores cumple las necesidades planteadas.

Tabla 51. Especificaciones de sensor de posición.

<b>ESPECIFICACIONES DE SENSOR DE POSICIÓN</b>	
Voltaje	12 VDC – 24 VDC
Salida de sensor	PNP
Conector	M8 – 4 pines
Corriente	100 Ma
Rango de medición	2000 mm
Tiempo de respuesta	1 ms
Dimensiones	20 mm x 10.8 mm x 31 mm
Mínima temperatura de funcionamiento	-25 °C – 55 °C
Fuente de luz	Infrarrojo
Indicador	LED
Material del cuerpo	PBT
Detección	Detección de objetos transparentes
Tipo	Sensor retro-reflexivos
Grado de IP	IP67



Figura 78. Sensor de posición. [15]

### 2.9.6 SELECCIÓN DE SENSOR DE FLUJO

El sensor para medir el flujo de agua, permitirá medir el flujo que retorna luego del llenado de los envases, la señal que mandaran estos cuatro sensores permitirá detener el llenado, de esa manera se garantizará que los envases sean llenados todos a un mismo nivel y que no haya muchos desperdicios de líquido, este sensor será un sensor de flujo de efecto hall. Ver figura 79 y tabla 52.

Tabla 52. Especificaciones del sensor de flujo.

<b>ESPECIFICACIONES DE SENSOR DE FLUJO</b>	
Modelo	MCI 00725
Voltaje de operación	5 V – 24 V DC
Consumo de corriente	15 mA (5 V)
Rango de ritmo de flujo	1-30 l/min
Humedad de operación	35 – 90 % HR
Presión de operación	1.2 MPa
Peso	43 g
Rosca externa	1/2"
Temperatura de almacenado	-25 a +80 °C
Temperatura de operación	0 °C a 80 °C
Material	Plástico

Este sensor posee tres cables: rojo (VCC: 5VDC), negro (neutro) y amarillo (salida de pulsos del sensor de efecto Hall).

Para el funcionamiento de este sensor el caudal de agua ingresa al sensor y hace girar una turbina, la turbina está unida a un imán que activa un sensor de efecto Hall, que a su vez emite un pulso eléctrico que puede ser leído por la entrada digital de un PLC.



Figura 79. Sensor de flujo. [31]

### 3. ANÁLISIS DE COSTOS

El análisis de costos permite determinar todos los costos involucrados referente a la construcción de la máquina, presentando de manera detallada el costo económico que conlleva su fabricación.

Los precios de los materiales y componentes para la construcción de la máquina son tomados en base a cotizaciones a partir de los planos de la máquina, cuya finalidad es determinar un costo total para la construcción de la llenadora de envases PET. En los costos se contemplan los costos directos como la compra de los materiales y componentes, así como también el costo directo por la mano de obra para la construcción de la máquina o piezas que requieran ser fabricadas, además se consideran otros gastos adicionales como costos indirectos que pueden afectar el costo total de la máquina.

Para las cotizaciones de todos los materiales y componentes a utilizar, se toman en cuenta muchas de las empresas nacionales, debido a que se busca construir la máquina con materiales locales en su gran mayoría, siempre y cuando se encuentren disponibles en el mercado local y que a su vez puedan resultar más económico debido a los costos por envíos.

También cabe resaltar que los precios tienen el problema de variar con el tiempo, y cada empresa maneja diferentes precios, en algunas situaciones la diferencia es bastante notoria, además otro problema que se relaciona con el cambio de precios es que la existencia de los materiales y componentes tiende a fluctuar, de manera que se trató de estimar los precios más accesibles para que de esa manera los costos por materiales no aumenten demasiado.

### 3.1 COSTOS DIRECTOS

Estos son costos que interviene de manera directa en la construcción de la máquina y sin ellos no se pueden realizar las actividades para la construcción o fabricación de algunos componentes de la máquina.

Los costos directos que intervienen en la construcción de la llenadora de envases son los costos por materiales y equipo, costos por la mano de obra, la cual será llevada a cabo por técnicos especializados en el área de metal-mecánica capaces de fabricar todas las piezas a partir de sus planos.

Se considera importante detallar cada una de las partes que componen la máquina, desde la estructura de toda la máquina hasta el más mínimo componente, de esta manera se puede obtener un valor aceptable del costo total que pueda tener la construcción completa de la máquina y así garantizar que no habrá materiales faltantes.

Los costos por materiales son divididos en secciones para poder tener una idea más clara de los elementos específicos que se necesitan comprar.

Tabla 53. Costo de materiales de estructura.

<b>ESTRUCTURA</b>				
<b>Datos</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Costo Total</b>
Acero Inoxidable AISI 304 tubo cuadrado 1.5 in, chapa 14, 6 m (Base de estructura).	2	und	\$ 74.00	\$ 148.00
Acero Inoxidable AISI 304 Lámina lisa sin pulir de 3 mm, 4x8 pies (Estructura de banda transportadora, soporte de motor).	1	und	\$ 295.00	\$ 295.00
Acero Inoxidable AISI 304 ángulo de 1.5 in x 3/16 in x 6 m (Estructura porta boquillas).	1	und	\$ 96.00	\$ 96.00
Acero Inoxidable AISI 304 Platina de 1 1/4 in x 3/16 in x 6 m (Alzas para los sensores y los cilindros).	1	und	\$ 75.00	\$ 75.00
Acero Inoxidable AISI 304 Varilla solida redonda de Ø 1 in x 6 m (Tornillo de potencia, Guías laterales, ejes, Separadores de la banda).	1	und	\$ 106.00	\$ 106.00
Acero inoxidable 304 Tubería redonda de Ø 1/2 in, chapa 16, 6 m (Barandas de la banda transportadora).	2	und	\$ 39.00	\$ 78.00
Acero Inoxidable AISI 316 Lámina lisa acabado pulido de 1.5 mm x 1 m x 1.22 m (Estructura de tablero de control, tanque de rebalse, Manifold).	2	und	\$ 65.00	\$ 130.00
Acero Inoxidable AISI 316 Varilla solida redonda de Ø 2 in x 3 m (Boquillas)	1	und	\$ 250.00	\$ 250.00
Acero inoxidable AISI 316 Cañería redonda de 1/2 in, cedula 40, 6 m (Entradas del tanque de rebalse, salida del Manifold).	1	und	\$ 53.00	\$ 53.00
Acero AISI 1020, 50 mm x 400 mm x 4 in (Engranés).	1	und	\$ 43.80	\$ 43.80
Barra perforada de bronce 1 3/4 in x 1/2 in x 8 in (Cojinetes deslizantes).	1	und	\$ 43.47	\$ 43.47
Electrodo para acero inoxidable 316L	1	lb	\$ 14.72	\$ 14.72
Electrodos para acero inoxidable 308L	3	lb	\$ 12.95	\$ 38.85
<b>SUBTOTAL</b>				<b>\$ 1,371.84</b>

Tabla 54. Costo de materiales de cinta transportadora.

<b>BANDA TRANSPORTADORA</b>				
<b>Datos</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Costo Total</b>
Pernos inoxidable ALLEN M10-1.25 ISO 4.6, L 25 mm	8	und	\$ 1.36	\$ 10.88
Tuerca inoxidable M10	8	und	\$ 0.36	\$ 2.88
Arandelas inoxidable M10	16	und	\$ 0.09	\$ 1.44
Pernos inoxidable ALLEN M8-1.25 ISO 5.8, L 15 mm	34	und	\$ 0.64	\$ 21.76
Pernos inoxidable ALLEN M8-1.25 ISO 5.8, L 25 mm	30	und	\$ 0.81	\$ 24.30
Pernos inoxidable ALLEN M8-1.25 ISO 5.8, L 60 mm	14	und	\$ 1.39	\$ 19.46
Arandelas inoxidable M8	60	und	\$ 0.08	\$ 4.80
Tuerca inoxidable M8	68	und	\$ 0.18	\$ 12.24
Pernos de nivelación	4	und	\$ 1.25	\$ 5.00
Banda de eslabones (ACETAL)	5	m	\$ 9.50	\$ 47.50
Piñón de banda (ACETAL, Ø117 mm, B 59 mm)	2	und	\$ 10.00	\$ 20.00
Chumaceras UCFL204 Ø20 mm	4	und	\$ 13.65	\$ 54.60
Perfil de desgaste(Acetal) EX61	6	m	\$ 6.00	\$ 36.00
Rodillo de retorno(Acetal)	8	und	\$ 4.50	\$ 36.00
Soporte de riel para barandillas	4	und	\$ 5.50	\$ 22.00
<b>SUBTOTAL</b>				<b>\$ 318.86</b>

Tabla 55. Costo de materiales del sistema hidráulico.

<b>SISTEMA HIDRÁULICO</b>				
<b>Datos</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Costo Total</b>
Bomba JET acero inoxidable 1.5 hp, 220 V, 60 HZ	1	und	\$ 298.10	\$ 298.10
Mangueras hidráulicas de PVC reforzado	6	m	\$ 2.25	\$ 13.50
Codo 90 estándar Ø 1 in	4	und	\$ 0.60	\$ 2.40
Válvula de compuerta Ø 1 in	2	und	\$ 16.92	\$ 33.84
Tee estándar Ø 1 in	3	und	\$ 1.60	\$ 4.80
Abrazadera de acero inoxidable para mangueras 1/2 in	16	und	\$ 0.85	\$ 13.60
Presostato para tanque hidroneumático 20-65 psi.	1	und	\$ 25.00	\$ 25.00
Tanque hidroneumático 160 gal	1	und	\$ 465.00	\$ 465.00
Manómetro	1	und	\$ 18.66	\$ 18.66
Adaptador PVC Macho de 1 in	6	und	\$ 0.53	\$ 3.18
Unión Universal	3	und	\$ 2.50	\$ 7.50
Tubería PVC de 1 in x 6 m	2	und	\$ 6.45	\$ 12.90
Válvula check	1	und	\$ 11.95	\$ 11.95
<b>SUBTOTAL</b>				<b>\$ 910.43</b>

Tabla 56. Costo de materiales del sistema neumático.

<b>SISTEMA NEUMÁTICO</b>				
<b>Datos</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Costo Total</b>
Electroválvula 5/2 biestable, 1/8 in NPT, 24 VDC, conector DIN, supresor e indicador led, Cv 0.59	3	und	\$ 61.67	\$ 185.01
Unidad FR, Serie 30 A, rosca 3/8 NPT, dreño manual, filtraje 5 micrones, vaso policarbonato	1	und	\$ 38.83	\$ 38.83
Cilindro neumático doble efecto C, Ø 32 mm x 100 mm, rosca hembra, magnético	1	und	\$ 79.80	\$ 79.80
Cilindro neumático doble efecto A y B, Ø 20 mm x 150 mm, magnético	2	und	\$ 53.66	\$ 107.32
Racord neumático 1/4 in OD x G1/8 para cilindros	6	und	\$ 5.50	\$ 33.00
Racord neumático 1/4 in OD x 1/8 in NPT para válvulas	8	und	\$ 5.50	\$ 44.00
Racord neumático 1/4 in OD x 3/8 in NPT para FR y manifold	2	und	\$ 6.45	\$ 12.90
Base manifold SY5000, 1/4 in OD x 3/8 in NPT	1	und	\$ 30.25	\$ 30.25
Regulador de flujo 0- 8 bar 1/8 in NPT	1	und	\$ 19.00	\$ 19.00
Válvula anti retorno 1/8 in	1	und	6.50	\$ 6.50
Silenciador neumático de latón 1/8 in NPT	2	und	\$ 1.75	\$ 3.50
Manguera neumática, 1/4"	12	m	\$ 1.21	\$ 14.52
<b>SUBTOTAL</b>				<b>\$ 574.63</b>

Tabla 57. Costos de materiales del sistema de control.

<b>SISTEMA DE CONTROL</b>				
<b>Datos</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Costo Total</b>
PLC serie CPIL, 18 entradas, 12 salidas a relé, 24 VDC	1	und	\$ 390.00	\$ 390.00
Cable eléctrico VULCAN TSJ 3X14	6	m	\$ 1.55	\$ 9.30
Cable eléctrico TFF 16	15	m	\$ 0.35	\$ 5.25
Tomacorriente macho polarizado, 120 V	1	und	\$ 1.92	\$ 1.92
Tomacorriente macho polarizado, 220 V	1	und	\$ 2.75	\$ 2.75
Sensores de flujo, 5–24 VDC	4	und	\$ 16.90	\$ 67.60
Driver CW5045	1	und	\$ 35.81	\$ 35.81
Motor paso a paso Nema 34	1	und	\$ 57.11	\$ 57.11
Finales de carrera magnético, 100mA, 12-24 VDC	6	und	\$ 21.61	\$ 129.66
Interruptor NA	3	und	\$ 4.35	\$ 13.05
Pulsador NC	1	und	\$ 4.35	\$ 4.35
Pulsador NA	3	und	\$ 2.69	\$ 8.07
Fuente de alimentación	1	und	\$ 112.20	\$ 112.20
Sensores de posición, 12–24 VDC, 2000 mm	2	und	\$ 85.00	\$ 170.00
<b>SUBTOTAL</b>				<b>\$ 1007.07</b>

Tabla 58. Costo de materiales para boquillas.

<b>BOQUILLAS</b>				
<b>Datos</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Costo Total</b>
Resorte acero inoxidable Øalambre 1.6 mm, Øe 18.2 mm , Øi 15 mm	4	und	\$ 8.75	\$ 35.00
Alzas de goma Ultraneo Øi 12 mm, Øe 30 mm, 10 mm	8	und	\$ 2.24	\$ 17.92
Oring Ø 13 mm, Øes 2 mm	4	und	\$ 0.46	\$ 1.84
Oring Øm 8 mm, Øes 1.5 mm	4	und	\$ 0.32	\$ 1.28
O-ring rectangular Øex 13 mm, Øi 8 mm, es 1.5 mm	4	und	\$ 0.49	\$ 1.96
Separadores de Nylon Øi 12 mm, Øe 30 mm, 10 mm	4	und	\$ 3.25	\$ 13.00
<b>SUBTOTAL</b>				<b>\$ 71.00</b>

Tabla 59. Costo total de materiales.

<b>TOTAL DE MATERIALES</b>	<b>\$ 4,253.83</b>
----------------------------	--------------------

Los materiales y componentes necesarios para la construcción de la máquina serán proporcionados a una empresa o taller de metal-mecánica, para que los técnicos expertos puedan realizar el trabajo de construcción, ya que ellos cuentan con todo el equipo necesario para realizar cada uno de los procesos que conlleva la construcción de la máquina llenadora de envases y fabricación de todos los elementos, además se necesita que los técnicos cuenten con la suficiente experiencia porque muchas de las operaciones cuentan con cierto grado de complejidad y cualquier mínimo error repercutirá en problemas a la hora del ensamble y prueba de la máquina.

Cabe resaltar que el costo por mano de obra es un costo aproximado, porque algunos insumos que los técnicos utilicen en algunas operaciones para la fabricación fluctúan en precio con el tiempo y esto supondrá un considerable aumento o disminución en la mano de obra, debido a que la empresa tiene que proporcionar su equipo y herramientas propias como lo son las brocas, fresas, buriles, esmeriladoras y todas las demás herramientas y accesorios que ellos necesiten para la construcción y fabricación de la máquina y sus componentes.

Tabla 60. Costos por mano de obra.

Elementos		Tiempo (h)	Costo Total
Estructura metálica	Base Metálica, base para sensores, bases para cilindros, varillas guías para cojinetes, cojinetes de fricción	20	\$ 395.00
Banda transportadora	Fabricación chasis de banda transportadora, separadores del chasis, ejes y engranajes de transmisión, alzas de chumaceras, tensor de banda, barandas, soporte para motor paso, cuñero, ensamble, guarda de seguridad del motor.	36	\$ 640.00
Tornillo de potencia	Tornillo de potencia	8	\$ 65.00
Estructura porta boquillas	Fabricación	8	\$ 60.00
Boquillas (4)	Fabricación	24	\$ 300.00
Tanque de rebalse	Fabricación	8	\$ 100.00
Manifold	Fabricación	8	\$ 85.00
Gabinete del tablero de control	Fabricación	8	\$ 50.00
Ensamble de los elementos	Ensamble de elementos, pruebas finales, ajustes de mecanismos.	30	\$ 200.00
Sistema neumático	Instalación	12	\$ 150.00
Sistema hidráulico	Instalación	12	\$ 100.00
Sistema de control	Instalación	20	\$ 350.00
<b>TOTAL DE FABRICACIÓN</b>			<b>\$ 2,495.00</b>

### 3.2 COSTOS INDIRECTOS

Estos son los costos que no intervienen en la construcción directa de la máquina pero que siempre están presentes y no pueden medirse o asignarse de forma exacta.

Los materiales y componentes que serán proporcionados a la empresa deberán ser enviados al taller de la empresa contratada para la fabricación, de manera que se considera el transporte de estos materiales y componentes como un costo indirecto, además se considera un monto designado como otros costos que servirá como un margen de seguridad por si surgen gastos que deban ser cubiertos.

Tabla 61. Costos indirectos.

<b>Costos indirectos</b>	<b>Costo</b>
Transporte	\$ 200.00
Otros costos	\$ 400.00
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 600.00</b>

### 3.3 COSTO TOTAL DE LA MÁQUINA

El costo total de la máquina permite tener una estimación bastante acertada de lo que conllevaría económicamente la construcción de la máquina llenadora de envases diseñada en el presente trabajo.

Tabla 62. Costos totales.

<b>Descripción</b>	<b>Costo</b>
Costos de materiales	\$ 4,253.83
costos de mano de obra	\$ 2,495.00
Costos indirectos	\$ 600.00
<b>TOTAL DE LA MÁQUINA</b>	<b>\$ 7,348.83</b>

## CONCLUSIONES

1. Las piezas mecánicas de la máquina no poseen geometrías complejas, lo que permite a la misma ser fabricada por un taller local que posea tecnología moderada.
2. El tanque hidroneumático resulto ser más viable, permitiéndole periodos de descanso considerables a la bomba y por sus menores costos comparados a los costos de fabricación de una torre de 6.4 m para un tanque elevado.
3. El costo total de fabricación de la máquina es de \$ 7,348.83, un monto mucho menor al de las máquinas que se pueden encontrar en el mercado local con las mismas características, siendo los precios del mercado para este tipo de máquinas de \$ 23,750.00 sin IVA.
4. El motor paso a paso es ideal para este tipo de maquinaria donde está sometido a paros y arranques continuos, teniendo como ventaja su alta precisión y control, permitiendo establecer los parámetros deseados por medio de un programa digital.
5. Se presentaron los manuales de ensamble, operación y mantenimiento, lo que facilita la fabricación de la máquina y proporciona al personal operativo y técnico las herramientas para una mejor operación y entendimiento de cada sistema de la máquina.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Nacional, I. P. (2015). Sistema automatizado para el control de embotellado. México.
- [2] Calderón, R. J. (2017). Diseño de un sistema automatizado de envasado y dosificación de productos desinfectantes veterinarios. (Tesis de ingeniería). Universidad Autónoma de occidente, Cali Colombia.
- [3] Campoverde, H. C. (2010). Diseño e implementación de una máquina flexible para envasado de líquidos. Tesis de ingeniería. Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.
- [4] Sánchez, J. J. (2015). Construcción de máquina llenadora de y tapadora lineal para botellas PET de 500CC semiautomática. Tesis de ingeniería. Universidad técnica del norte, Ibarra Ecuador.
- [5] Carrasco, A. d. (2015). Construcción e implementación de una máquina envasadora y dosificadora de refrescos para la industria de lácteos Santillán "Prasol". Tesis de ingeniería. Escuela superior politécnica de chimborazo, Riobamba Ecuador.
- [6] AIU. (s.f.). Atlantic International University. Obtenido de Sistemas hidráulicos:  
<https://cursos.aiu.edu/sistemas%20hidraulicas%20y%20neumaticos/pdf/tema%201.pdf>
- [7] fnmt. (s.f.). Clasificación y tipos de bombas. Obtenido de  
<https://www.fnmt.es/documents/10179/10666378/Clasificaci%c3%b3n+y+tipos+de+bombas.pdf/9eb9b616-ea47-0841-566b-3b49a93e83bf>
- [8] Murcia, R. (2019). Repuestos Murcia. Obtenido de Neumatica Industrial: <https://repuestosmurcia.com/neumatica-industrial-aplicaciones-ventajas-desventajas/>
- [9] Beriain, L. (noviembre de 2016). Blogspot. Obtenido de Neumática:  
<https://elaireapresion.blogspot.com/p/propiedades-fisicas-del-air.html>
- [10] Solórzano, M. A. (2011). Incremento de la eficiencia de una máquina llenadora de botellas, a través de un reacondicionamiento mecánico, en la planta purificadora de agua "La Corona". Tesis de ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- [11] DOCPLAYER. (s.f.). DOCPLAYER. Obtenido de Válvulas neumáticas:  
<https://docplayer.es/21666442-4-valvulas-neumaticas.html>

- [12] Nepta, J. P. (Febrero de 2019). Portal electromecánico. Obtenido de Tipos de compresores:  
[http://www.portalelectromecanico.org/CURSOS/Compresores/tipos\\_de\\_compresores.html](http://www.portalelectromecanico.org/CURSOS/Compresores/tipos_de_compresores.html)
- [13] Virel. (octubre de 2015). El empaque. Obtenido de Llenadora manual de líquidos lmn 22 con roscador neumático adaptable:  
<https://www.elempaque.com/temas/Llenadora-manual-de-liquidos-LMN-22-con-roscador-neumatico-adaptable+108260>
- [14] pack, a. (s.f.). abc pack. Obtenido de Llenadora rotativa:  
<https://www.abc-pack.com/productos/llenadora-rotativa/>
- [15] COMAQ. (s.f.). COMAQ. Obtenido de Llenadoras de líquido lineal:  
<https://www.comaq.co/store/LLENADORAS-DE-L-QUIDOS/LLENADORAS-DE-L-QUIDOS-LINEAL/24>
- [16] Forge, M. (s.f.). Metal Forge. Obtenido de Banda transportadora:  
<http://metal-forge.com/conveyors-installation-service/slat-chain-conveyors/>
- [17] pack, a. (2015). abc pack. Obtenido de Transportador modular de rodillos motorizados TRM-PP: <https://www.abc-pack.com/productos/transportador-modular-de-rodillos-motorizados-trm-pp/>
- [18] fnmt. (s.f.). Clasificación y tipos de bombas. Obtenido de <https://www.fnmt.es/documents/10179/10666378/Clasificaci%c3%b3n+y+tipos+de+bombas.pdf/9eb9b616-ea47-0841-566b-3b49a93e83bf>
- [19] Desconocido. (s.f.). docplayer. Obtenido de Maquinas hidráulicas:  
<https://docplayer.es/10465095-Maquinas-hidraulicas-bombas-para-liquidos.html>
- [20] Sarzosa, P. (2013). Estudio de un sistema de dosificación de líquidos aplicable en el laboratorio de sistemas de medición y control industrial para controlar el proceso de llenado de botellas. Tesis de ingeniería. Universidad técnica de ambato, Ambato Ecuador.
- [21] Nisbett, R. G. (2008). Diseño de Ingeniería mecánica de Shigley. México: Mc Graw Hill.

- [22] Useche, L. V. (2018). Diseño de elementos de máquinas. Colombia: Editorial UTP.
- [23] Mott, R. L. (2015). Mecánica de fluidos. Pearson.
- [24] Solé, A. C. (2007). Neumática e Hidráulica. España: Marcombo.
- [25] Ogata, K. (2010). Ingeniería de control moderna. Madrid. España: Pearson.
- [26] Askeland, D. R. (2016). Ciencia e ingeniería de materiales. México: Cengage Learning.
- [27] Polytec, G. (s.f.). Grupo Polytec. Obtenido de Catálogo de envases Plásticos: <https://lacoplast.com.gt/catalogo-2/page/6/>
- [28] Fp ingeniería eléctrica. (marzo de 2017). Obtenido de Cálculo de actuador neumático: <http://fpeingenieriaelectrica.blogspot.com/2017/03/calculo-del-actuador-neumatico-fuerza.html>
- [29] Herran-Sandoval, A. (agosto de 2014). Scielo. Obtenido de Tanques hidroneumáticos : [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-24222014000400011](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222014000400011)
- [30] Omron. (2012). assets omron. Obtenido de Especificaciones CP series CP1L: [https://assets.omron.eu/downloads/datasheet/en/v2/p081\\_cp-series\\_cp1l\\_cpu\\_unit\\_datasheet\\_en.pdf](https://assets.omron.eu/downloads/datasheet/en/v2/p081_cp-series_cp1l_cpu_unit_datasheet_en.pdf)
- [31] Olimex. (s.f.). Olimex. Obtenido de Especificaciones sensor de flujo: [https://www.olimex.com/Products/Components/Sensors/SNS-FLOW201/resources/Water\\_flow\\_sensor\\_datasheet.pdf](https://www.olimex.com/Products/Components/Sensors/SNS-FLOW201/resources/Water_flow_sensor_datasheet.pdf)
- [32] CNC4YOU. (s.f.). astrosurf. Obtenido de Stepper Motor Driver: <http://www.astrosurf.com/mcmtii/images32/CW5045.pdf>

- [33] Surestep. (2005). automationdirect. Obtenido de Sistema de motores paso paso:  
<https://cdn.automationdirect.com/static/manuals/surestepmanualsp/surestepmanualsp.pdf>
- [34] Icus. (s.f.). Icus. Obtenido de stepper motor:  
<https://www.igus.es/contentData/wpck/pdf/global/MOT-AN-S-EN.pdf>
- [35] Bearing, S. (2020). SKF. de UCFL 204/H:  
<https://www.skf.com/mx/products/mounted-bearings/ball-bearing-units/flanged-ball-bearing-units/productid-UCFL%20204%2FH>

## GLOSARIO

PET: (polietilentereftalato) es un polímero plástico que se obtiene mediante un proceso de polimerización de ácido tereftálico y monoetilenglicol. Es un polímero lineal, con un alto grado de cristalinidad y termoplástico en su comportamiento, lo cual lo hace apto para ser transformado mediante procesos de extrusión, inyección, inyección-soplado y termoformado.

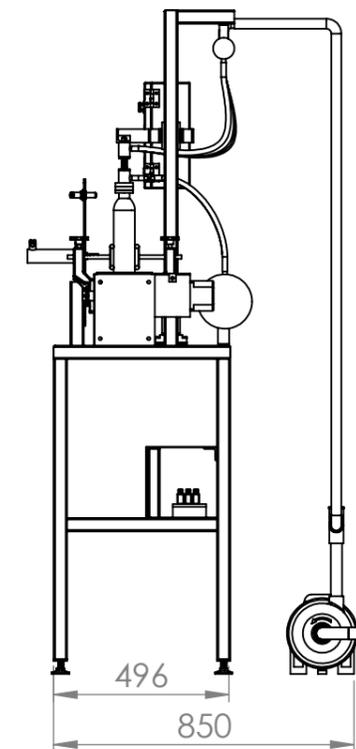
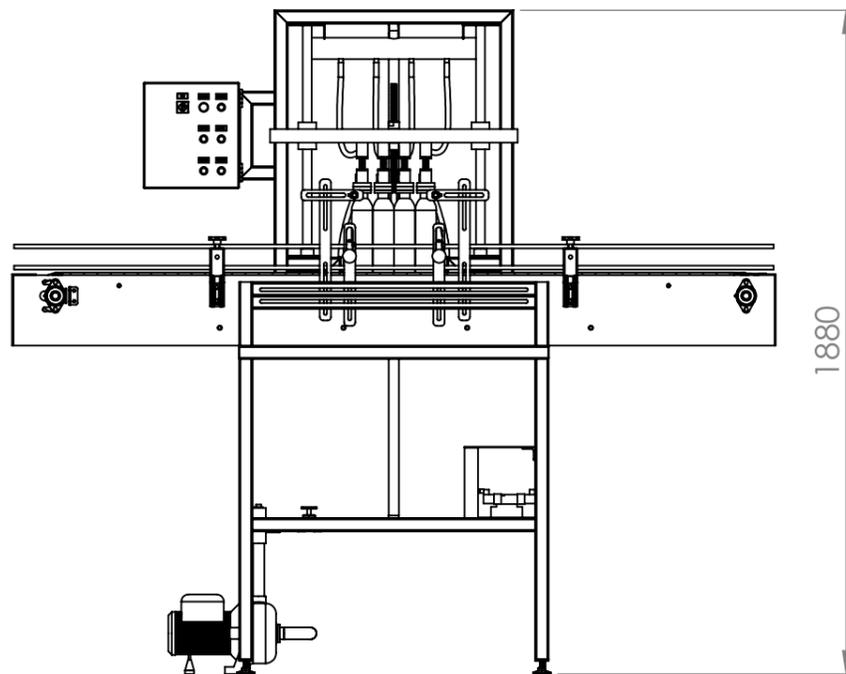
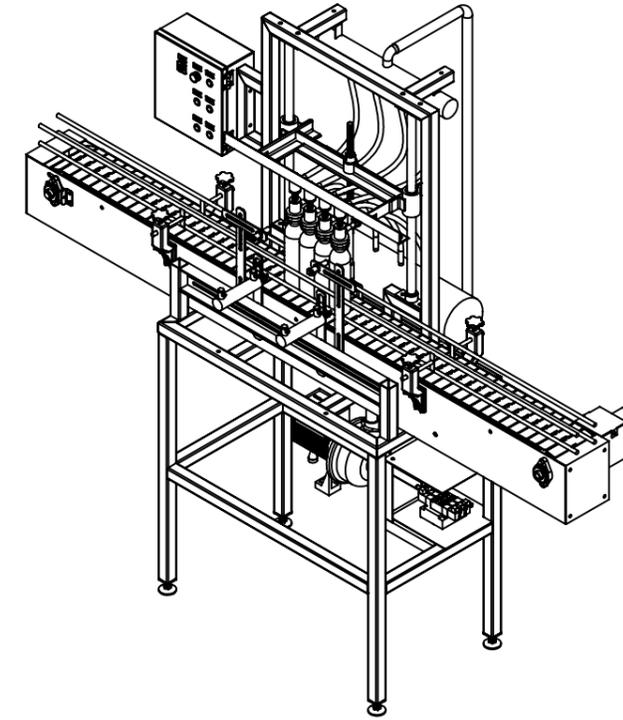
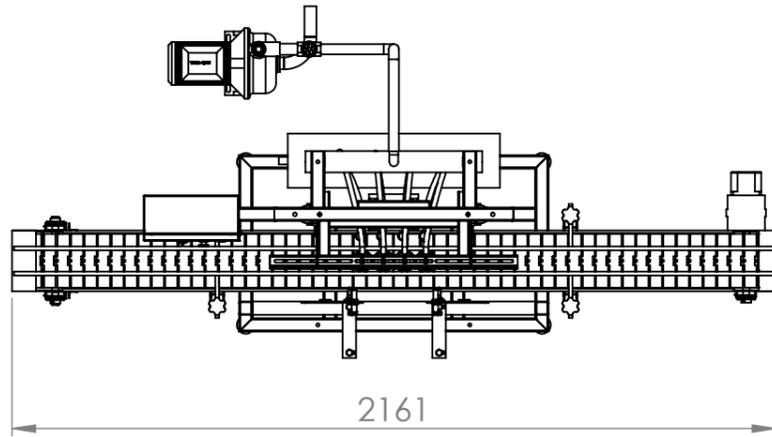
CAE: (ingeniería asistida por ordenador) consiste en el uso de software para simular el rendimiento con el objetivo de mejorar los diseños de los productos o de contribuir a la resolución de problemas de ingeniería para sectores muy diversos.

ANALISIS DE ELEMENTOS FINITOS: es un método computarizado para predecir cómo reaccionará un producto ante las fuerzas, la vibración, el calor, el flujo de fluidos y otros efectos físicos del mundo real. Esta simulación de elementos finitos permite comprobar si un producto se romperá, desgastará o funcionará como se espera.

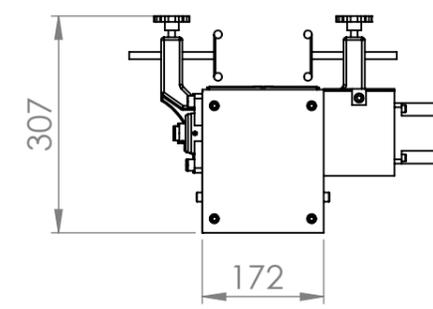
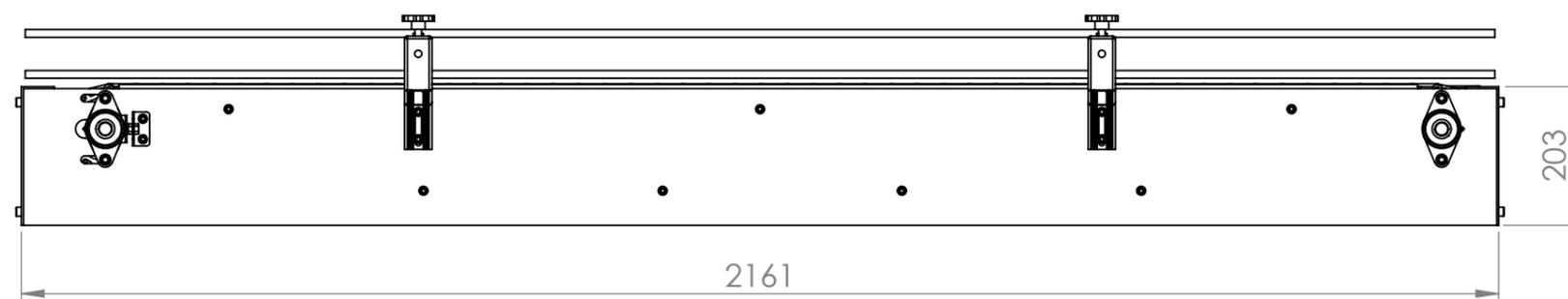
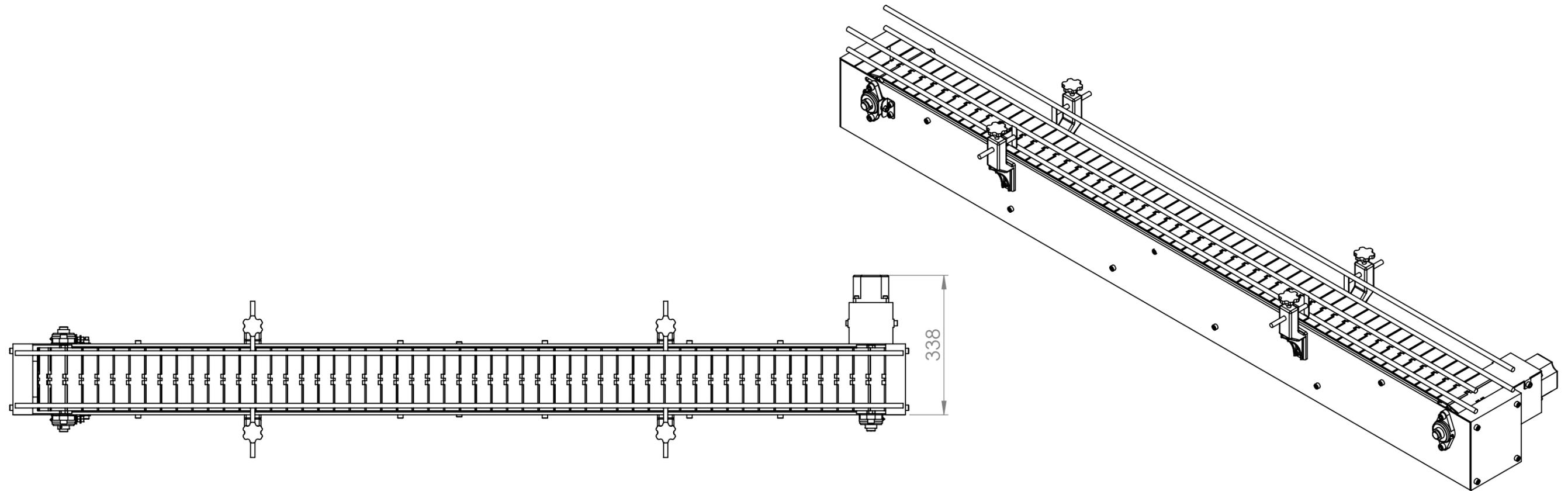
ACETAL: (POM o Polioximetileno) es un termoplástico que se caracteriza por su elevada resistencia, dureza y rigidez.

**ANEXO A. PLANOS**

# **PLANOS**



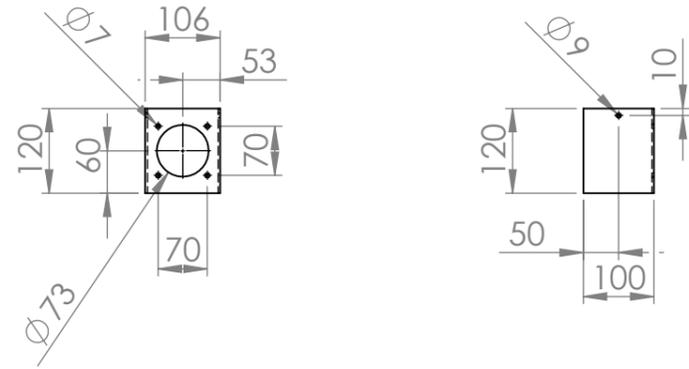
ESCALA	DISEÑARON:	Alexander Ernesto Cortez Espinoza Edgar Josué Parada Zelaya Adiel Isai Valencia Chávez	09/2021		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	HOJA 1/1
1:20	REVISÓ:	Ing. Rigoberto Velásquez Paz	10/2021		CÓDIGO	
UNIDADES: milímetros	NOMBRE:	PLANO DE PRESENTACIÓN	MATERIAL:	Autopista Norte y Final Avenida Héroes y Mártires del 30 de Julio, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador.	FORMATO: A3	
			CANTIDAD: 1			



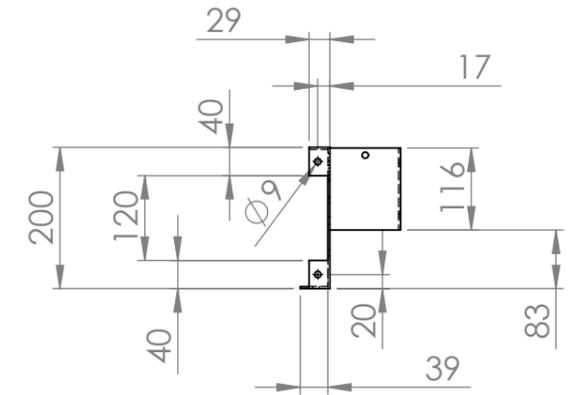
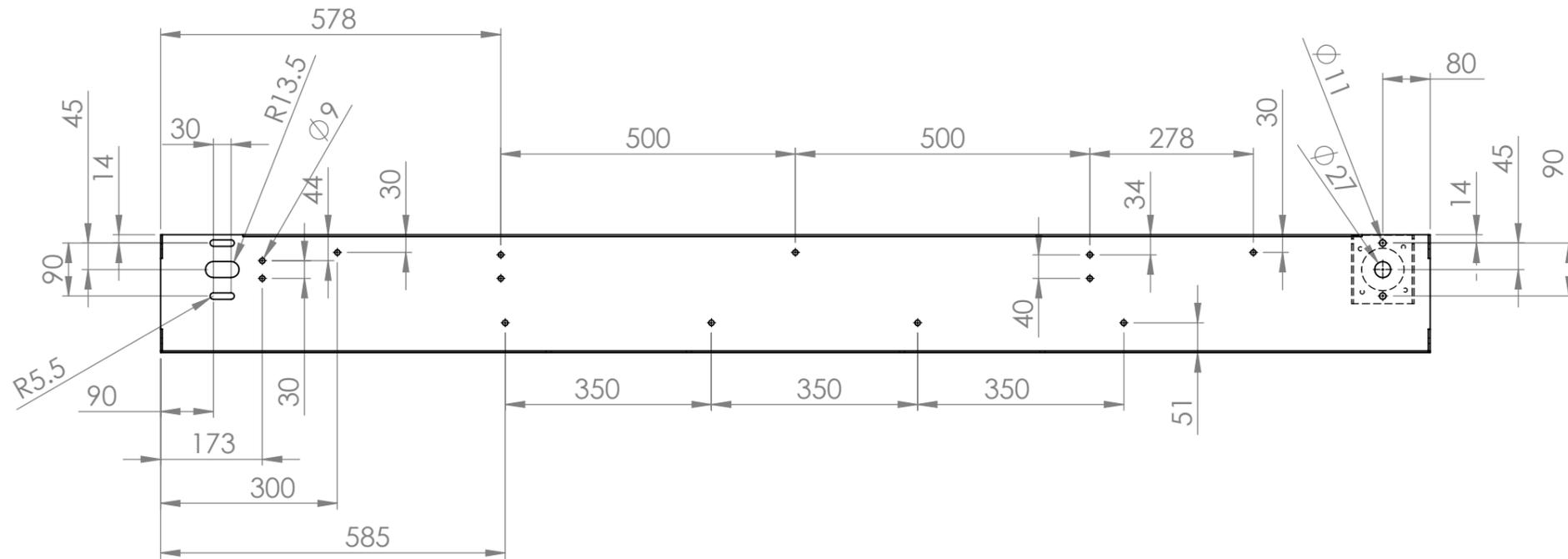
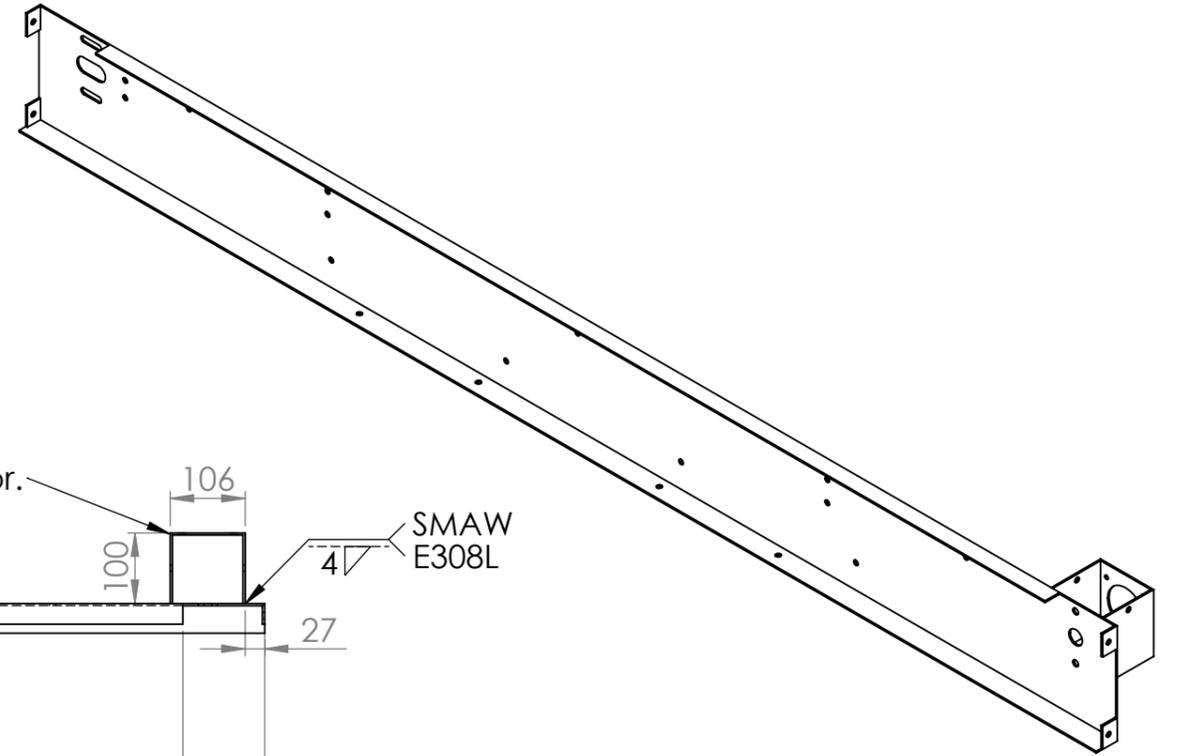
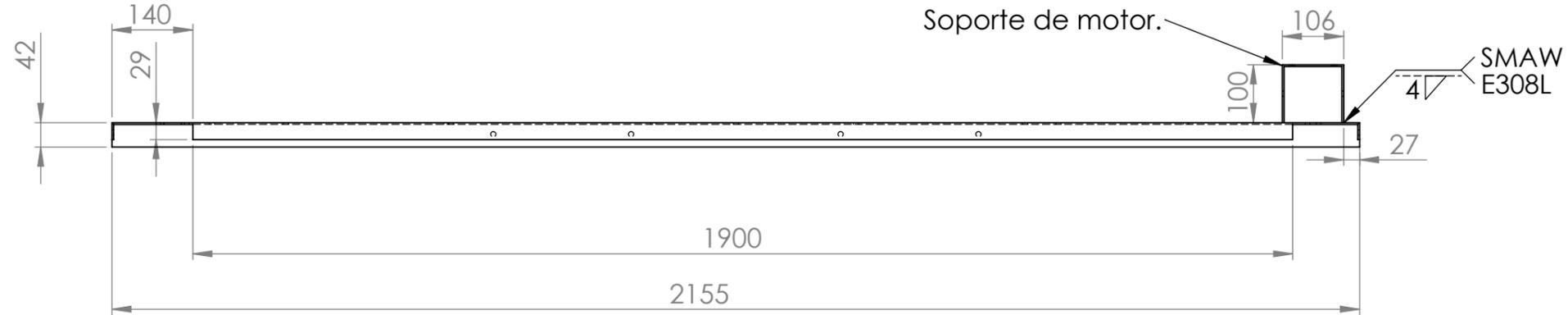
ESCALA	Alexander Ernesto Cortez Espinoza		09/2021		HOJA 1/13
1:10	DISEÑARON:	Edgar Josué Parada Zelaya Adiel Isai Valencia Chávez	10/2021		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
	REVISÓ:	Ing. Rigoberto Velásquez Paz		Autopista Norte y Final Avenida Héroes y Mártires del 30 de Julio, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador.	FORMATO: A3
	UNIDADES: milímetros	NOMBRE:	PLANO DE BANDA TRANSPORTADORA		MATERIAL:
			CANTIDAD: 1		

LÁMINA e = 3 mm

Detalle de soporte de motor.



Soporte de motor.



ESCALA	Alexander Ernesto Cortez Espinoza		09/2021
1:10	DISEÑARON:	Edgar Josué Parada Zelaya	10/2021
	REVISÓ:	Adiel Isai Valencia Chávez	
		Ing. Rigoberto Velásquez Paz	
	TRABAJO DE GRADUACIÓN:		
	PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA MÁQUINA LLENADORA DE ENVASES PET		
UNIDADES: milímetros	NOMBRE:	PLANO DE DETALLE DE BANDA TRANSPORTADORA PLACA LATERAL DERECHA	MATERIAL: AISI 304 CANTIDAD: 1



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

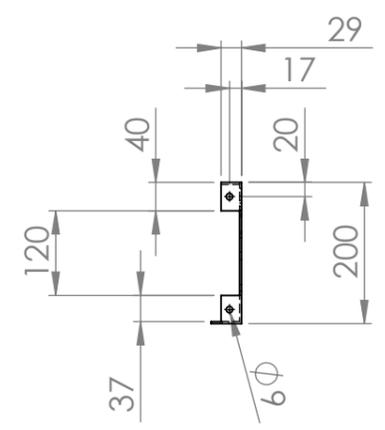
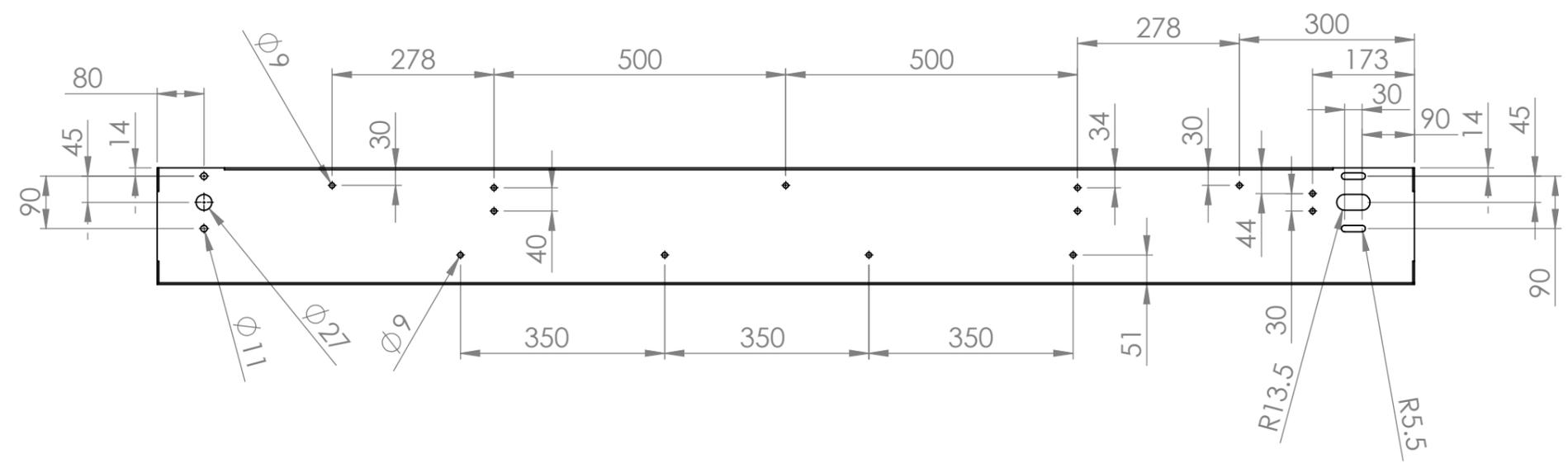
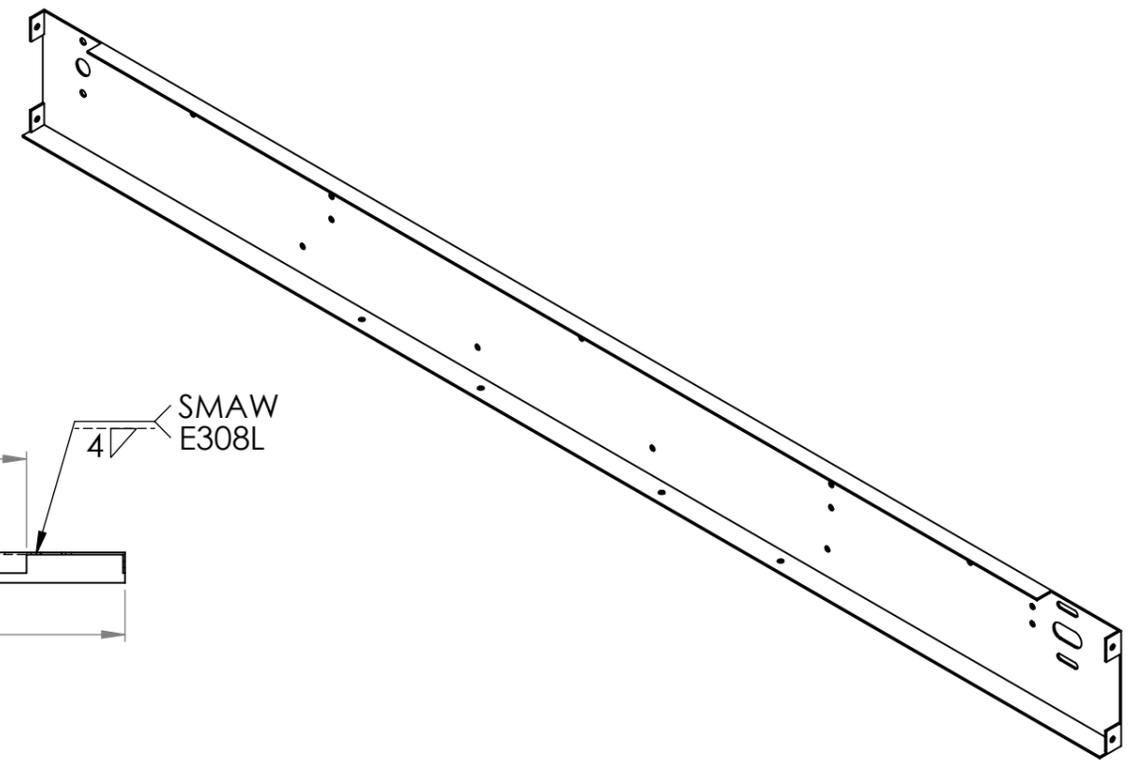
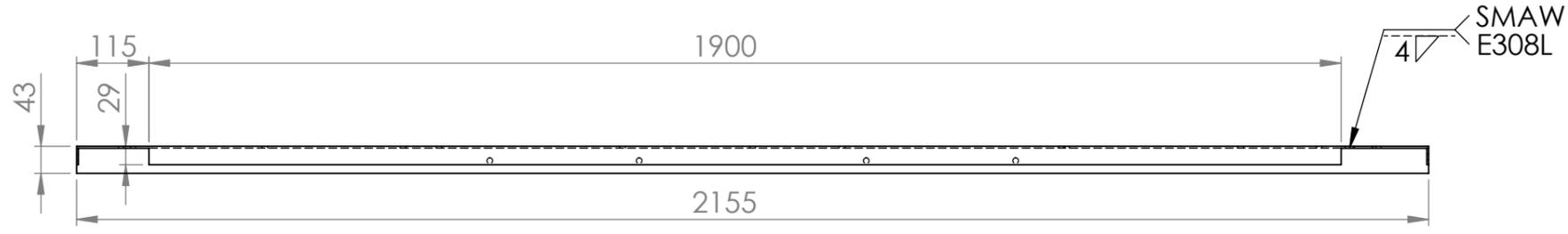
Autopista Norte y Final Avenida Héroes  
y Mártires del 30 de Julio,  
Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador.

HOJA 2/13

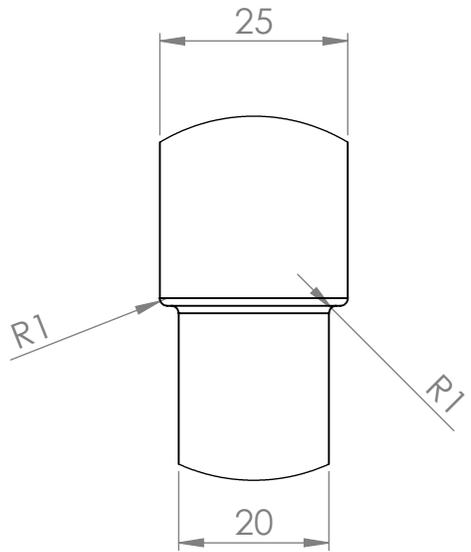
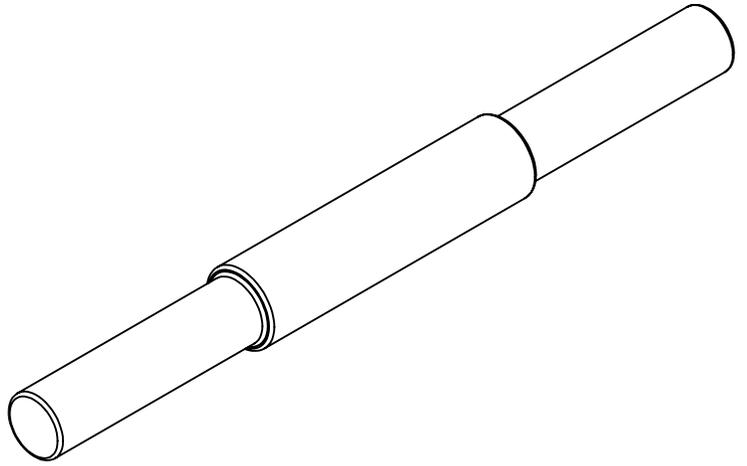
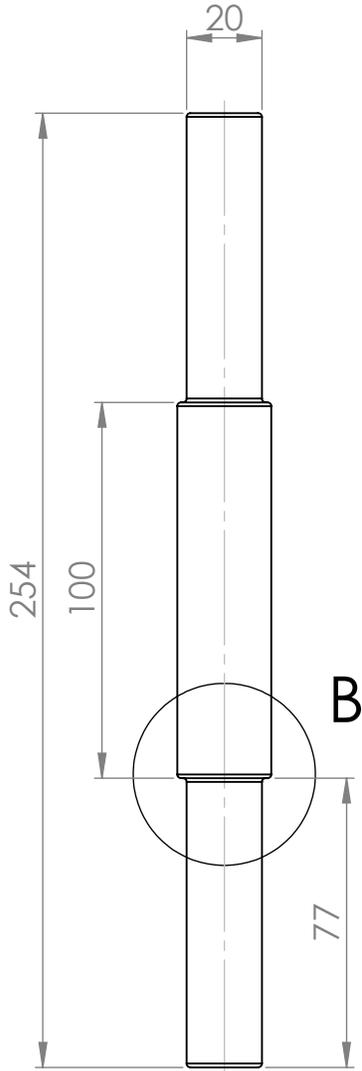
CÓDIGO

FORMATO:  
A3

LÁMINA e = 3 mm



ESCALA	DISEÑARON:	Alexander Ernesto Cortez Espinoza Edgar Josué Parada Zelaya Adiel Isai Valencia Chávez	09/2021		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	HOJA 3/13
1:10	REVISÓ:	Ing. Rigoberto Velásquez Paz	10/2021		Autopista Norte y Final Avenida Héroes y Mártires del 30 de Julio, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador.	CÓDIGO
UNIDADES: milímetros	NOMBRE:	PLANO DE DETALLE DE BANDA TRANSPORTADORA CUBIERTA LATERAL IZQUIERDA	MATERIAL: AISI 304 CANTIDAD: 1		FORMATO: A3	

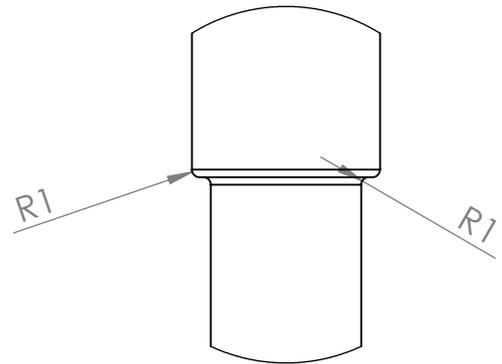
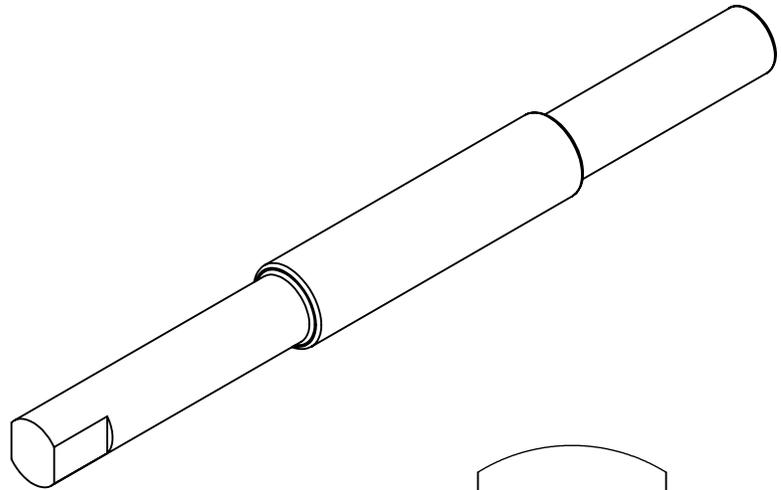
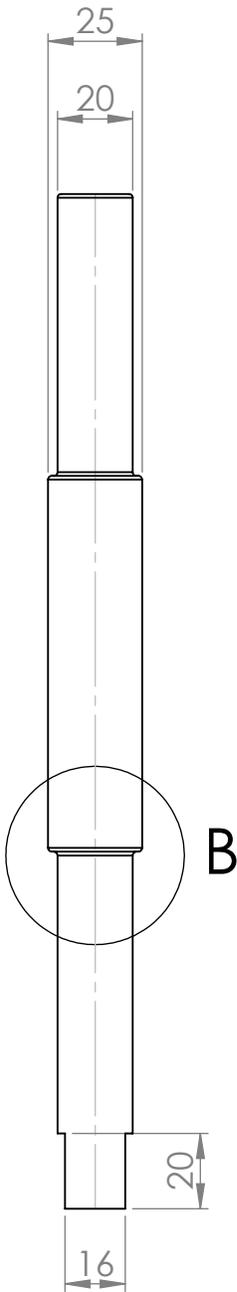


## DETALLE B

ESCALA 1 : 1

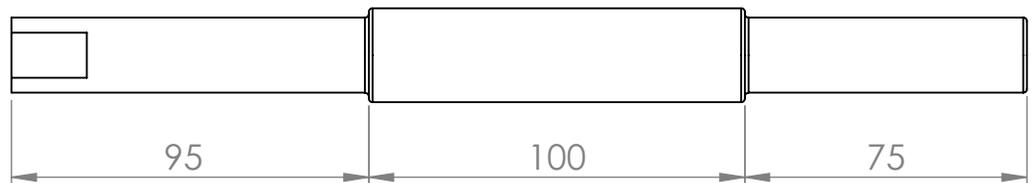


ESCALA	DISEÑARON:	Alexander Ernesto Cortez Espinoza Edgar Josué Parada Zelaya Adiel Isaf Valencia Chávez	09/2021		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	HOJA 4/13
1:2	REVISÓ:	Ing. Rigoberto Velásquez Paz	10/2021		Autopista Norte y Final Avenida Héroes y Mártires del 30 de Julio, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador.	CÓDIGO
	TRABAJO DE GRADUACIÓN: PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA MÁQUINA LLENADORA DE ENVASES PET				FORMATO: TAMAÑO CARTA	
UNIDADES: milímetros	NOMBRE:	PLANO DE DETALLE DE BANDA TRANSPORTADORA EJE DE RETORNO	MATERIAL AISI 304 CANTIDAD: 1			

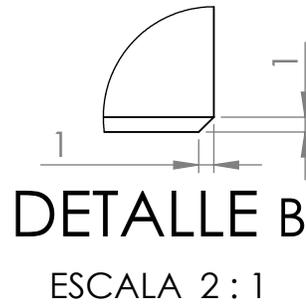
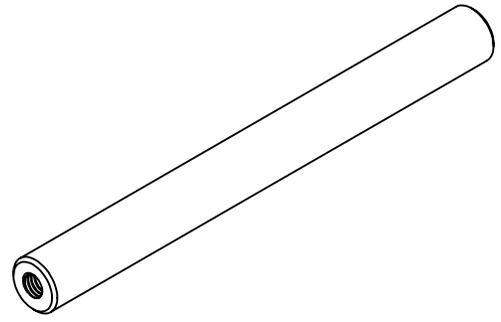
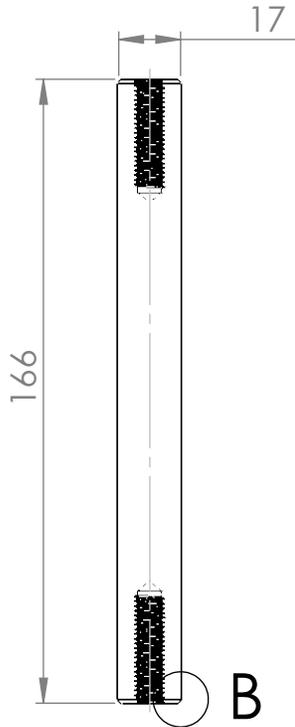


## DETALLE B

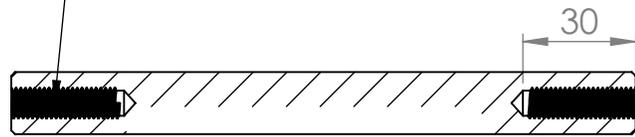
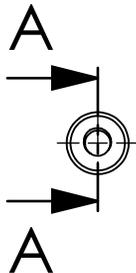
ESCALA 1 : 1



ESCALA	DISEÑARON:	Alexander Ernesto Cortez Espinoza Edgar Josué Parada Zelaya Adiel Isaf Valencia Chávez	09/2021		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	HOJA 5/13
1:2	REVISÓ:	Ing. Rigoberto Velásquez Paz	10/2021		CÓDIGO	
	TRABAJO DE GRADUACIÓN:	PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA MÁQUINA LLENADORA DE ENVASES PET			Autopista Norte y Final Avenida Héroes y Mártires del 30 de Julio, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador.	FORMATO: TAMAÑO CARTA
UNIDADES: milímetros	NOMBRE:	PLANO DE DETALLE DE BANDA TRANSPORTADORA EJE DE TRANSMISIÓN			MATERIAL AISI 304	
			CANTIDAD: 1			

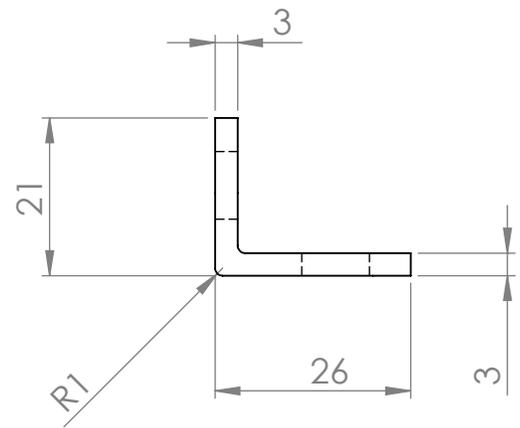
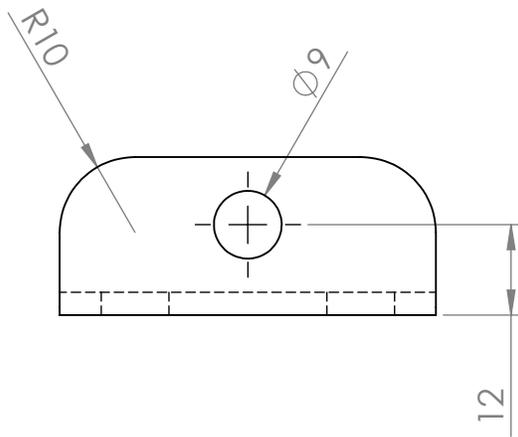
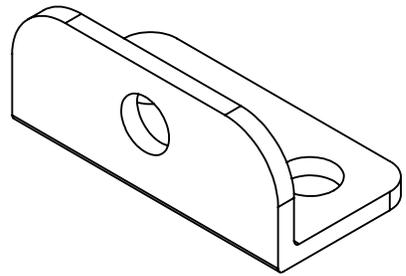
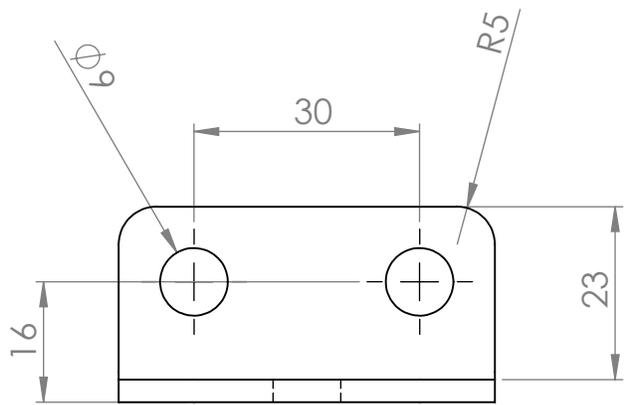


ROSCA M8x1.25

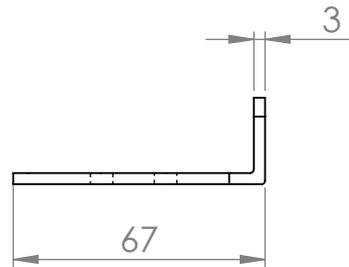
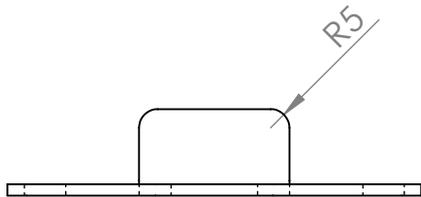
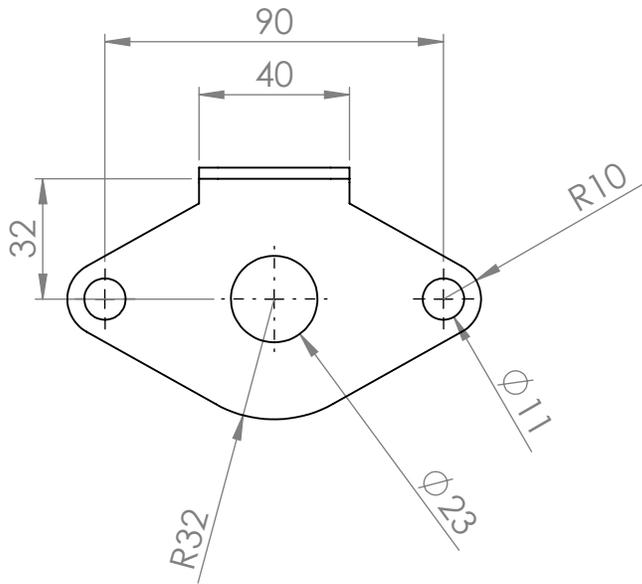


**SECCIÓN A-A**

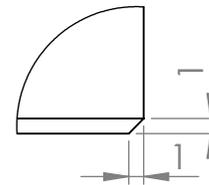
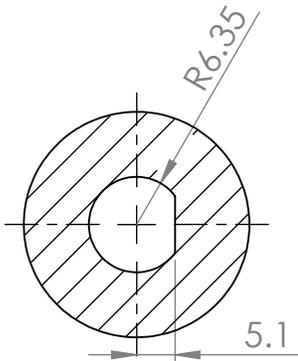
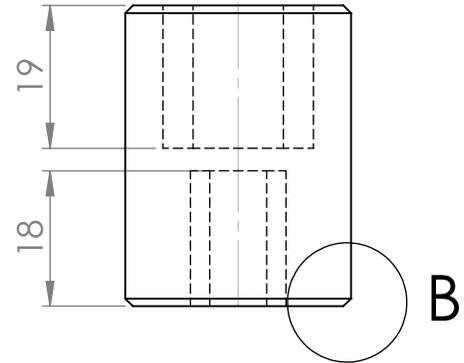
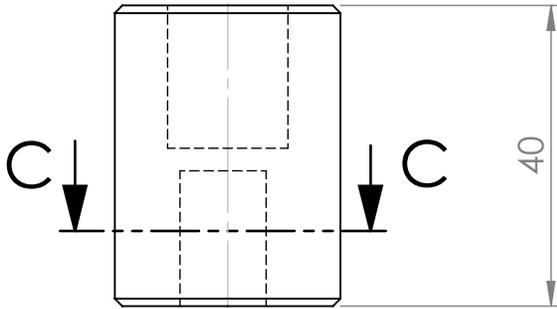
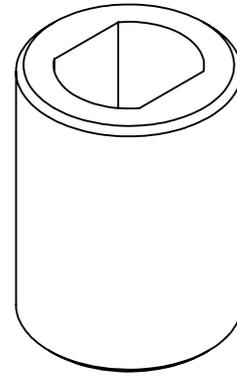
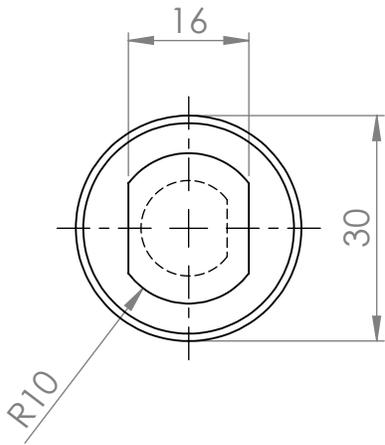
ESCALA	DISEÑARON:	Alexander Ernesto Cortez Espinoza Edgar Josué Parada Zelaya Adiel Isaf Valencia Chávez	09/2021		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	HOJA 6/13
1:2	REVISÓ:	Ing. Rigoberto Velásquez Paz	10/2021		CÓDIGO	
	TRABAJO DE GRADUACIÓN: PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA MÁQUINA LLENADORA DE ENVASES PET					
UNIDADES: milímetros	NOMBRE:	PLANO DE DETALLE DE BANDA TRANSPORTADORA SEPARADOR DE BANDA	MATERIAL AISI 304 CANTIDAD: 7		Autopista Norte y Final Avenida Héroes y Mártires del 30 de Julio, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador.	FORMATO: TAMAÑO CARTA



ESCALA	DISEÑARON:	Alexander Ernesto Cortez Espinoza Edgar Josué Parada Zelaya Adiel Isaf Valencia Chávez	09/2021		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	HOJA 7/13
1:1	REVISÓ:	Ing. Rigoberto Velásquez Paz	10/2021		Autopista Norte y Final Avenida Héroes y Mártires del 30 de Julio, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador.	CÓDIGO
	TRABAJO DE GRADUACIÓN: PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA MÁQUINA LLENADORA DE ENVASES PET			MATERIAL AISI 304	FORMATO: TAMAÑO CARTA	
UNIDADES: milímetros	NOMBRE: PLANO DE DETALLE DE BANDA TRANSPORTADORA PLACA DE AJUSTE		CANTIDAD: 2			



ESCALA	DISEÑARON:	Alexander Ernesto Cortez Espinoza Edgar Josué Parada Zelaya Adiel Isaf Valencia Chávez	09/2021		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	HOJA 8/13	
1:2	REVISÓ:	Ing. Rigoberto Velásquez Paz	10/2021			Autopista Norte y Final Avenida Héroes y Mártires del 30 de Julio, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador.	CÓDIGO
	TRABAJO DE GRADUACIÓN: PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA MÁQUINA LLENADORA DE ENVASES PET						
UNIDADES: milímetros	NOMBRE:	PLANO DE DETALLE DE BANDA TRANSPORTADORA SOPORTE DE CHUMACERA	MATERIAL AISI 304 CANTIDAD: 2				



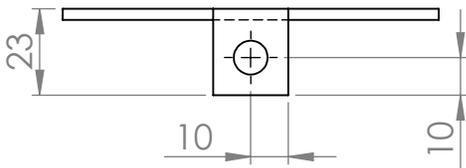
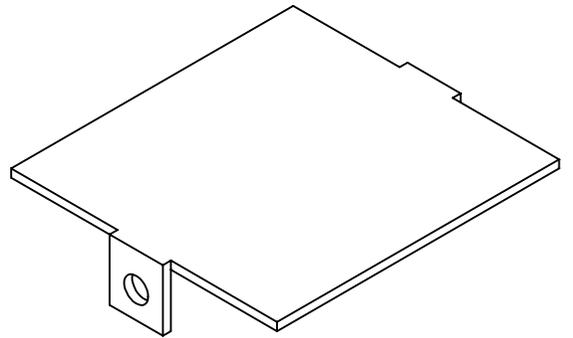
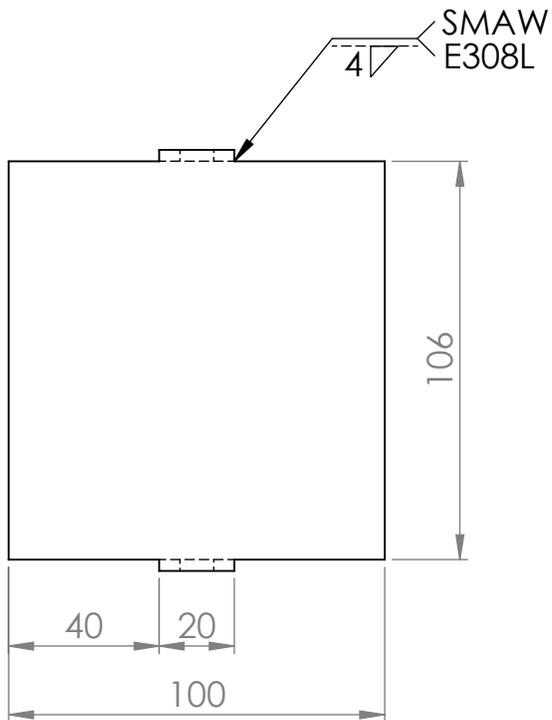
SECCIÓN C-C

DETALLE B

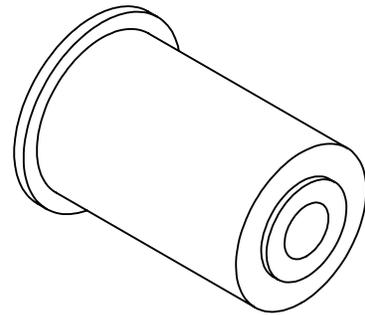
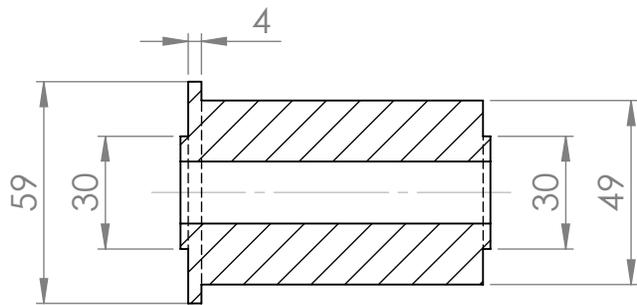
ESCALA 2 : 1

ESCALA	DISEÑARON:	Alexander Ernesto Cortez Espinoza Edgar Josué Parada Zelaya Adiel Isaf Valencia Chávez	09/2021		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	HOJA 9/13
1:1	REVISÓ:	Ing. Rigoberto Velásquez Paz	10/2021		CÓDIGO	
	TRABAJO DE GRADUACIÓN: PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA MÁQUINA LLENADORA DE ENVASES PET			Autopista Norte y Final Avenida Héroes y Mártires del 30 de Julio, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador.	FORMATO: TAMAÑO CARTA	
UNIDADES: milímetros	NOMBRE:	PLANO DE DETALLE DE BANDA TRANSPORTADORA ACOPLE DEL MOTOR	MATERIAL AISI 304 CANTIDAD: 1			

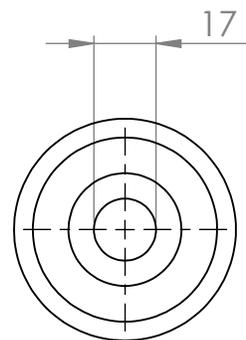
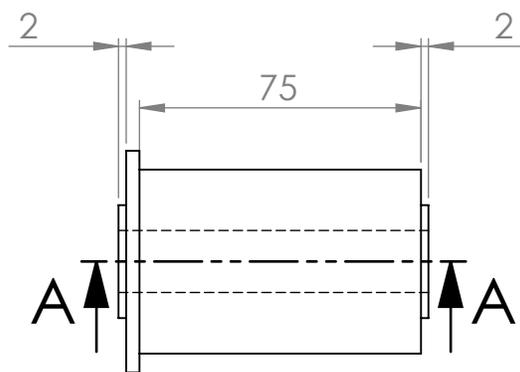
# LÁMINA e = 3 mm



ESCALA	DISEÑARON:	Alexander Ernesto Cortez Espinoza Edgar Josué Parada Zelaya Adiel Isai Valencia Chávez	09/2021		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	HOJA 10/13
1:2	REVISÓ:	Ing. Rigoberto Velásquez Paz	10/2021		CÓDIGO	
	TRABAJO DE GRADUACIÓN:	PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA MÁQUINA LLENADORA DE ENVASES PET			Autopista Norte y Final Avenida Héroes y Mártires del 30 de Julio, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador.	FORMATO: TAMAÑO CARTA
UNIDADES: milímetros	NOMBRE:	PLANO DE DETALLE DE BANDA TRANSPORTADORA CUBIERTA DE ACOPLE DEL MOTOR	MATERIAL AISI 304 CANTIDAD: 1			

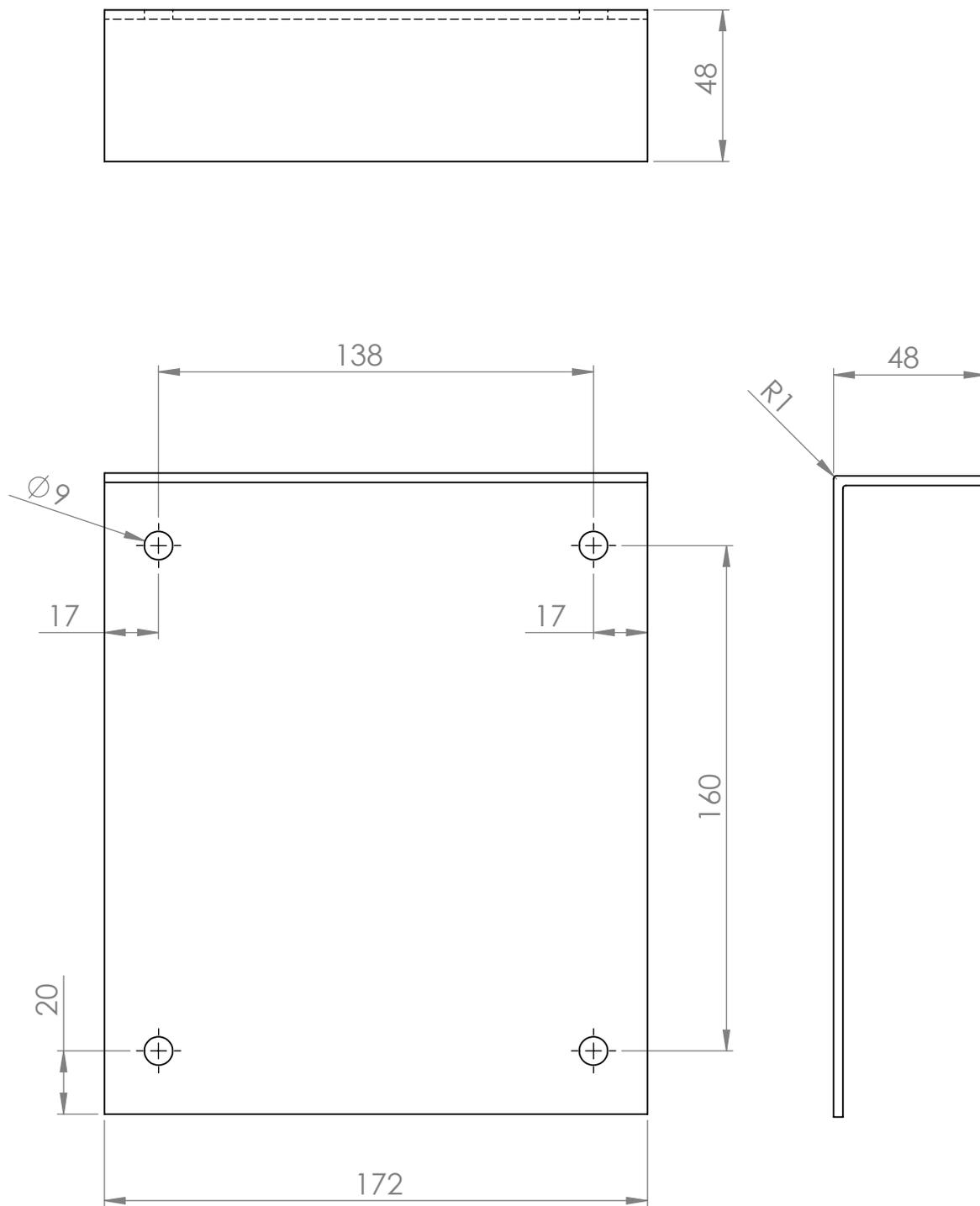


## SECCIÓN A-A

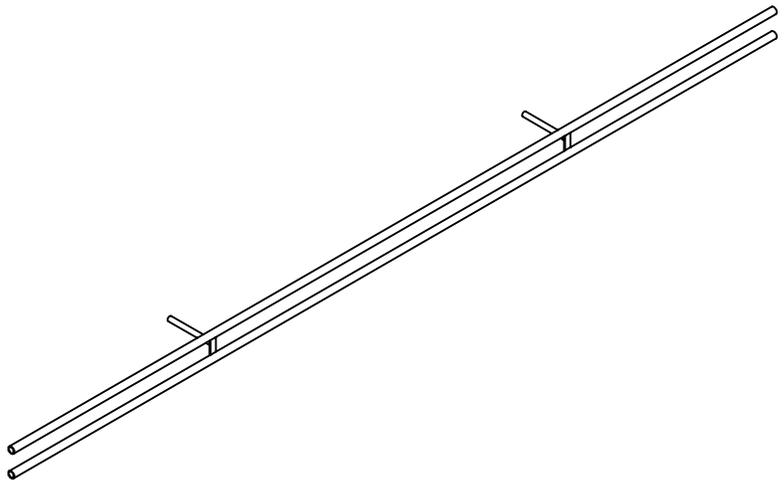
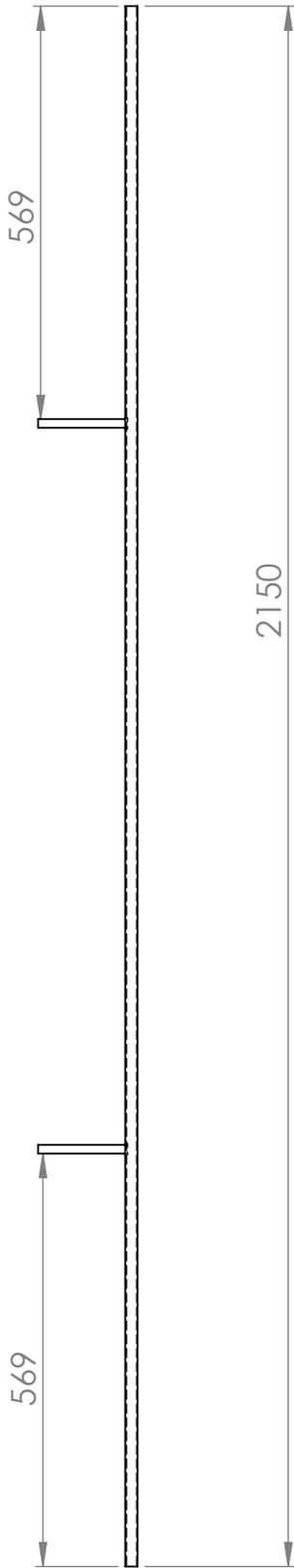


ESCALA	DISEÑARON:	Alexander Ernesto Cortez Espinoza Edgar Josué Parada Zelaya Adiel Isaf Valencia Chávez	09/2021		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	HOJA 11/13
1:2	REVISÓ:	Ing. Rigoberto Velásquez Paz	10/2021		CÓDIGO	
	TRABAJO DE GRADUACIÓN:	PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA MÁQUINA LLENADORA DE ENVASES PET			Autopista Norte y Final Avenida Héroos y Mártires del 30 de Julio, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador.	FORMATO: TAMAÑO CARTA
UNIDADES: milímetros	NOMBRE:	PLANO DE DETALLE DE BANDA TRANSPORTADORA RODILLO DE RETORNO	MATERIAL ACETAL CANTIDAD: 8			

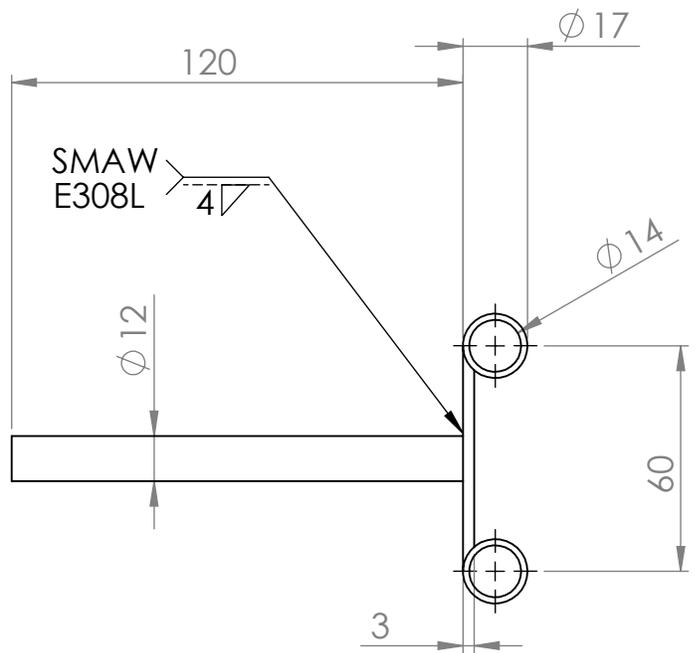
# LÁMINA e = 3 mm



ESCALA	DISEÑARON:	Alexander Ernesto Cortez Espinoza	09/2021		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	HOJA 12/13
	REVISÓ:	Edgar Josué Parada Zelaya Adiel Isaf Valencia Chávez				10/2021
1:2	TRABAJO DE GRADUACIÓN:	PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA MÁQUINA LLENADORA DE ENVASES PET		Autopista Norte y Final Avenida Héroes y Mártires del 30 de Julio, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador.	FORMATO: TAMAÑO CARTA	
UNIDADES: milímetros	NOMBRE:	PLANO DE DETALLE DE BANDA TRANSPORTADORA CUBIERTA FRONTAL	MATERIAL AISI 304		CANTIDAD: 2	

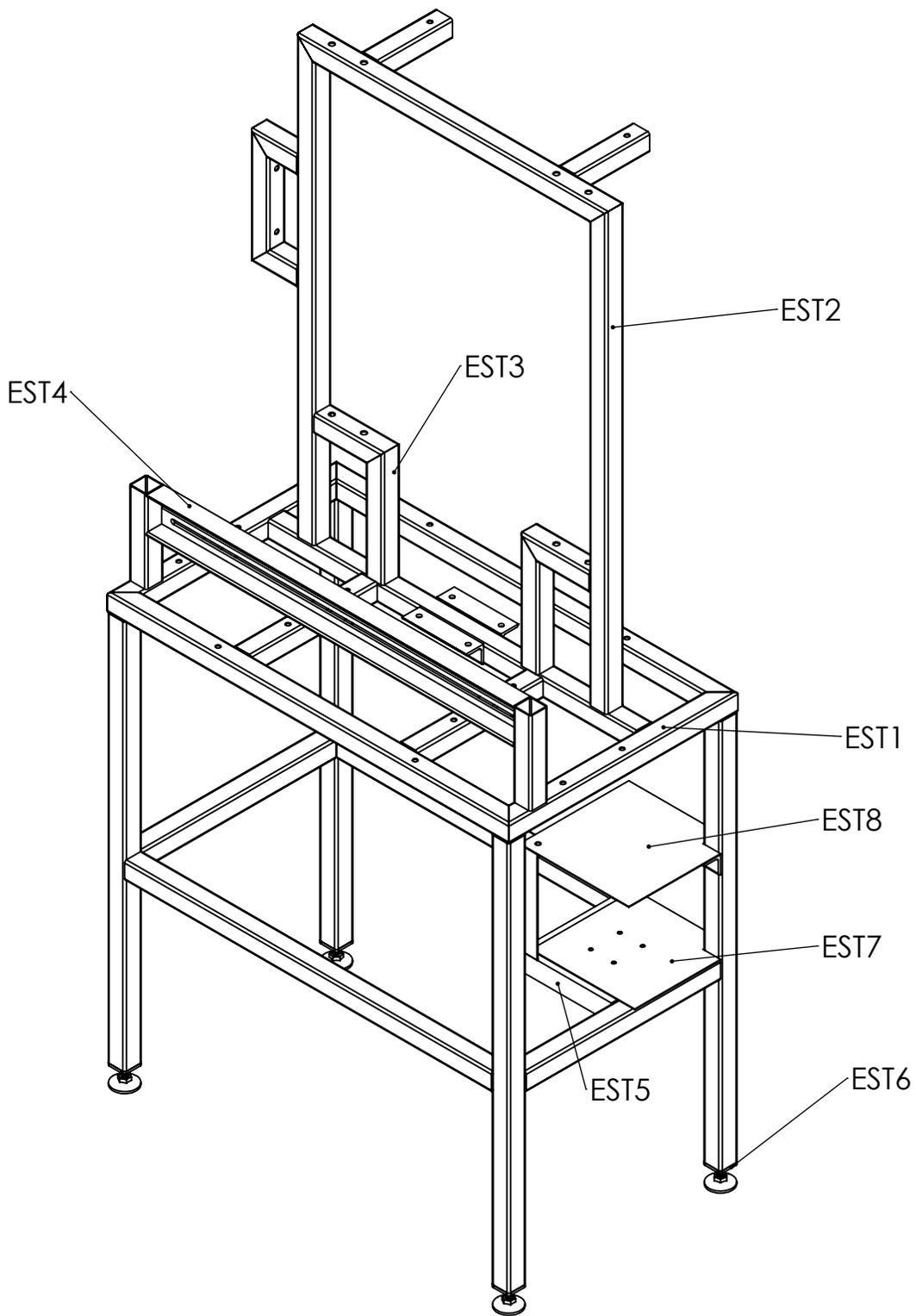


ISOMÉTRICO ESCALA 1:15

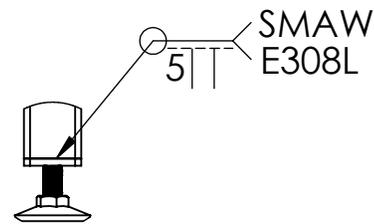
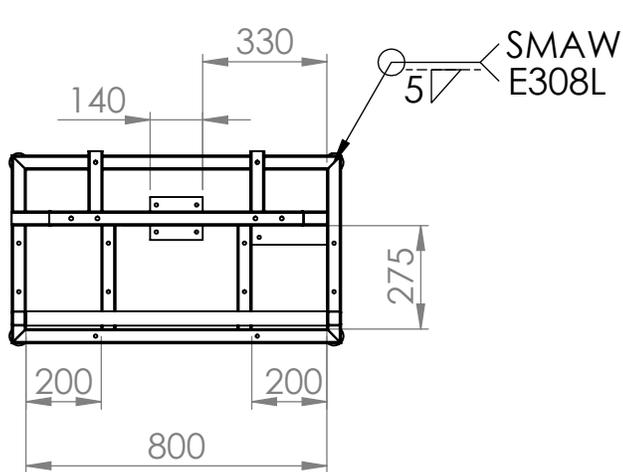


VISTA FRONTAL ESCALA 1:2

ESCALA	DISEÑARON:	Alexander Ernesto Cortez Espinoza	09/2021		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR	HOJA 13/13
1:10		Edgar Josué Parada Zelaya			FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA	CÓDIGO
	REVISÓ:	Adiel Isai Valencia Chávez	10/2021	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
	TRABAJO DE GRADUACIÓN:	Ing. Rigoberto Velásquez Paz		Autopista Norte y Final Avenida Héroes y Mártires del 30 de Julio, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador.	FORMATO: TAMAÑO CARTA	
UNIDADES: milímetros	NOMBRE:	PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA MÁQUINA LLENADORA DE ENVASES PET		MATERIAL AISI 304		
		PLANO DE DETALLE DE BANDA TRANSPORTADORA BARANDA	CANTIDAD: 2			

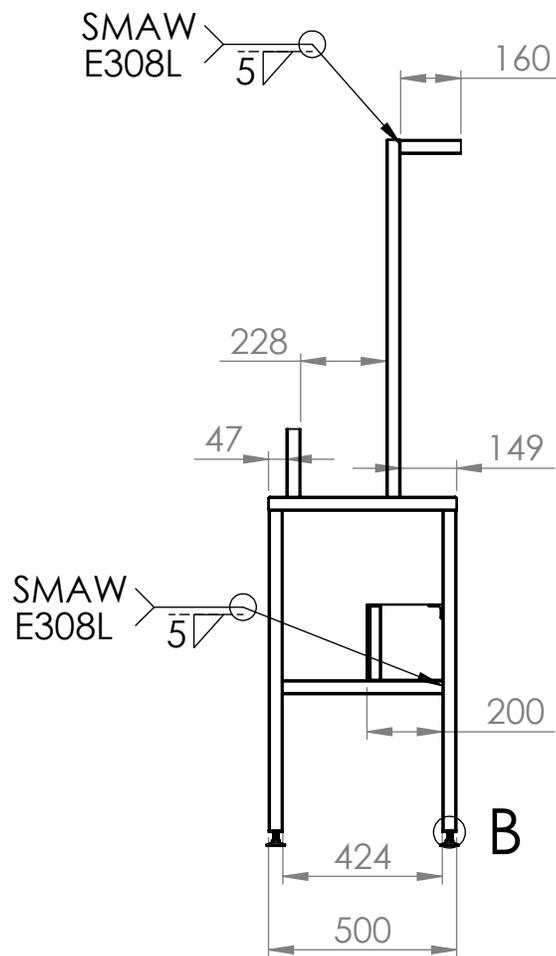
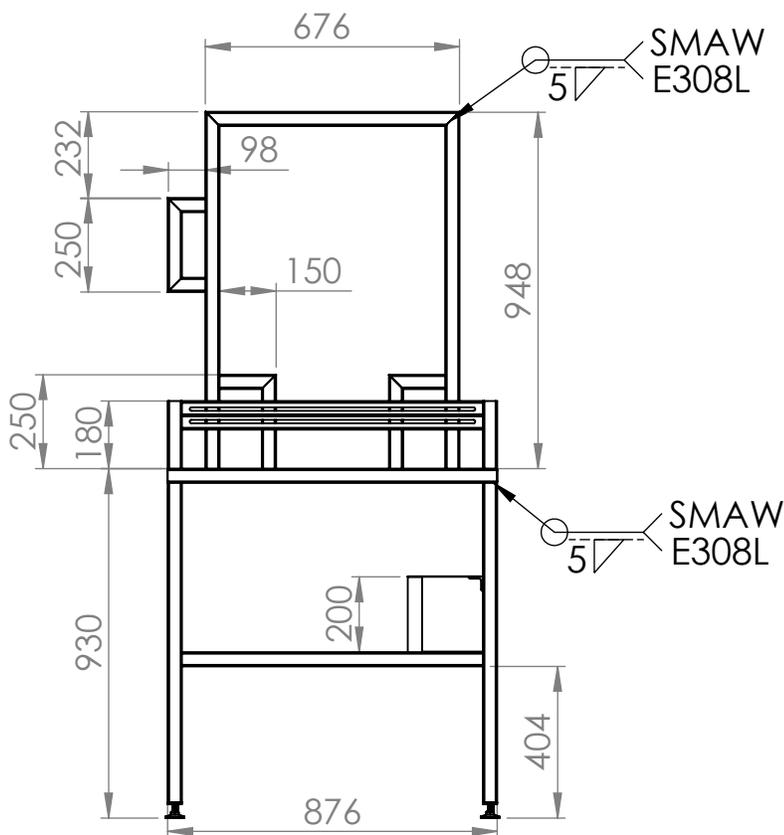


ESCALA	DISEÑARON:	Alexander Ernesto Cortez Espinoza Edgar Josué Parada Zelaya Adiel Isai Valencia Chávez	09/2021		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	HOJA 1/10
1:10	REVISÓ:	Ing. Rigoberto Velásquez Paz	10/2021		CÓDIGO	
	TRABAJO DE GRADUACIÓN:	PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA MÁQUINA LLENADORA DE ENVASES PET			Autopista Norte y Final Avenida Héroes y Mártires del 30 de Julio, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador.	FORMATO: TAMAÑO CARTA
UNIDADES: milímetros	NOMBRE:	PLANO DE DETALLE DE ENSAMBLE DE LA ESTRUCTURA	MATERIAL AISI 304 CANTIDAD: 1			



# DETALLE B

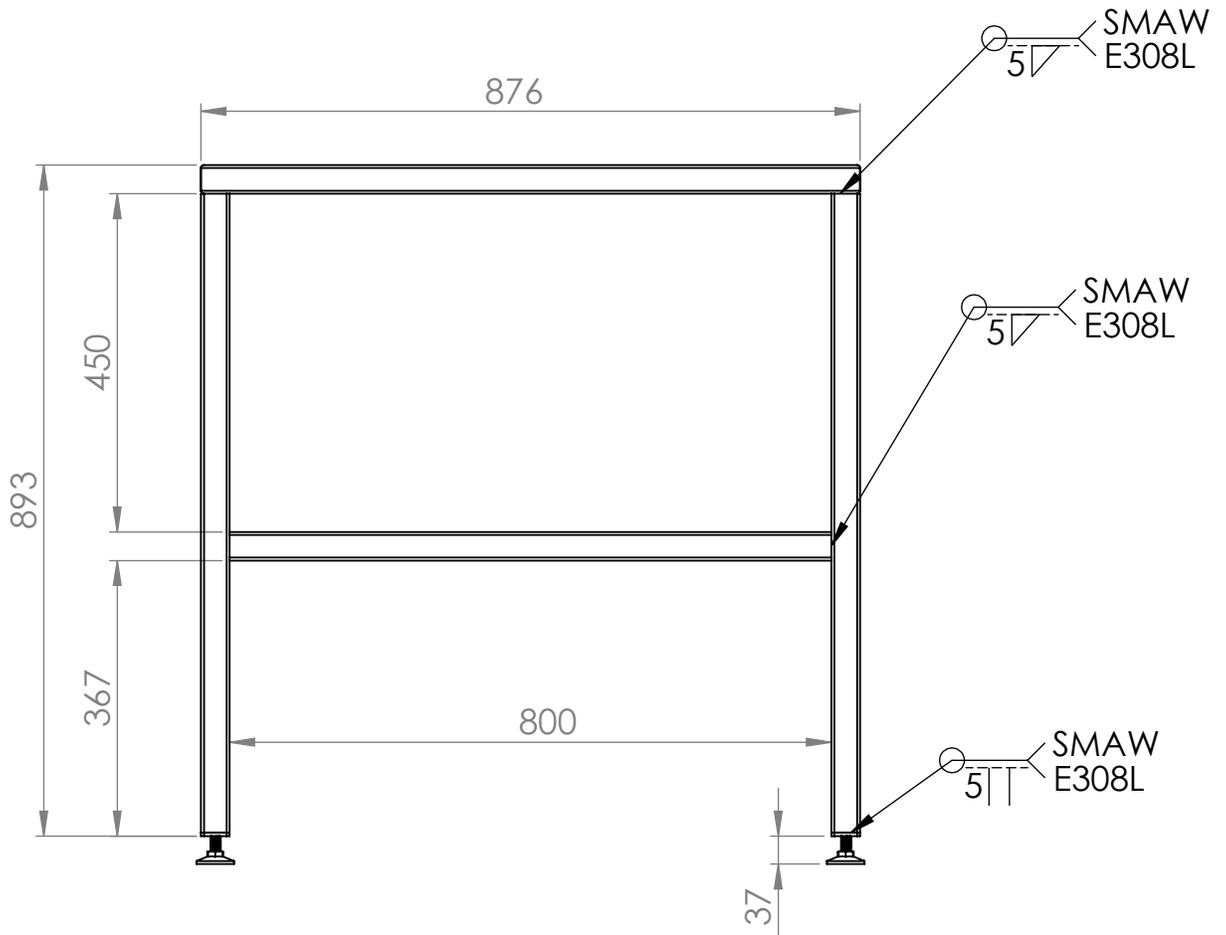
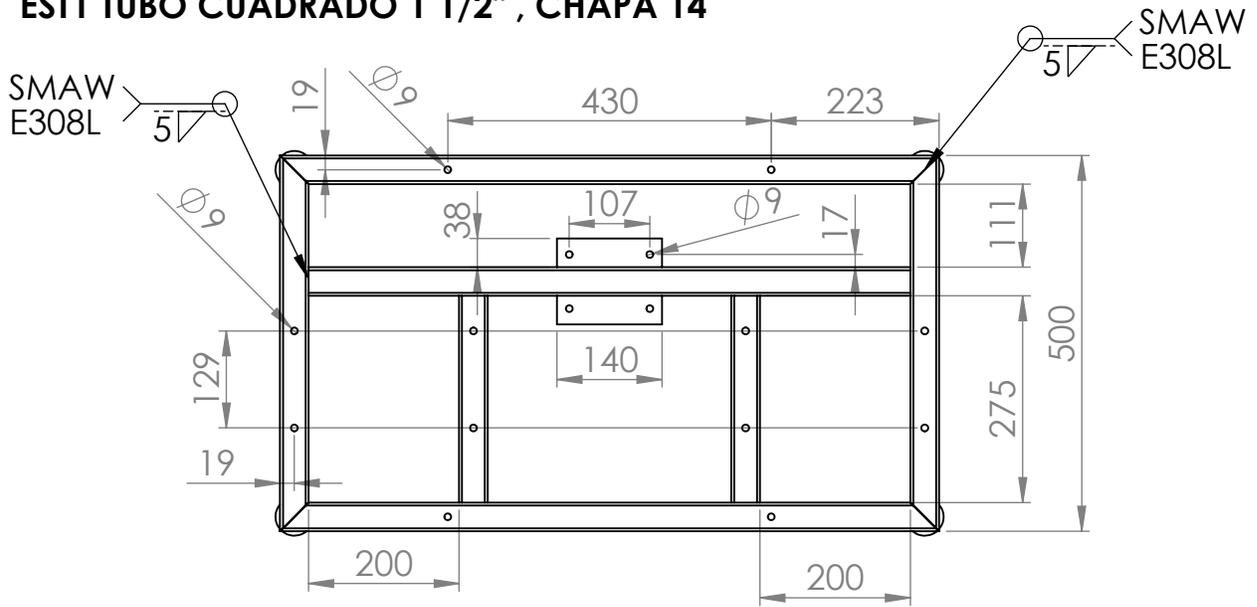
ESCALA 1 : 5



**B**

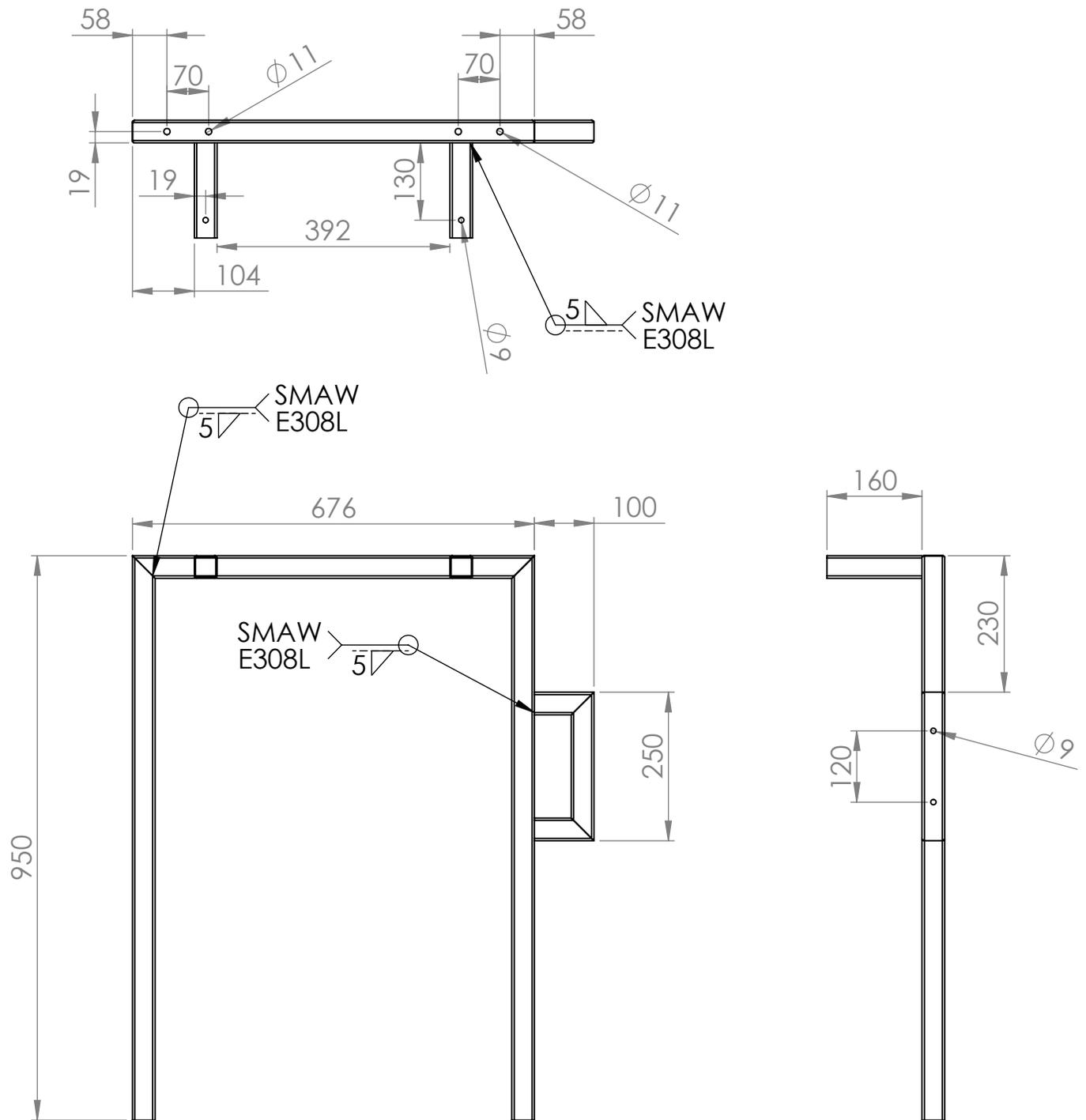
ESCALA	DISEÑARON:	Alexander Ernesto Cortez Espinoza Edgar Josué Parada Zelaya Adiel Isaf Valencia Chávez	09/2021		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	HOJA 2/10
1:20	REVISÓ:	Ing. Rigoberto Velásquez Paz	10/2021			CÓDIGO
UNIDADES: milímetros	NOMBRE:	PLANO ENSAMBLE ESTRUCTURA	MATERIAL AISI 304	Autopista Norte y Final Avenida Héroes y Mártires del 30 de Julio, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador.	FORMATO: TAMAÑO CARTA	
			CANTIDAD: 1			

# EST1 TUBO CUADRADO 1 1/2" , CHAPA 14



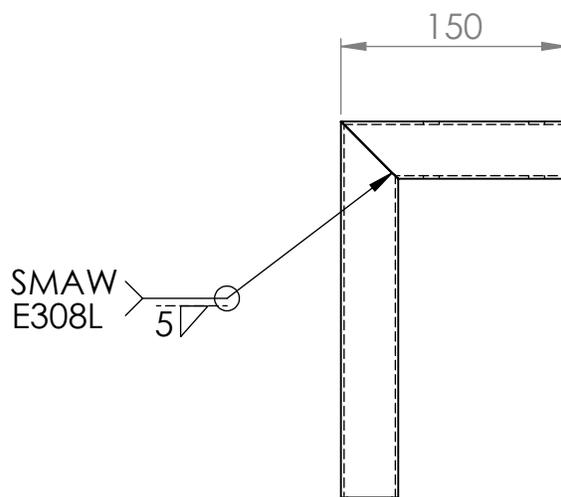
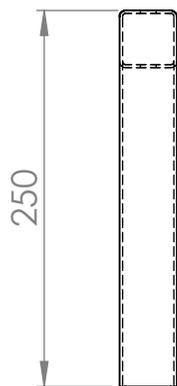
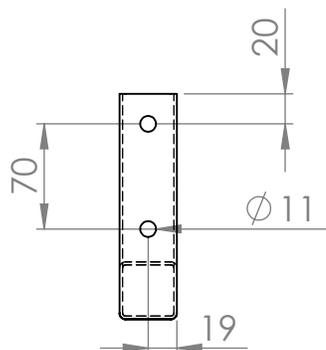
ESCALA	DISEÑARON:	Alexander Ernesto Cortez Espinoza	09/2021		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	HOJA 3/10
1:5	REVISÓ:	Edgar Josué Parada Zelaya Adiel Isaf Valencia Chávez	10/2021			CÓDIGO
	TRABAJO DE GRADUACIÓN:	Ing. Rigoberto Velásquez Paz				EST1
UNIDADES: milímetros	NOMBRE:	PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA MÁQUINA LLENADORA DE ENVASES PET PLANO DE DETALLE ESTRUCTURA	MATERIAL AISI 304 CANTIDAD: 1	Autopista Norte y Final Avenida Héroes y Mártires del 30 de Julio, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador.	FORMATO: TAMAÑO CARTA	

# EST2 TUBO CUADRADO 1 1/2" , CHAPA 14



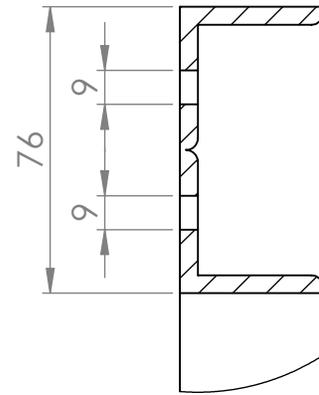
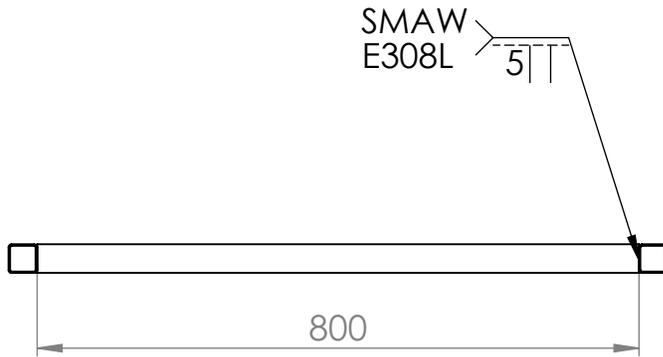
ESCALA	DISEÑARON:	Alexander Ernesto Cortez Espinoza Edgar Josué Parada Zelaya Adiel Isaf Valencia Chávez	09/2021		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	HOJA 4/10
1:10	REVISÓ:	Ing. Rigoberto Velásquez Paz	10/2021			CÓDIGO
	TRABAJO DE GRADUACIÓN:	PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA MÁQUINA LLENADORA DE ENVASES PET				EST2
UNIDADES: milímetros	NOMBRE:	PLANO DE DETALLE ESTRUCTURA		MATERIAL AISI 304	Autopista Norte y Final Avenida Héroes y Mártires del 30 de Julio, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador.	FORMATO: TAMAÑO CARTA
			CANTIDAD: 1			

# EST3 TUBO CUADRADO 1 1/2" , CHAPA 14



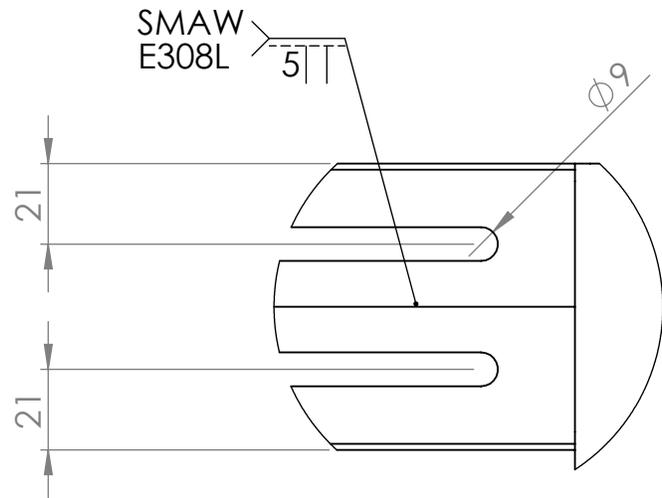
ESCALA	DISEÑARON:	Alexander Ernesto Cortez Espinoza Edgar Josué Parada Zelaya Adiel Isaf Valencia Chávez	09/2021		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  Autopista Norte y Final Avenida Héroes y Mártires del 30 de Julio, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador.	HOJA 5/10
1:5	REVISÓ:	Ing. Rigoberto Velásquez Paz	10/2021			CÓDIGO
	TRABAJO DE GRADUACIÓN: PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA MÁQUINA LLENADORA DE ENVASES PET					<b>EST3</b>
UNIDADES: milímetros	NOMBRE:	PLANO DE DETALLE ESTRUCTURA		MATERIAL AISI 304	FORMATO: TAMAÑO CARTA	
			CANTIDAD: 2			

**EST4 TUBO CUADRADO 1 1/2" , CHAPA 14  
ÁNGULO 1 1/2" x 3/16"**



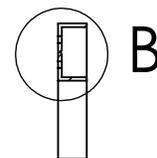
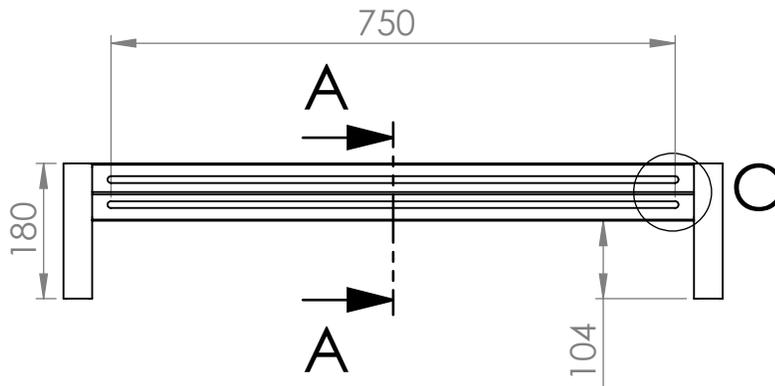
**DETALLE B**

ESCALA 1 : 2

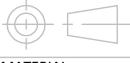


**DETALLE C**

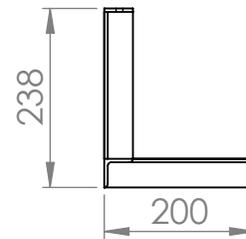
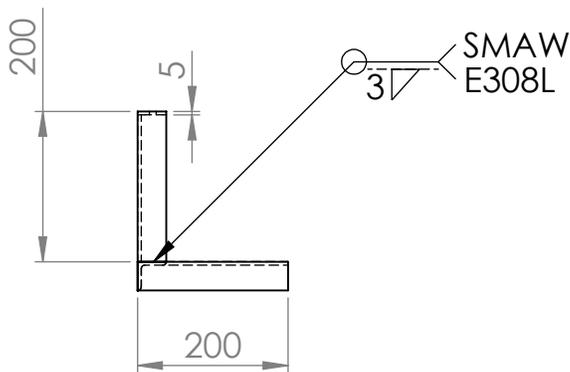
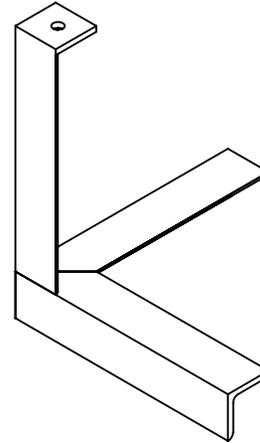
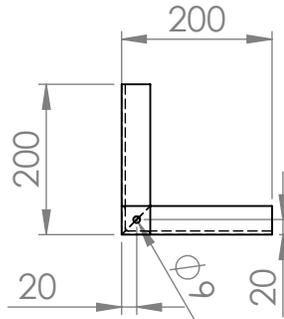
ESCALA 1 : 2



**SECCIÓN A-A**

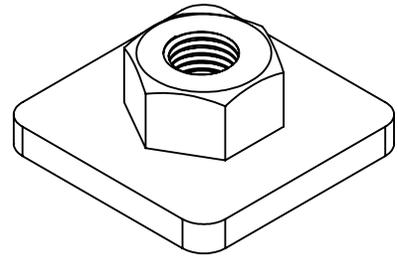
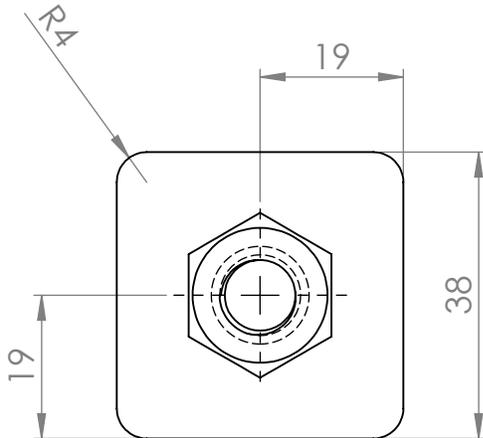
ESCALA	DISEÑARON:	Alexander Ernesto Cortez Espinoza Edgar Josué Parada Zelaya Adiel Isaf Valencia Chávez	09/2021		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	HOJA 6/10
1:10	REVISÓ:	Ing. Rigoberto Velásquez Paz	10/2021			CÓDIGO
	TRABAJO DE GRADUACIÓN: PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA MÁQUINA LLENADORA DE ENVASES PET					<b>EST4</b>
UNIDADES: milímetros	NOMBRE:	PLANO DE DETALLE ESTRUCTURA	MATERIAL AISI 304	Autopista Norte y Final Avenida Héroes y Mártires del 30 de Julio, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador.	FORMATO: TAMAÑO CARTA	
			CANTIDAD: 1			

# EST5 ÁNGULO 1 1/2" x 3/16"

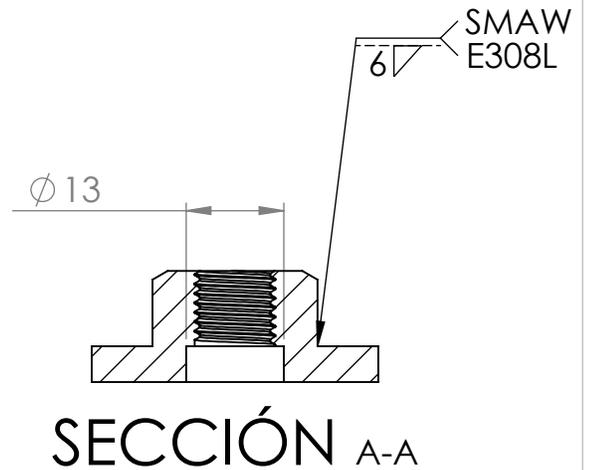
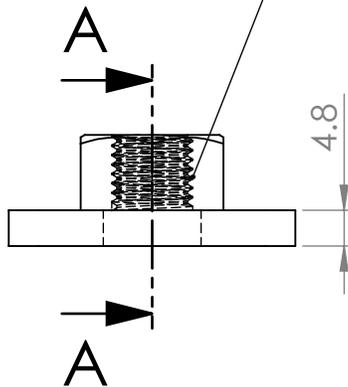


ESCALA	DISEÑARON:	Alexander Ernesto Cortez Espinoza Edgar Josué Parada Zelaya Adiel Isai Valencia Chávez	09/2021		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	HOJA 7/10
1:10	REVISÓ:	Ing. Rigoberto Velásquez Paz	10/2021			CÓDIGO
	TRABAJO DE GRADUACIÓN: PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA MÁQUINA LLENADORA DE ENVASES PET					EST5
UNIDADES: milímetros	NOMBRE:	PLANO DE DETALLE ESTRUCTURA		MATERIAL AISI 304	Autopista Norte y Final Avenida Héroes y Mártires del 30 de Julio. Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador	FORMATO: TAMAÑO CARTA
			CANTIDAD: 1			

# EST6 PLATINA 1 1/2" x 3/16"

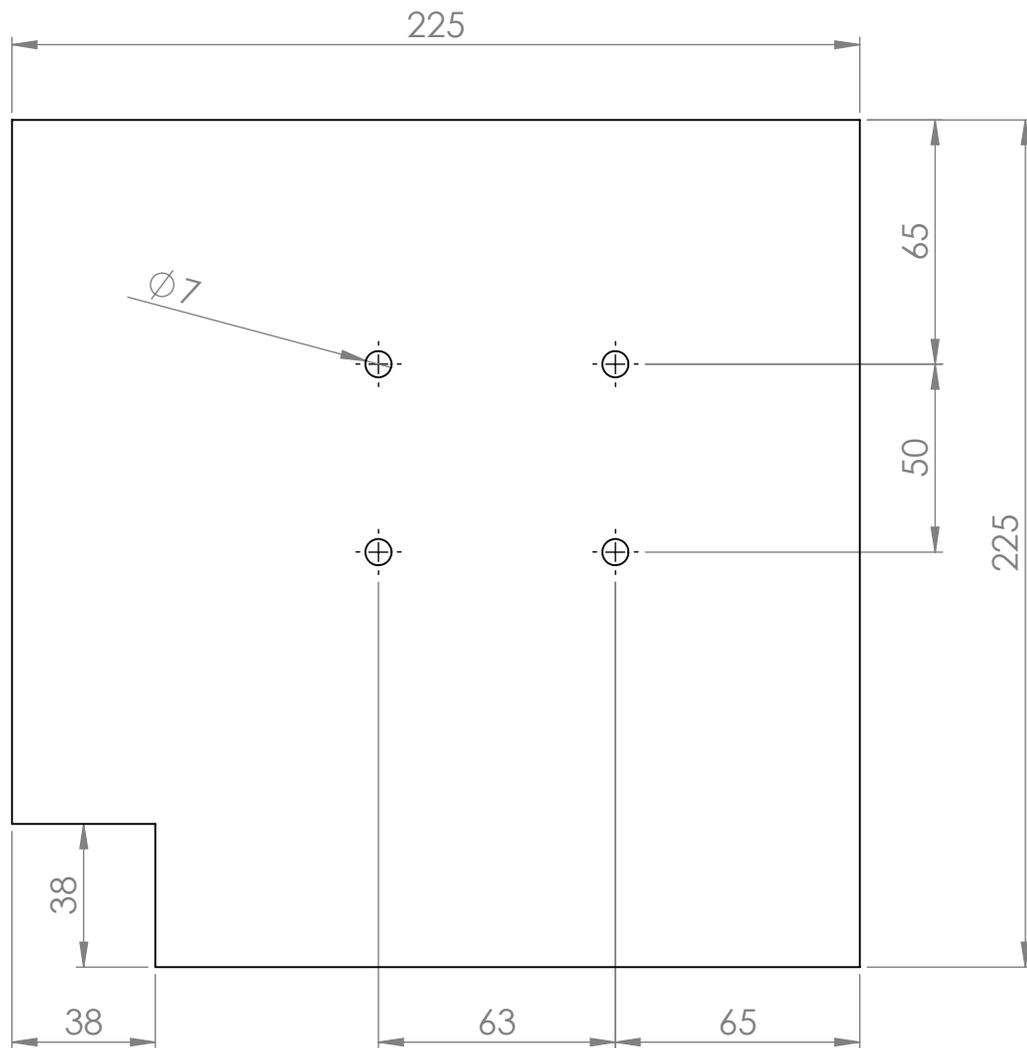


TUERCA M12 - 1.25



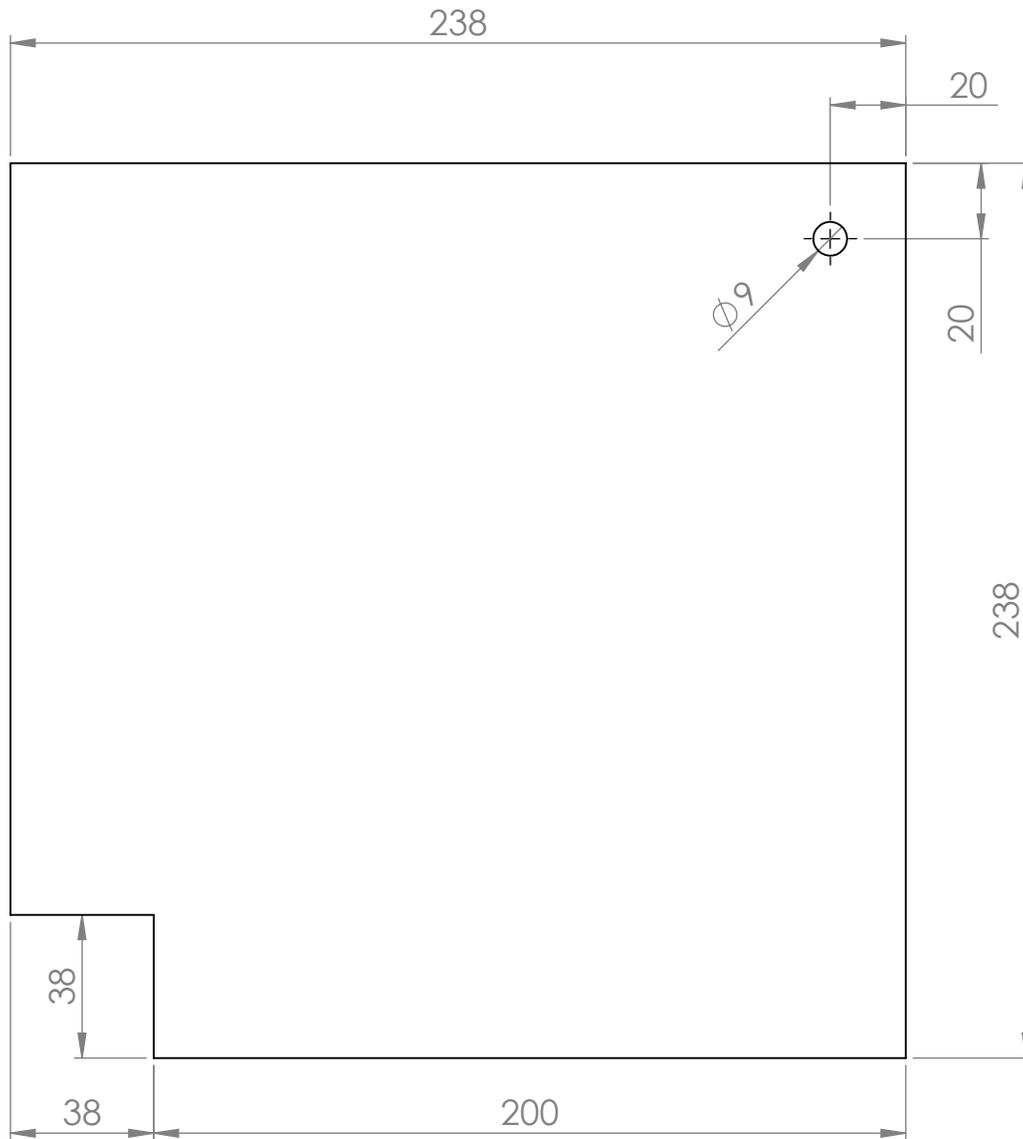
ESCALA	DISEÑARON:	Alexander Ernesto Cortez Espinoza Edgar Josué Parada Zelaya Adiel Isaf Valencia Chávez	09/2021	 <p>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</p> <p>Autopista Norte y Final Avenida Héroes y Mártires del 30 de Julio, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador.</p>	HOJA 8/10
1:1	REVISÓ:	Ing. Rigoberto Velásquez Paz	10/2021		CÓDIGO
	TRABAJO DE GRADUACIÓN: PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA MÁQUINA LLENADORA DE ENVASES PET				EST6
UNIDADES: milímetros	NOMBRE:	PLANO DE DETALLE ESTRUCTURA		MATERIAL AISI 304	FORMATO: TAMAÑO CARTA
			CANTIDAD: 4		

# EST7 LÁMINA e=1.5 mm

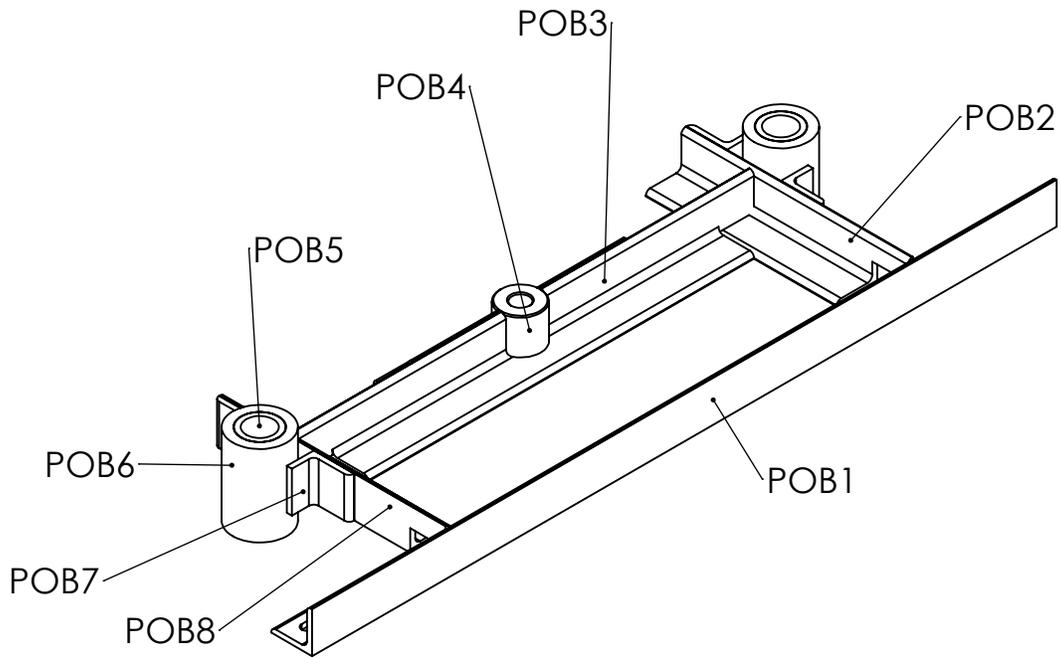


ESCALA	DISEÑARON:	Alexander Ernesto Cortez Espinoza Edgar Josué Parada Zelaya Adiel Isaf Valencia Chávez	09/2021		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	HOJA 9/10
1:2	REVISÓ:	Ing. Rigoberto Velásquez Paz	10/2021		CÓDIGO	
	TRABAJO DE GRADUACIÓN: PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA MÁQUINA LLENADORA DE ENVASES PET				EST7	
UNIDADES: milímetros	NOMBRE:	PLANO DE DETALLE ESTRUCTURA	MATERIAL AISI 304 CANTIDAD: 1	Autopista Norte y Final Avenida Héroes y Mártires del 30 de Julio, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador.	FORMATO: TAMAÑO CARTA	

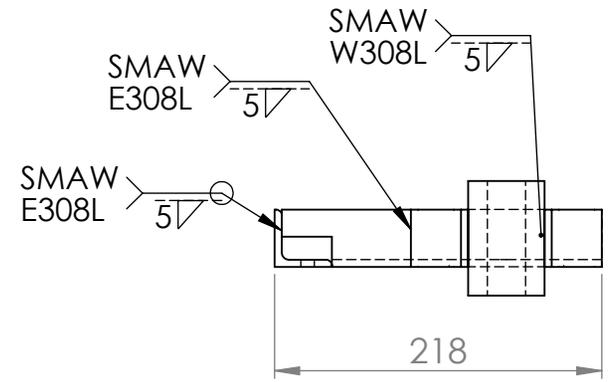
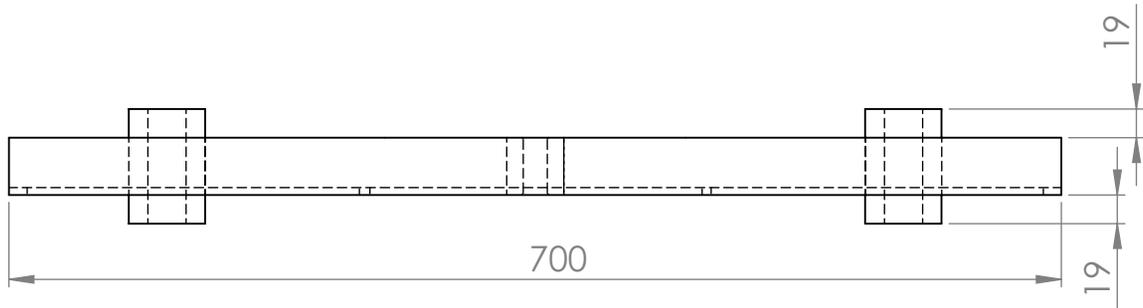
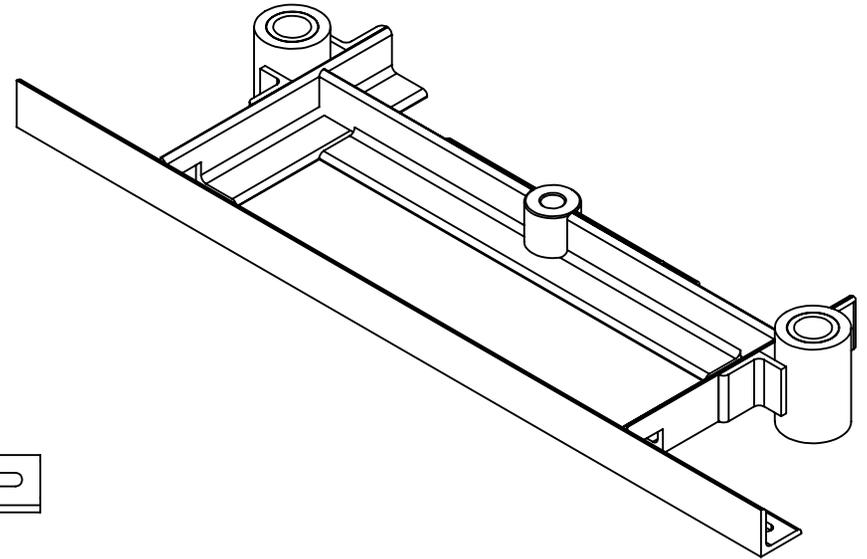
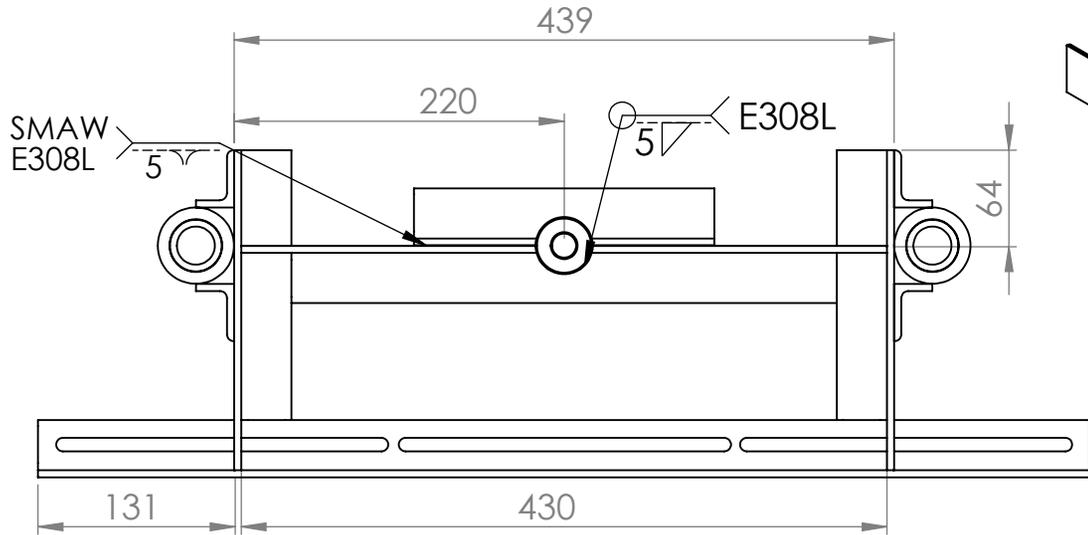
# EST8 LÁMINA e=1.5 mm



ESCALA	DISEÑARON:	Alexander Ernesto Cortez Espinoza	09/2021		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	HOJA 10/10
1:2	REVISÓ:	Edgar Josué Parada Zelaya Adiel Isaf Valencia Chávez	10/2021			CÓDIGO
	TRABAJO DE GRADUACIÓN:	Ing. Rigoberto Velásquez Paz				<b>EST8</b>
UNIDADES: milímetros	NOMBRE:	PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA MÁQUINA LLENADORA DE ENVASES PET PLANO DE DETALLE ESTRUCTURA	 MATERIAL AISI 304 CANTIDAD: 1	Autopista Norte y Final Avenida Héroes y Mártires del 30 de Julio, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador.		FORMATO: TAMAÑO CARTA



ESCALA	DISEÑARON:	Alexander Ernesto Cortez Espinoza	09/2021		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	HOJA 1/10
		Edgar Josué Parada Zelaya				
	REVISÓ:	Adiel Isai Valencia Chávez	10/2021			
	TRABAJO DE GRADUACIÓN:	Ing. Rigoberto Velásquez Paz				
UNIDADES: milímetros	PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA MÁQUINA LLENADORA DE ENVASES PET			Autopista Norte y Final Avenida Héroes y Mártires del 30 de Julio, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador.	FORMATO: TAMAÑO CARTA	
	NOMBRE:	PLANO DE DETALLE DE ENSAMBLE DEL PORTABOQUILLAS	MATERIAL			
			CANTIDAD: 1			



ESCALA	DISEÑARON:	Alexander Ernesto Cortez Espinoza	09/2021
		Edgar Josué Parada Zelaya	
		Adiel Isai Valencia Chávez	
1:5	REVISÓ:	Ing. Rigoberto Velásquez Paz	10/2021
	TRABAJO DE GRADUACIÓN: PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA MÁQUINA LLENADORA DE ENVASES PET		
UNIDADES: milímetros	NOMBRE:	PLANO DE ENSAMBLE DEL PORTABOQUILLAS	MATERIAL CANTIDAD: 1



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

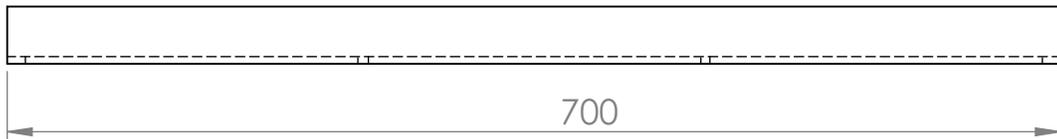
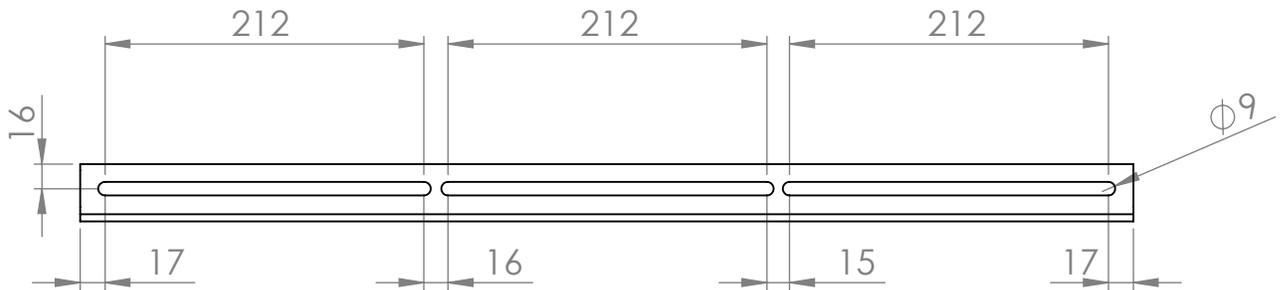
Autopista Norte y Final Avenida Héroes  
y Mártires del 30 de Julio,  
Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador.

HOJA 2/10

CÓDIGO

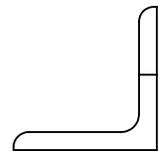
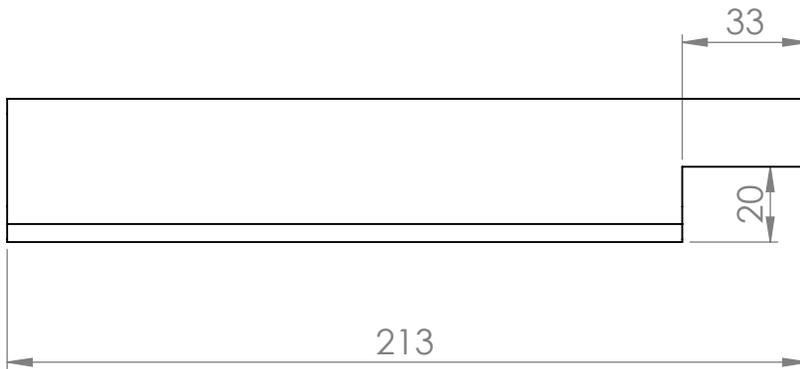
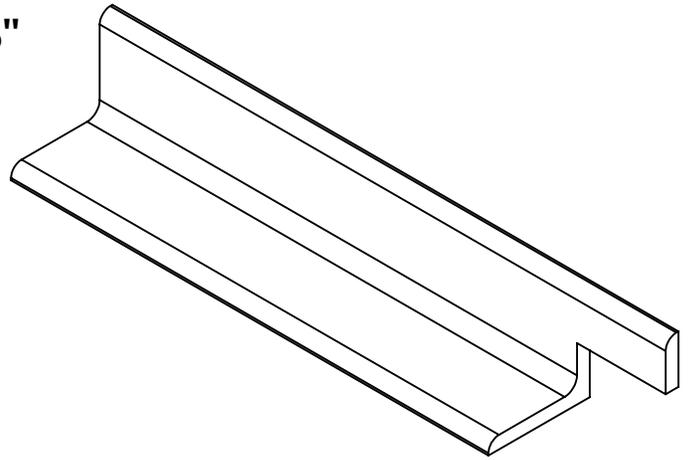
FORMATO:  
TAMAÑO CARTA

# PBO1 ÁNGULO 1 1/2" x 3/16"



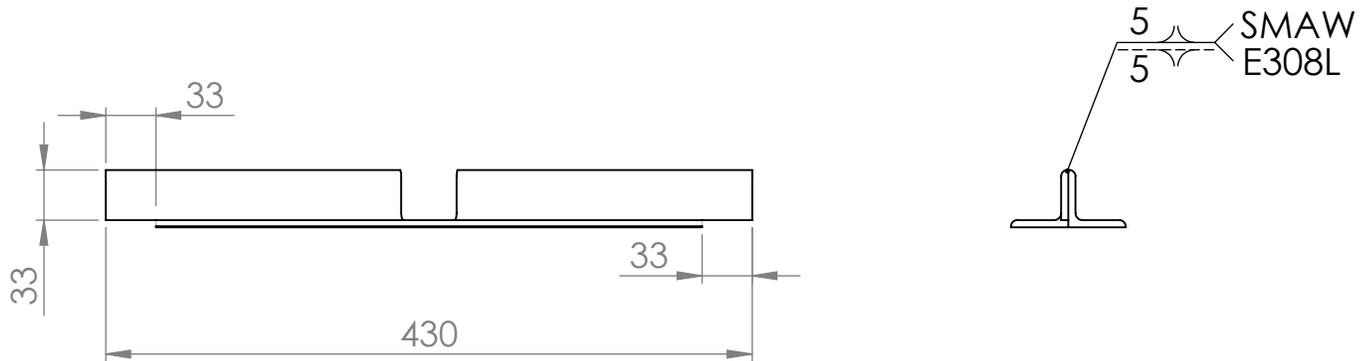
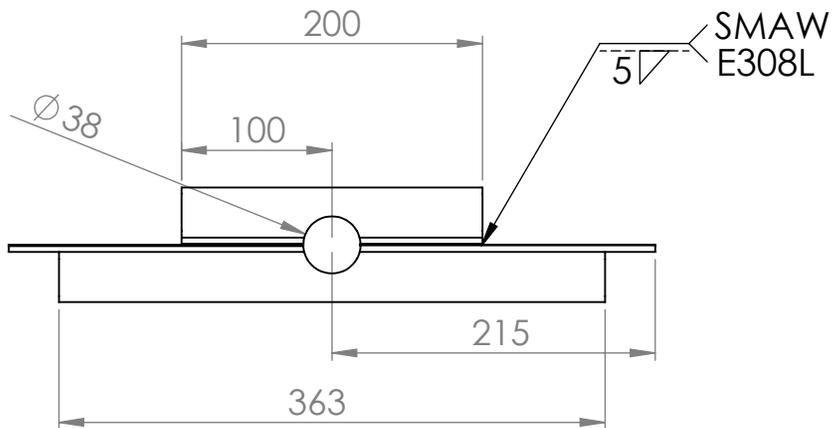
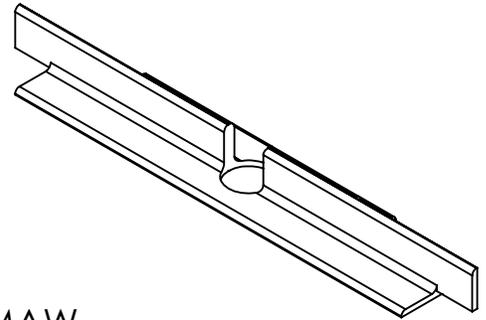
ESCALA	DISEÑARON:	Alexander Ernesto Cortez Espinoza Edgar Josué Parada Zelaya Adiel Isaf Valencia Chávez	09/2021		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	HOJA 3/10
1:5	REVISÓ:	Ing. Rigoberto Velásquez Paz	10/2021			CÓDIGO
	TRABAJO DE GRADUACIÓN: PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA MÁQUINA LLENADORA DE ENVASES PET					<b>PBO1</b>
UNIDADES: milímetros	NOMBRE:	PLANO DE DETALLE DEL PORTABOQUILLAS	MATERIAL AISI 304 CANTIDAD: 1	Autopista Norte y Final Avenida Héroes y Mártires del 30 de Julio, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador.	FORMATO: TAMAÑO CARTA	

# PBO2 ÁNGULO 1 1/2" x 3/16"

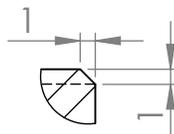
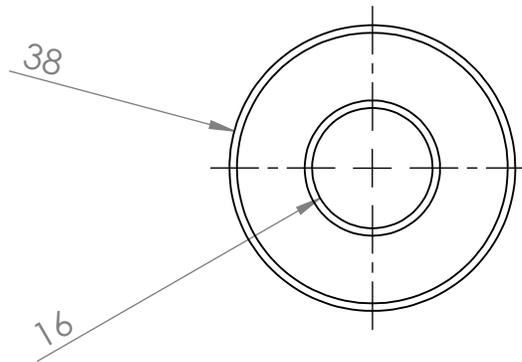


ESCALA	DISEÑARON:	Alexander Ernesto Cortez Espinoza Edgar Josué Parada Zelaya Adiel Isaf Valencia Chávez	09/2021		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	HOJA 4/10
1:2	REVISÓ:	Ing. Rigoberto Velásquez Paz	10/2021			CÓDIGO
	TRABAJO DE GRADUACIÓN: PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA MÁQUINA LLENADORA DE ENVASES PET					PBO2
UNIDADES: milímetros	NOMBRE:	PLANO DE DETALLE DEL PORTABOQUILLAS	MATERIAL AISI 304 CANTIDAD: 1	Autopista Norte y Final Avenida Héroes y Mártires del 30 de Julio, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador.	FORMATO: TAMAÑO CARTA	

# POB3 ÁNGULO 1 1/2" x 3/16"

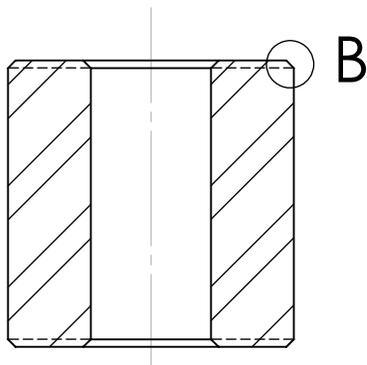


ESCALA	DISEÑARON:	Alexander Ernesto Cortez Espinoza Edgar Josué Parada Zelaya Adiel Isaf Valencia Chávez	09/2021		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	HOJA 5/10
1:5	REVISÓ:	Ing. Rigoberto Velásquez Paz	10/2021			CÓDIGO
	TRABAJO DE GRADUACIÓN:			Autopista Norte y Final Avenida Héroes y Mártires del 30 de Julio, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador.	<b>PBO3</b>	
UNIDADES: milímetros	NOMBRE: PLANO DE DETALLE DEL PORTABOQUILLAS					MATERIAL AISI 304
			CANTIDAD: 1			

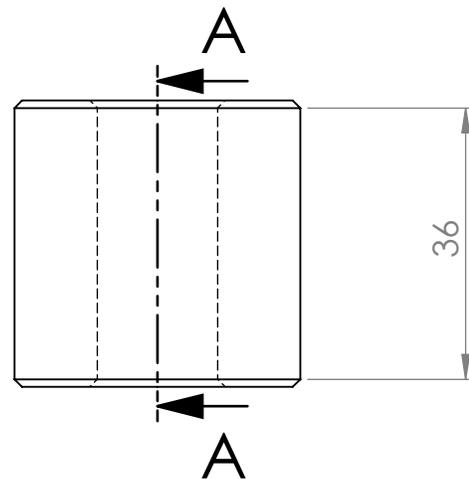


## DETALLE B

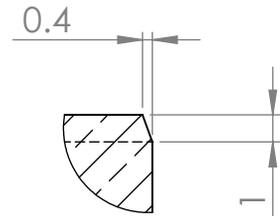
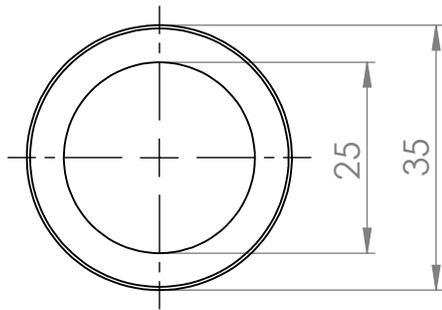
ESCALA 2 : 1



## SECCIÓN A-A

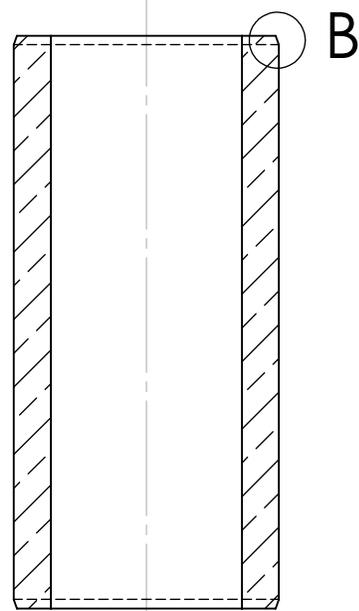
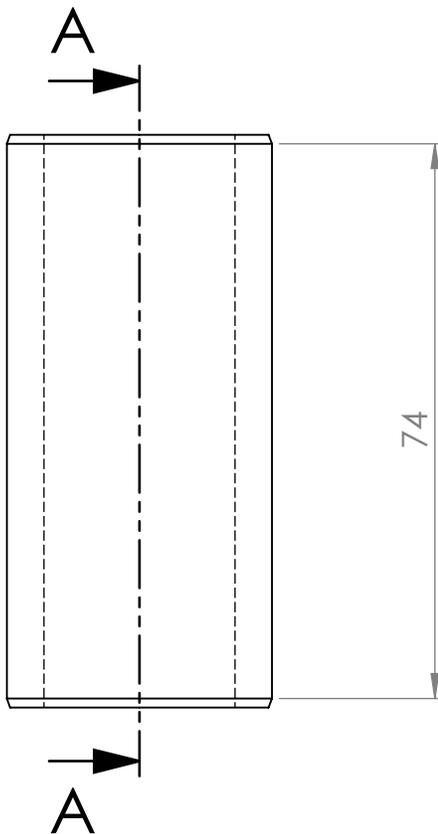


ESCALA	DISEÑARON:	Alexander Ernesto Cortez Espinoza Edgar Josué Parada Zelaya	09/2021		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	HOJA 6/10
1:1	REVISÓ:	Adiel Isaf Valencia Chávez Ing. Rigoberto Velásquez Paz	10/2021		CÓDIGO	
	TRABAJO DE GRADUACIÓN: PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA MÁQUINA LLENADORA DE ENVASES PET				<b>PBO4</b>	
UNIDADES: milímetros	NOMBRE:	PLANO DE DETALLE DEL PORTABOQUILLAS	MATERIAL AISI 304 CANTIDAD: 1	Autopista Norte y Final Avenida Héroes y Mártires del 30 de Julio, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador.	FORMATO: TAMAÑO CARTA	

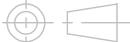


DETALLE B

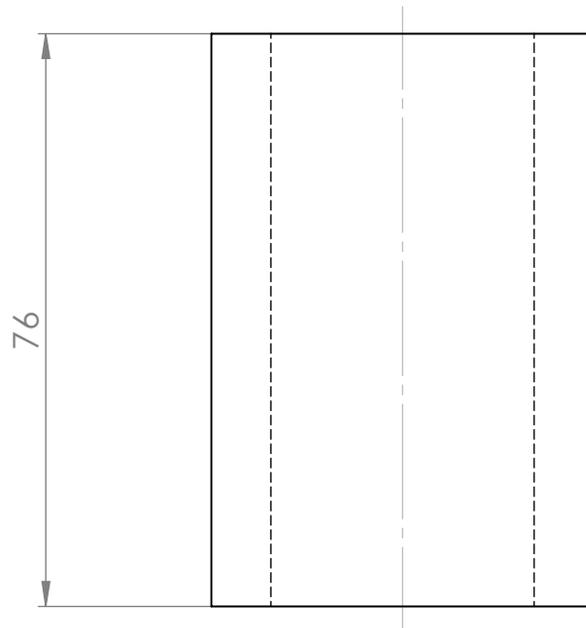
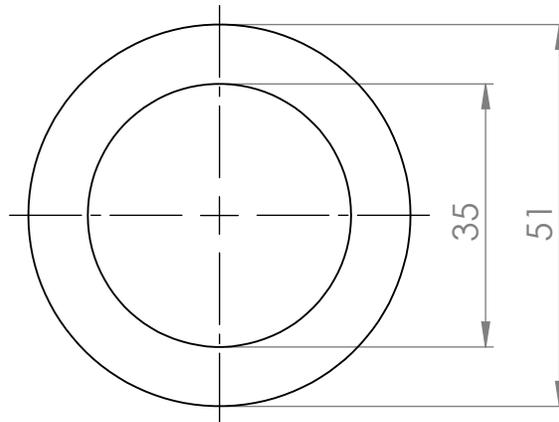
ESCALA 3 : 1



SECCIÓN A-A

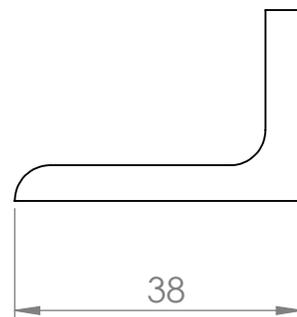
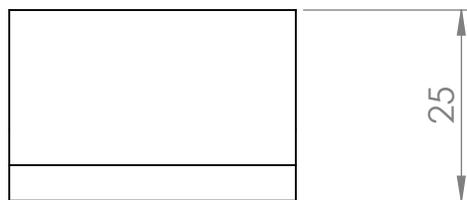
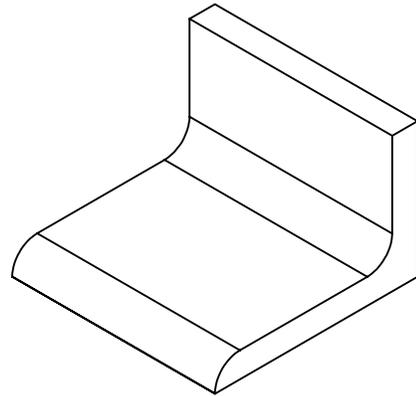
ESCALA	Alexander Ernesto Cortez Espinoza		09/2021		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	HOJA 7/10
1:1	DISEÑARON:	Edgar Josué Parada Zelaya				10/2021
	REVISÓ:	Adiel Isaf Valencia Chávez	PB05			
	TRABAJO DE GRADUACIÓN: PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA MÁQUINA LLENADORA DE ENVASES PET				Autopista Norte y Final Avenida Héroes y Mártires del 30 de Julio, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador.	FORMATO: TAMAÑO CARTA
UNIDADES: milímetros	NOMBRE: PLANO DE DETALLE DEL PORTABOQUILLAS		MATERIAL COBRE FOSFÓRICO	CANTIDAD: 2		

# POB6



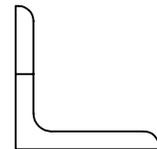
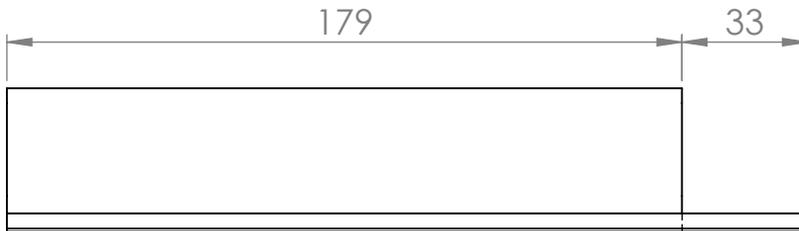
ESCALA	DISEÑARON:	Alexander Ernesto Cortez Espinoza Edgar Josué Parada Zelaya Adiel Isaf Valencia Chávez	09/2021		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  Autopista Norte y Final Avenida Héroes y Mártires del 30 de Julio, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador.	HOJA 8/10
1:1	REVISÓ:	Ing. Rigoberto Velásquez Paz	10/2021			CÓDIGO
	TRABAJO DE GRADUACIÓN: PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA MÁQUINA LLENADORA DE ENVASES PET					<b>PBO6</b>
UNIDADES: milímetros	NOMBRE:	PLANO DE DETALLE DEL PORTABOQUILLAS	MATERIAL AISI 304 CANTIDAD: 2	FORMATO: TAMAÑO CARTA		

# POB7 ÁNGULO 1 1/2" x 3/16"

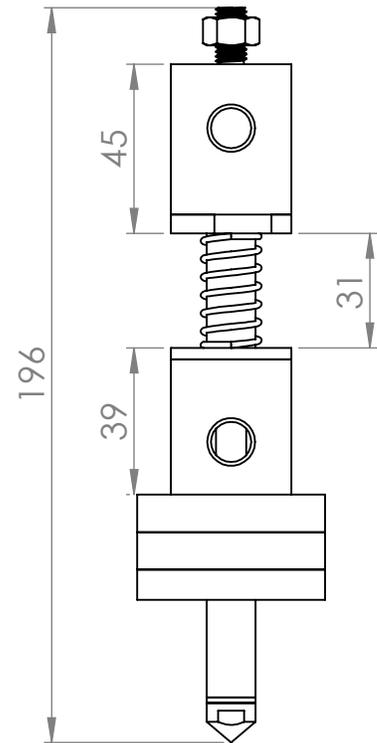
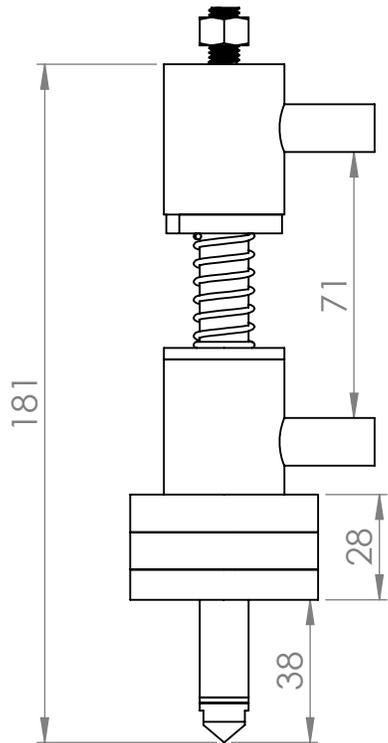
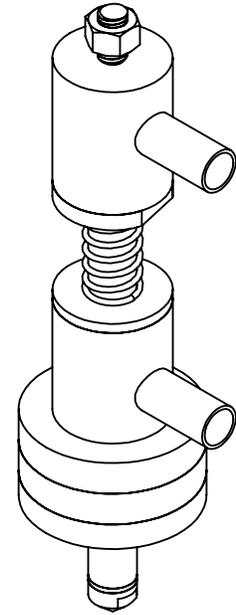
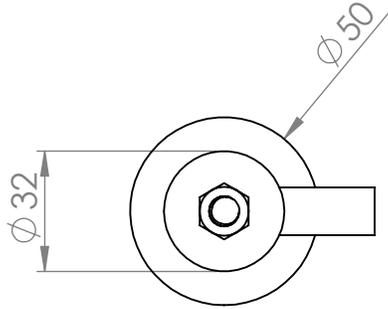


ESCALA	DISEÑARON:	Alexander Ernesto Cortez Espinoza Edgar Josué Parada Zelaya Adiel Isaf Valencia Chávez	09/2021		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	HOJA 9/10	
1:1	REVISÓ:	Ing. Rigoberto Velásquez Paz	10/2021			Autopista Norte y Final Avenida Héroes y Mártires del 30 de Julio, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador.	CÓDIGO <b>PB07</b>
	TRABAJO DE GRADUACIÓN: PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA MÁQUINA LLENADORA DE ENVASES PET						FORMATO: TAMAÑO CARTA
UNIDADES: milímetros	NOMBRE:	PLANO DE DETALLE DEL PORTABOQUILLA		MATERIAL AISI 304			
			CANTIDAD: 4				

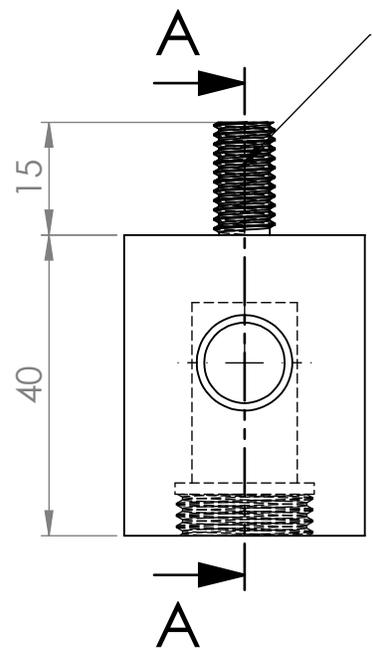
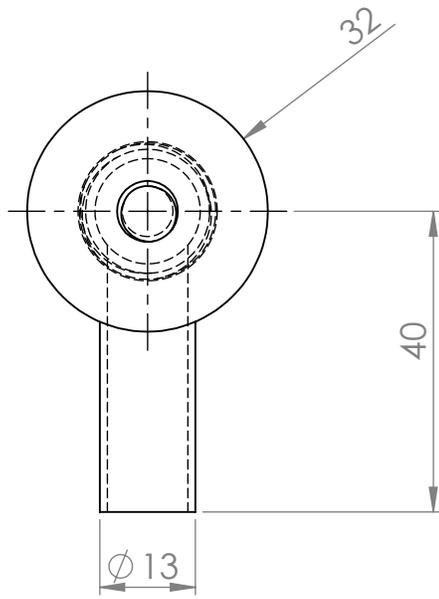
# POB8 ÁNGULO 1 1/2" x 3/16"



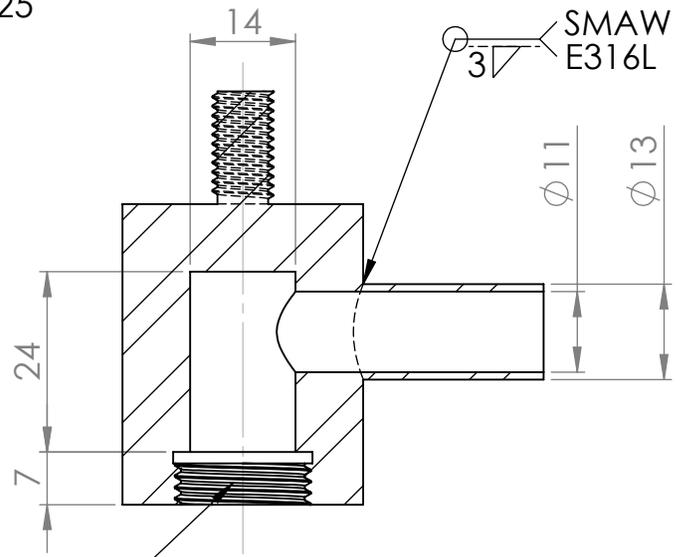
ESCALA	DISEÑARON:	Alexander Ernesto Cortez Espinoza Edgar Josué Parada Zelaya Adiel Isai Valencia Chávez	09/2021		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  Autopista Norte y Final Avenida Héroes y Mártires del 30 de Julio, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador.	HOJA 10/10
1:2	REVISÓ:	Ing. Rigoberto Velásquez Paz	10/2021			CÓDIGO
	TRABAJO DE GRADUACIÓN: PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA MÁQUINA LLENADORA DE ENVASES PET					<b>PBO8</b>
UNIDADES: milímetros	NOMBRE:	PLANO DETALLE DEL PORTABOQUILLAS	MATERIAL AISI 304 CANTIDAD: 2	FORMATO: TAMAÑO CARTA		



ESCALA	DISEÑARON:	Alexander Ernesto Cortez Espinoza Edgar Josué Parada Zelaya Adiel Isai Valencia Chávez	09/2021		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	HOJA 1/6
1:1	REVISÓ:	Ing. Rigoberto Velásquez Paz	10/2021		CÓDIGO	
	TRABAJO DE GRADUACIÓN: PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA MÁQUINA LLENADORA DE ENVASES PET				Autopista Norte y Final Avenida Héroes y Mártires del 30 de Julio, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador.	
UNIDADES: milímetros	NOMBRE:	PLANO DE BOQUILLA	MATERIAL	CANTIDAD: 4	FORMATO: TAMAÑO CARTA	

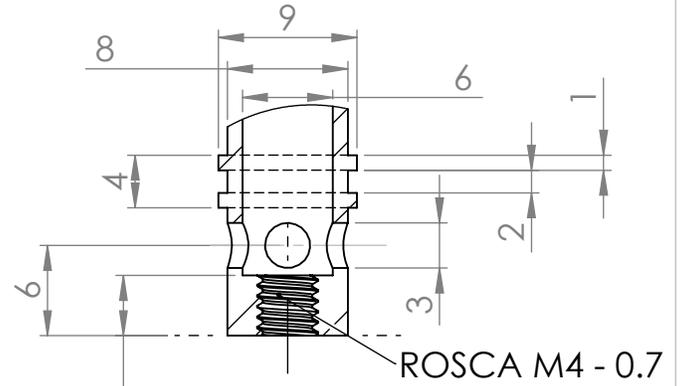
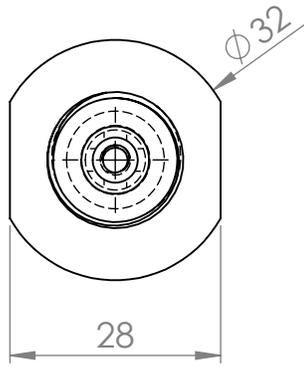


ROSCA M8 - 1.25



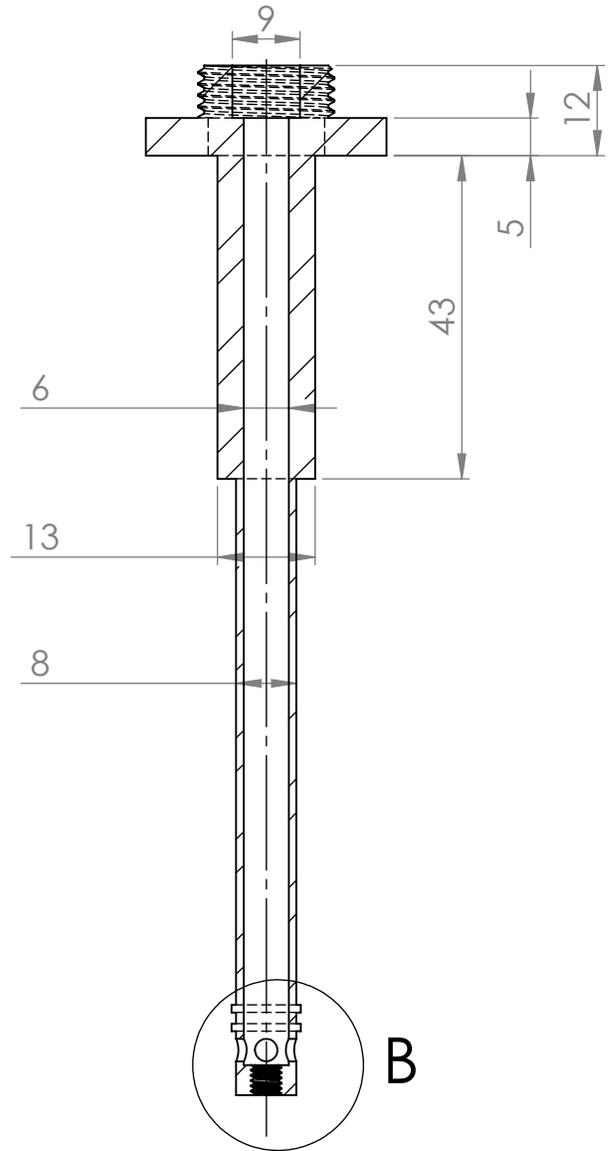
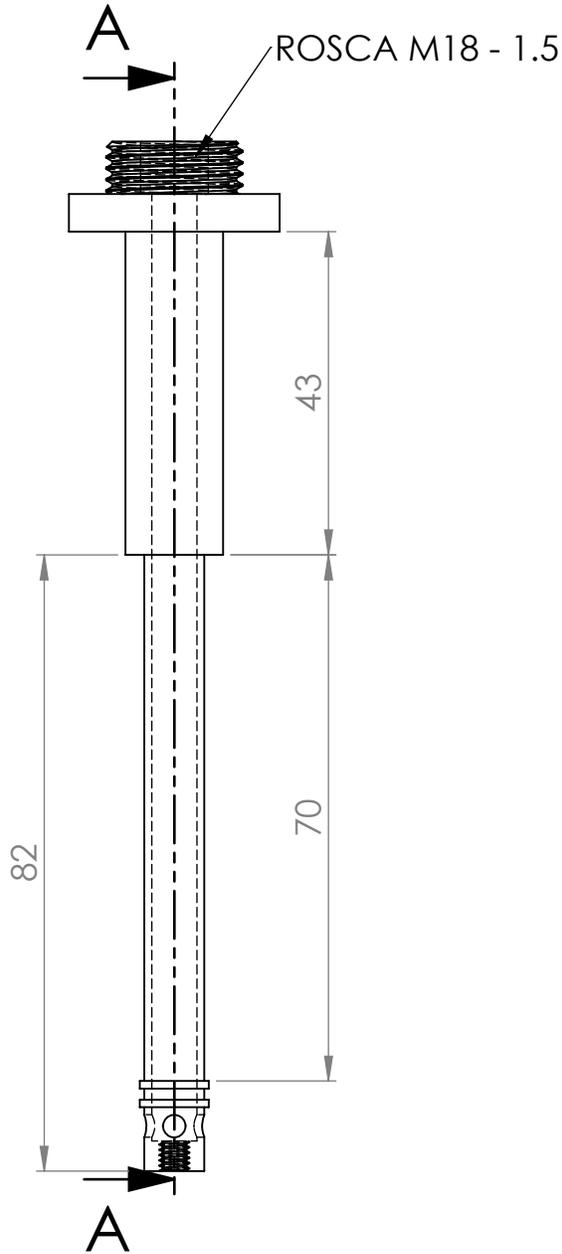
ROSCA M18 - 1.5 SECCIÓN A-A

ESCALA	DISEÑARON:	Alexander Ernesto Cortez Espinoza Edgar Josué Parada Zelaya Adiel Isaf Valencia Chávez	09/2021		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	HOJA 2/6
1:1	REVISÓ:	Ing. Rigoberto Velásquez Paz	10/2021		CÓDIGO	
	TRABAJO DE GRADUACIÓN: PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA MÁQUINA LLENADORA DE ENVASES PET				Autopista Norte y Final Avenida Héroes y Mártires del 30 de Julio, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador.	FORMATO: TAMAÑO CARTA
UNIDADES: milímetros	NOMBRE:	PLANO DE DETALLE DE BOQUILLA CÁMARA DE LLENADO	MATERIAL AISI 316 CANTIDAD: 4			

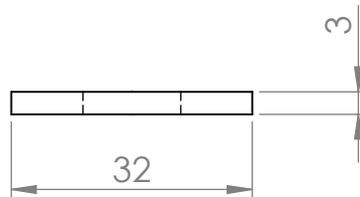
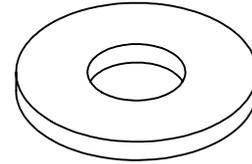
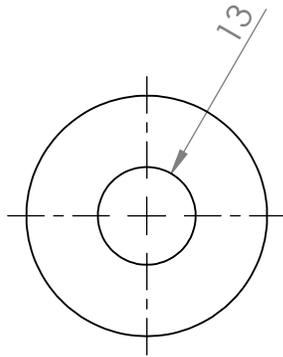


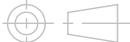
### DETALLE B

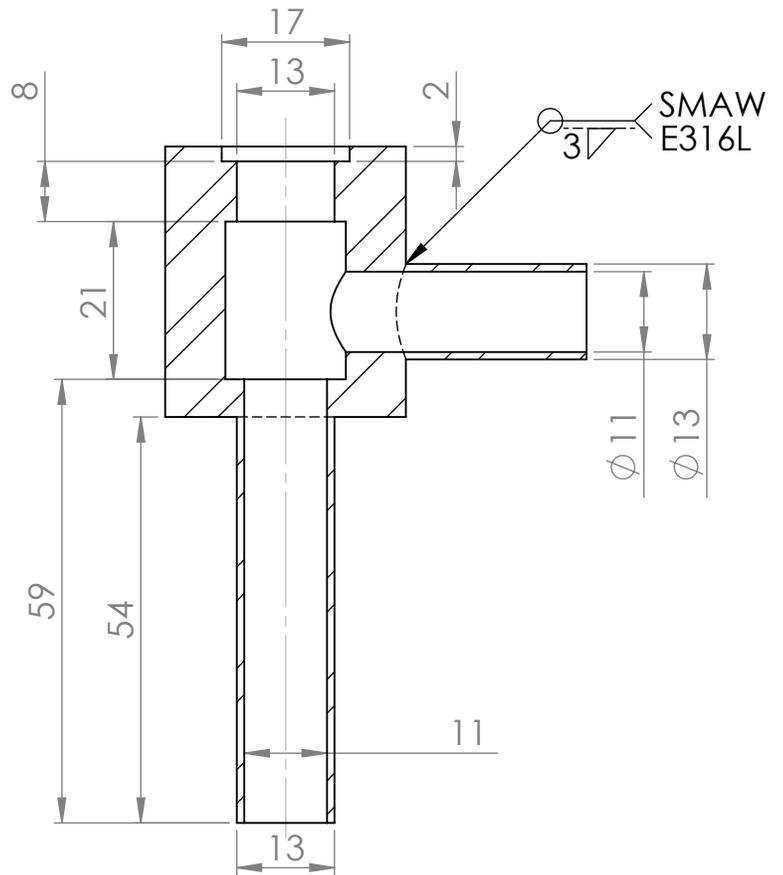
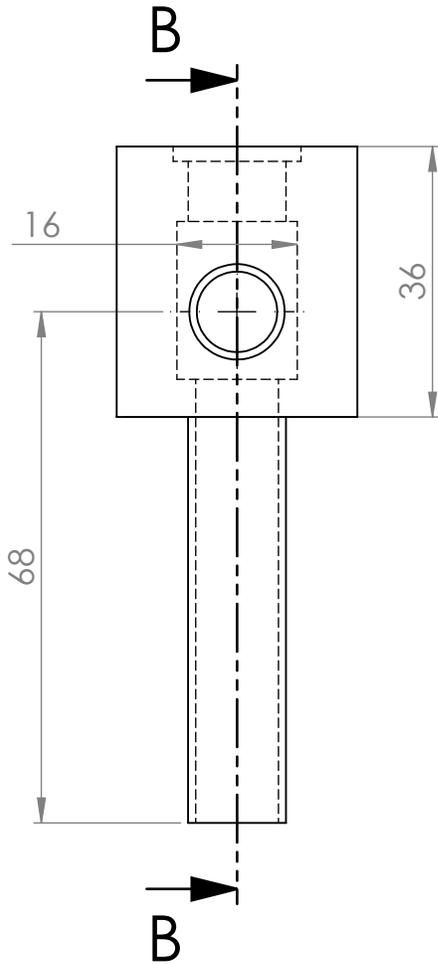
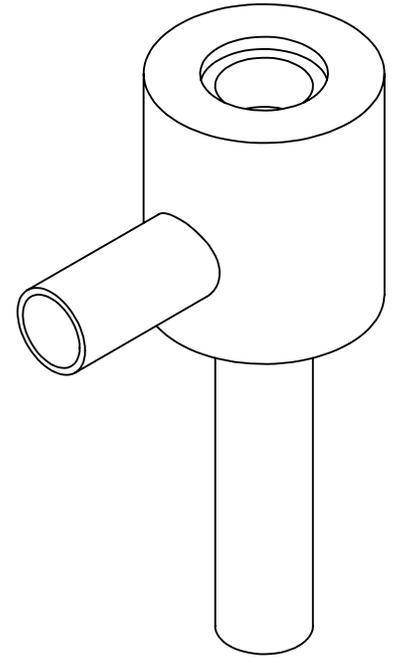
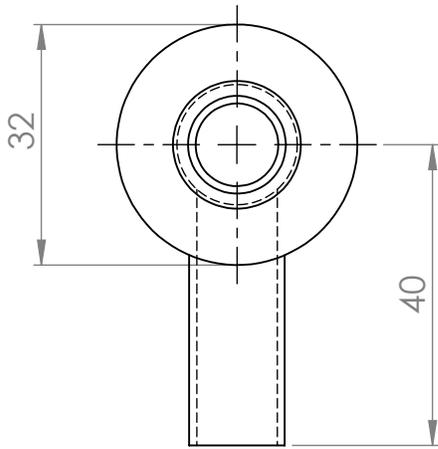
ESCALA 2 : 1



ESCALA	Alexander Ernesto Cortez Espinoza		09/2021		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	HOJA 3/6
1:1	DISEÑARON:	Edgar Josué Parada Zelaya				10/2021
	REVISÓ:	Adiel Isaf Valencia Chávez	Autopista Norte y Final Avenida Héroes y Mártires del 30 de Julio, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador.	FORMATO: TAMAÑO CARTA		
	TRABAJO DE GRADUACIÓN:					
UNIDADES: milímetros	NOMBRE: PLANO DE DETALLE DE BOQUILLAS TUBO DE LLENADO		MATERIAL AISI 316			
			CANTIDAD: 4			

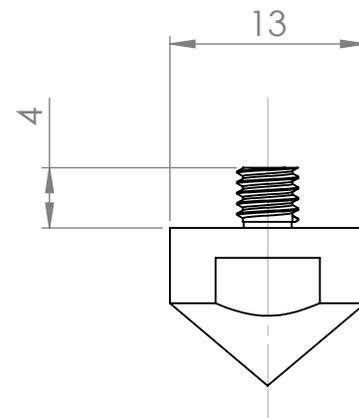
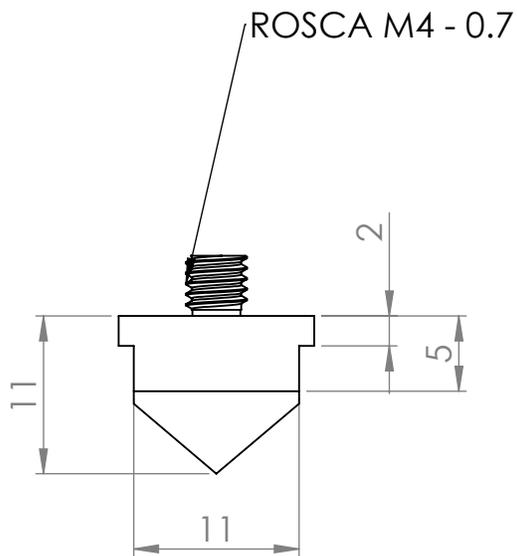
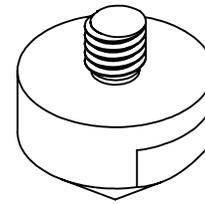
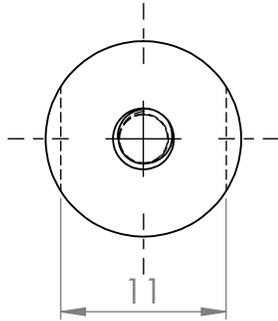


ESCALA	DISEÑARON:	Alexander Ernesto Cortez Espinoza Edgar Josué Parada Zelaya Adiel Isaf Valencia Chávez	09/2021		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	HOJA 4/6
1:1	REVISÓ:	Ing. Rigoberto Velásquez Paz	10/2021		CÓDIGO	
	TRABAJO DE GRADUACIÓN: PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA MÁQUINA LLENADORA DE ENVASES PET				Autopista Norte y Final Avenida Héroos y Mártires del 30 de Julio, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador.	FORMATO: TAMAÑO CARTA
UNIDADES: milímetros	NOMBRE: PLANO DE DETALLE DE BOQUILLAS ARANDELA		MATERIAL AISI 316 CANTIDAD: 4			



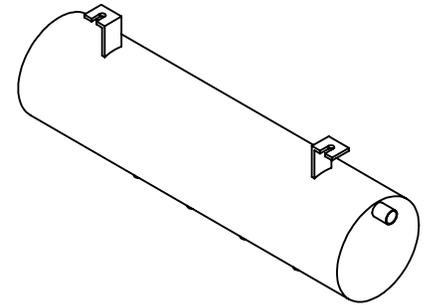
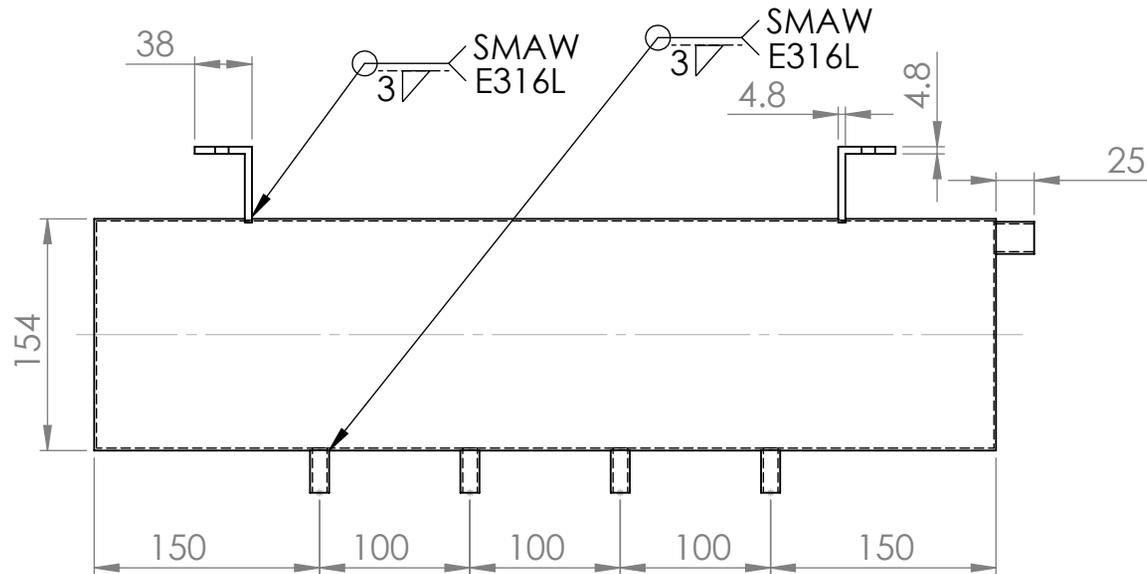
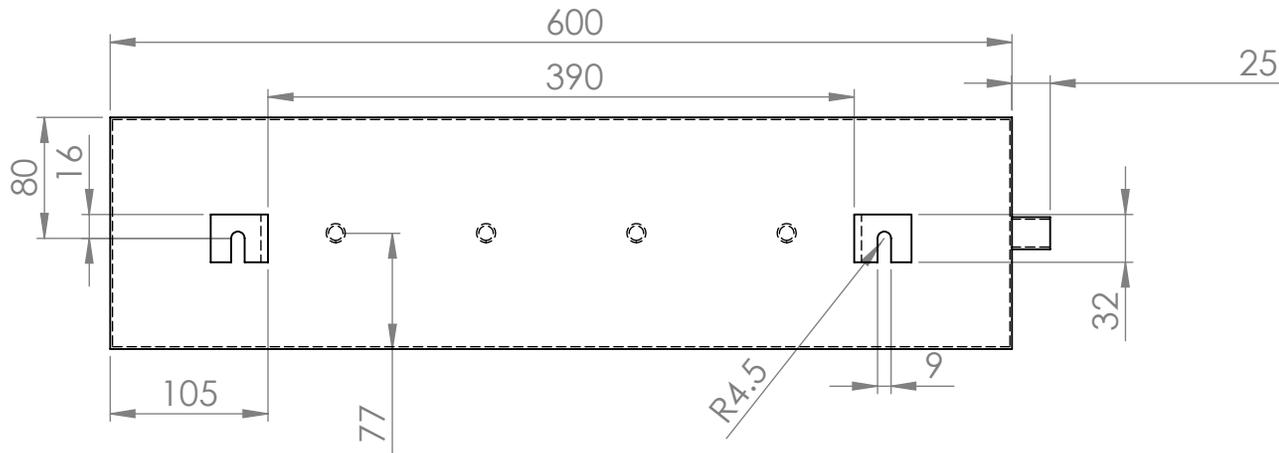
## SECCIÓN B-B

ESCALA	Alexander Ernesto Cortez Espinoza		09/2021		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	HOJA 5/6
1:1	DISEÑARON:	Edgar Josué Parada Zelaya				10/2021
	REVISÓ:	Adiel Isaf Valencia Chávez	FORMATO: TAMAÑO CARTA			
	TRABAJO DE GRADUACIÓN:		PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA MÁQUINA LLENADORA DE ENVASES PET		Autopista Norte y Final Avenida Héroes y Mártires del 30 de Julio, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador.	
UNIDADES: milímetros	NOMBRE:	PLANO DE DETALLE DE BOQUILLAS CÁMARA DE REBALSE		MATERIAL AISI 316	CANTIDAD: 4	

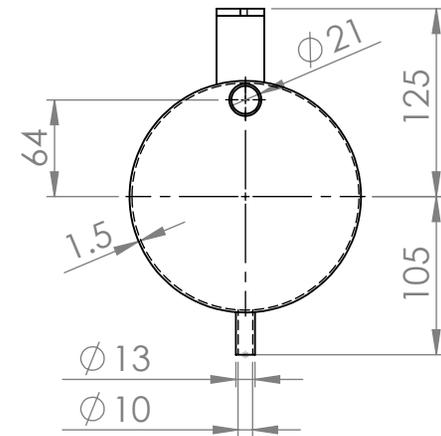


ESCALA	DISEÑARON:	Alexander Ernesto Cortez Espinoza	09/2021		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	HOJA 6/6	
		Edgar Josué Parada Zelaya					CÓDIGO
		Adiel Isai Valencia Chávez					
2:1	REVISÓ:	Ing. Rigoberto Velásquez Paz	10/2021				
	TRABAJO DE GRADUACIÓN:						
	PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA MÁQUINA LLENADORA DE ENVASES PET						
UNIDADES: milímetros	NOMBRE: PLANO DE DETALLE DE BOQUILLAS PUNTA DE BOQUILLA		MATERIAL AISI 316		Autopista Norte y Final Avenida Héroes y Mártires del 30 de Julio, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador.	FORMATO: TAMAÑO CARTA	
			CANTIDAD: 4				

LÁMINA e=1.5 mm



ISOMÉTRICO ESCALA 1:10



ESCALA	DISEÑARON:	Alexander Ernesto Cortez Espinoza	09/2021
		Edgar Josué Parada Zelaya	
		Adiel Isai Valencia Chávez	
1:5	REVISÓ:	Ing. Rigoberto Velásquez Paz	10/2021
	TRABAJO DE GRADUACIÓN: PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA MÁQUINA LLENADORA DE ENVASES PET		
UNIDADES: milímetros	NOMBRE:	TANQUE DE REVERSE	MATERIAL AISI 316 CANTIDAD: 1



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

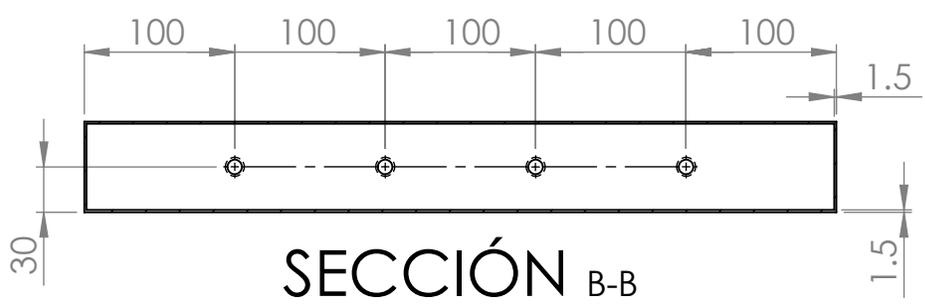
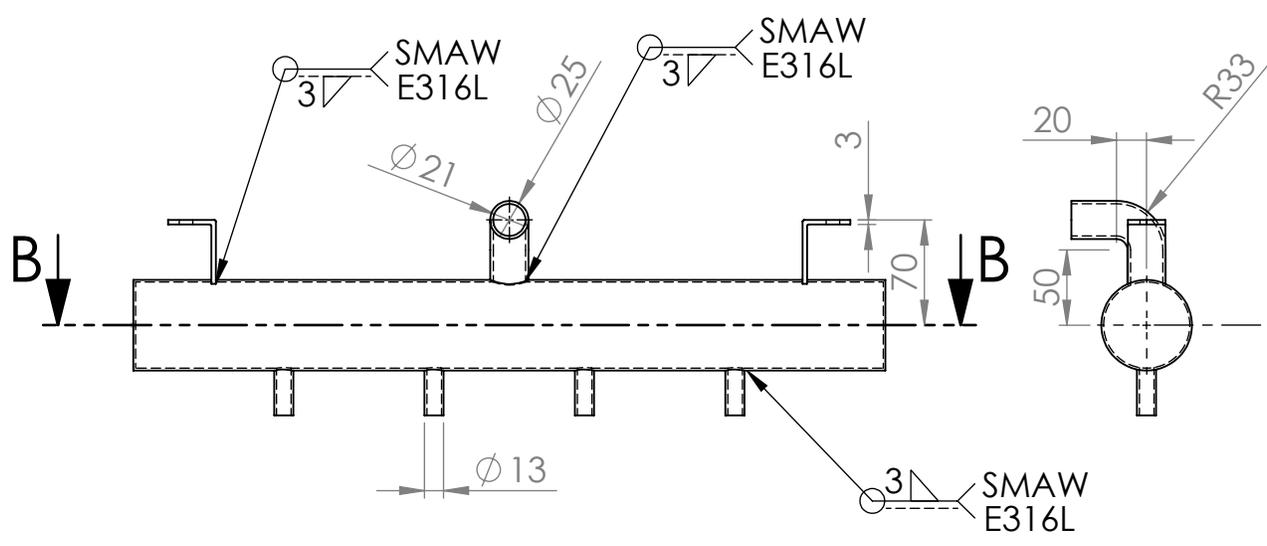
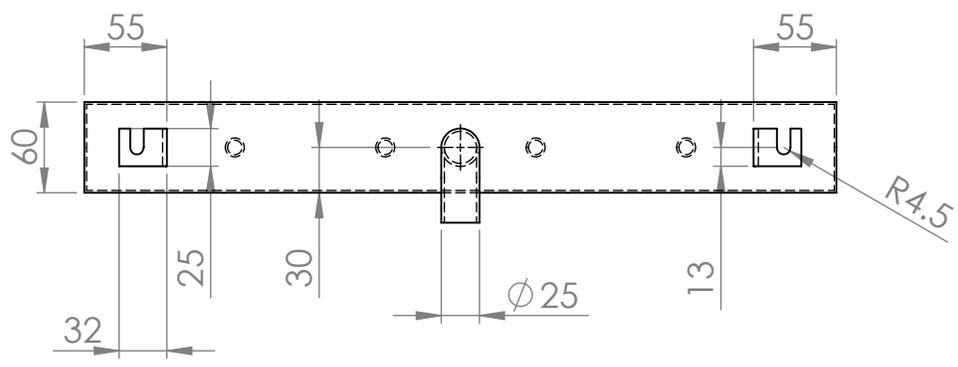
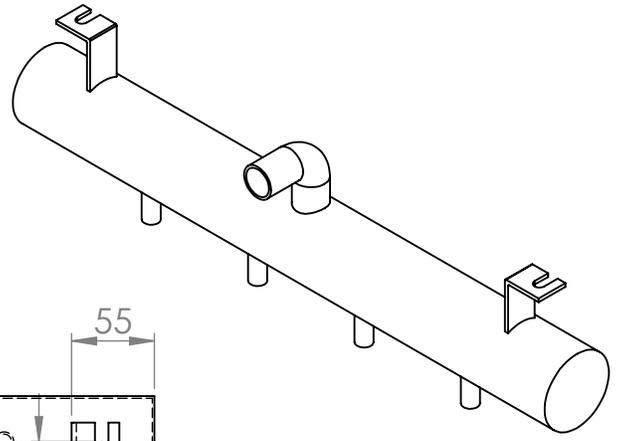
Autopista Norte y Final Avenida Héroes  
y Mártires del 30 de Julio,  
Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador.

HOJA 1/2

CÓDIGO

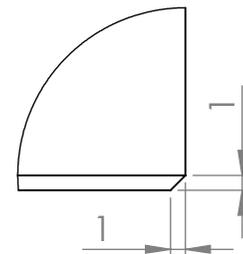
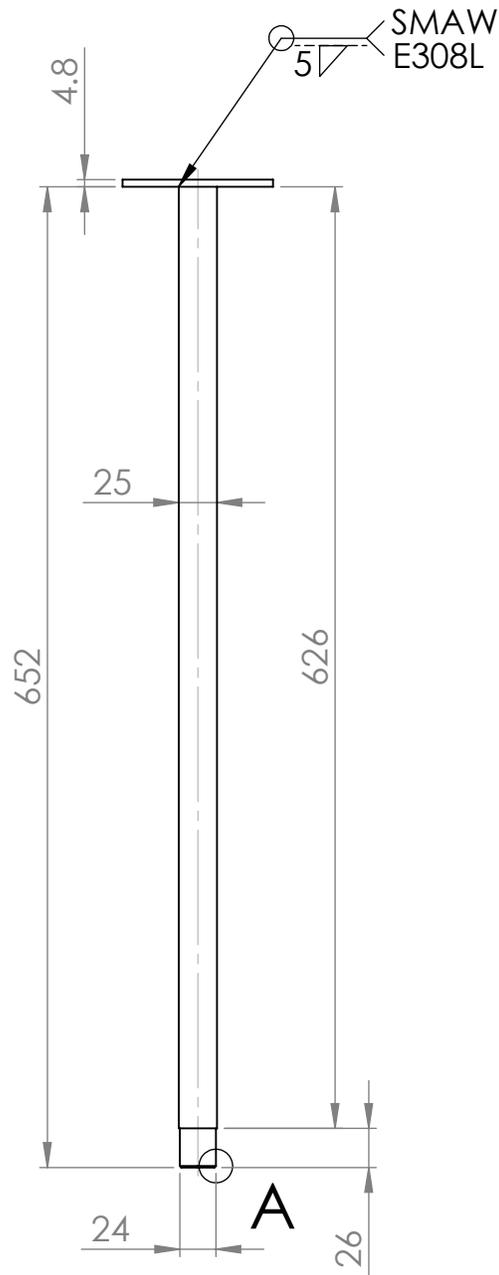
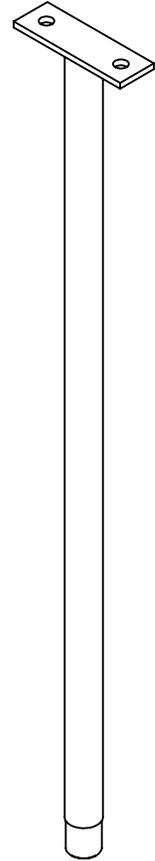
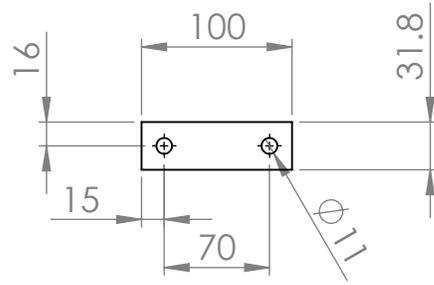
FORMATO:  
TAMAÑO CARTA

LÁMINA e=1.5 mm



SECCIÓN B-B

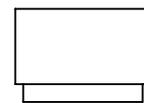
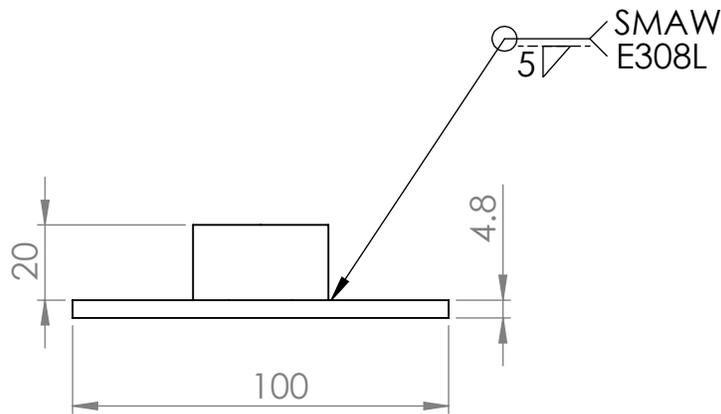
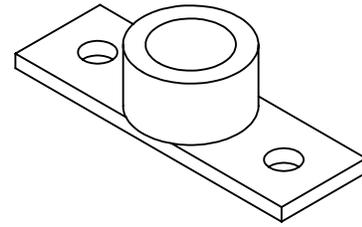
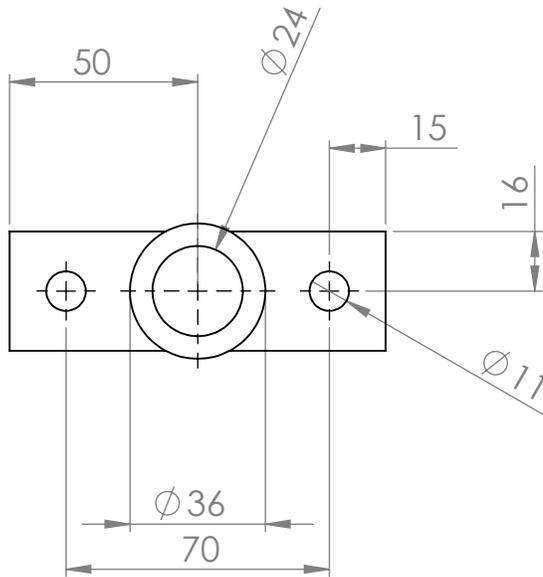
ESCALA	DISEÑARON:	Alexander Ernesto Cortez Espinoza Edgar Josué Parada Zelaya Adiel Isaf Valencia Chávez	09/2021		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	HOJA 2/2
1:5	REVISÓ:	Ing. Rigoberto Velásquez Paz	10/2021			CÓDIGO
UNIDADES: milímetros	NOMBRE:	TANQUE DE REBALSE	MATERIAL AISI 316	Autopista Norte y Final Avenida Héroes y Mártires del 30 de Julio, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador.	FORMATO: TAMAÑO CARTA	
			CANTIDAD: 1			



## DETALLE A

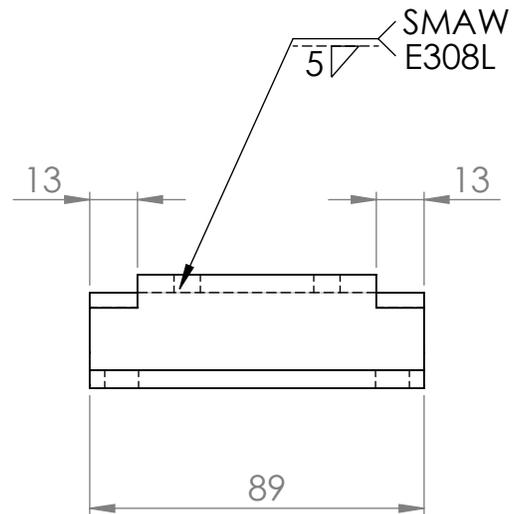
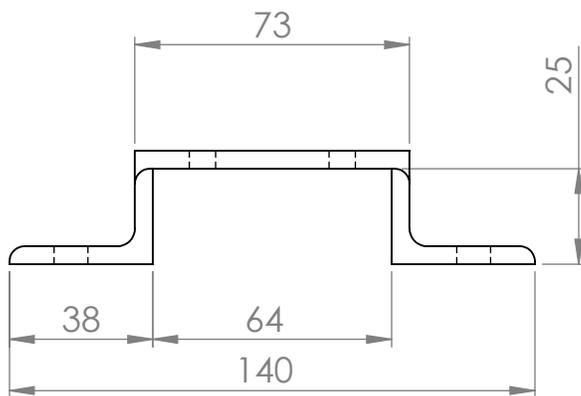
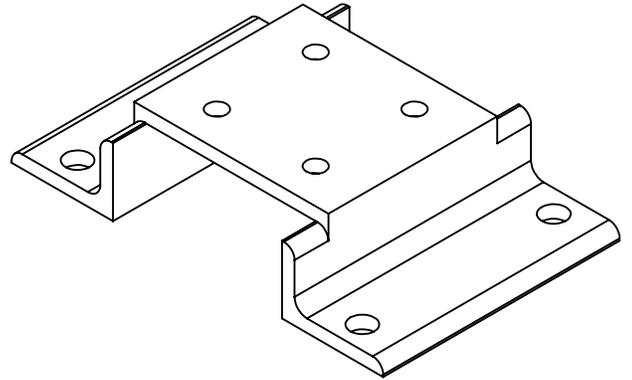
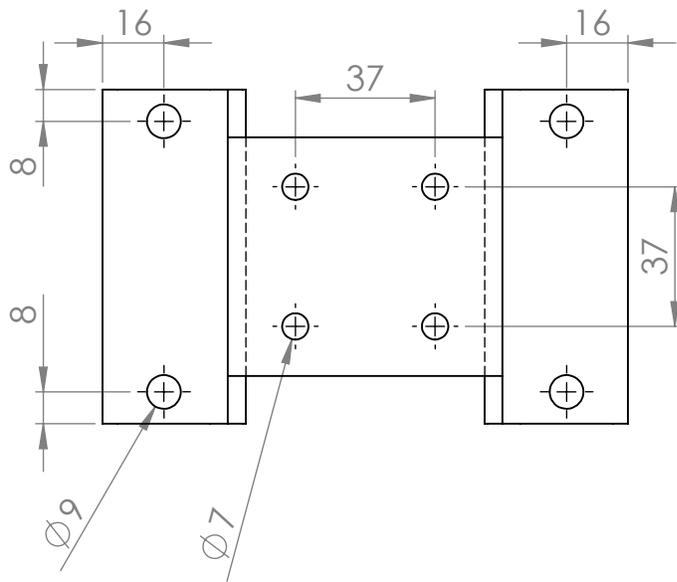
ESCALA 2 : 1

ESCALA	Alexander Ernesto Cortez Espinoza		09/2021		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	HOJA 1/2
1:5	DISEÑARON:	Edgar Josué Parada Zelaya				10/2021
	REVISÓ:	Adiel Isaí Valencia Chávez		Autopista Norte y Final Avenida Héroes y Mártires del 30 de Julio, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador.		
	TRABAJO DE GRADUACIÓN:				MATERIAL	FORMATO:
UNIDADES:	NOMBRE:	AI SI 304	CANTIDAD: 2	TAMAÑO CARTA		
milímetros	GUÍA					

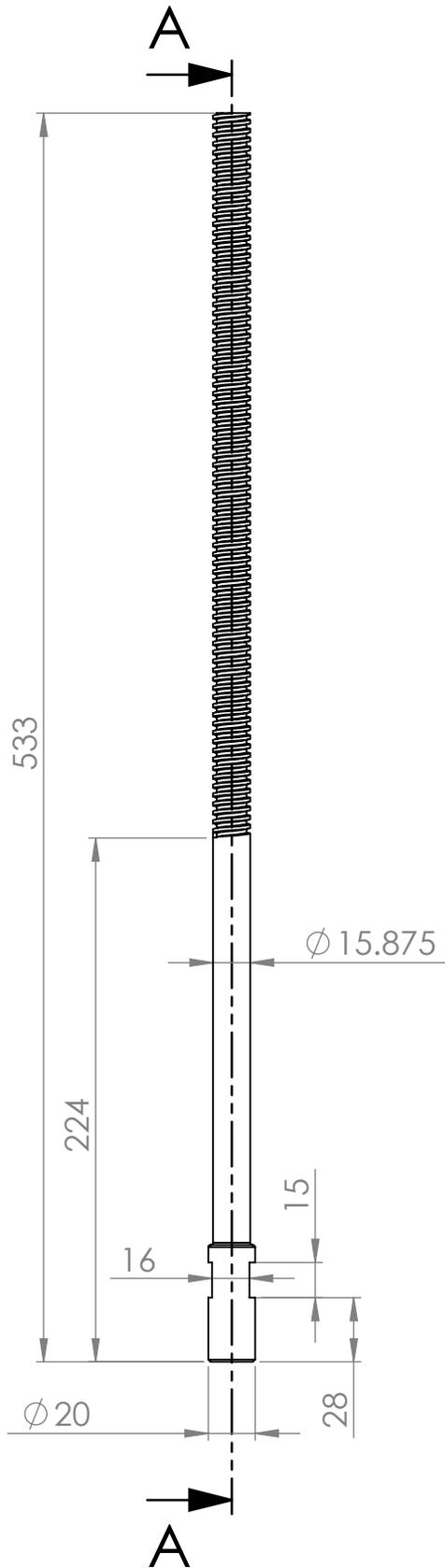


ESCALA	DISEÑARON:	Alexander Ernesto Cortez Espinoza Edgar Josué Parada Zelaya Adiel Isaf Valencia Chávez	09/2021		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	HOJA 2/2
1:2	REVISÓ:	Ing. Rigoberto Velásquez Paz	10/2021		CÓDIGO	
	TRABAJO DE GRADUACIÓN: PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA MÁQUINA LLENADORA DE ENVASES PET			Autopista Norte y Final Avenida Héroes y Mártires del 30 de Julio, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador.	FORMATO: TAMAÑO CARTA	
UNIDADES: milímetros	NOMBRE:	SOPORTE DE GUÍAS	MATERIAL AISI 304 CANTIDAD: 2			

**PLATINA 1 1/2" x 3/16"**  
**ÁNGULO 1 1/2" x 3/16"**

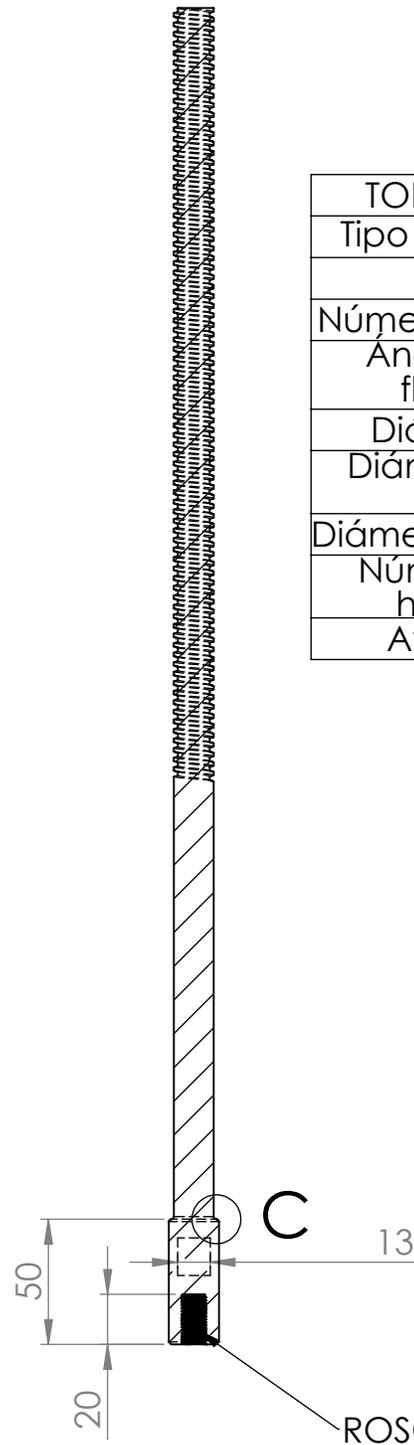


ESCALA	DISEÑARON:	Alexander Ernesto Cortez Espinoza Edgar Josué Parada Zelaya Adiel Isai Valencia Chávez	09/2021		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	HOJA 1/1
1:2	REVISÓ:	Ing. Rigoberto Velásquez Paz	10/2021		Autopista Norte y Final Avenida Héroes y Mártires del 30 de Julio, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador.	CÓDIGO
UNIDADES: milímetros	NOMBRE:	BASE DE CILINDRO C	MATERIAL AISI 304			FORMATO: TAMAÑO CARTA
			CANTIDAD: 1			



### SECCIÓN A-A

TORNILLO DE POTENCIA	
Tipo de rosca	ACME
Paso	3.175 mm
Número de hilos	8 hilos/in
Ángulo de flanco	14.5 °
Diámetro	15.875 mm
Diámetro de raíz	12.7 mm
Diámetro medio	14.3 mm
Número de hélices	1
Avance	3.175 mm

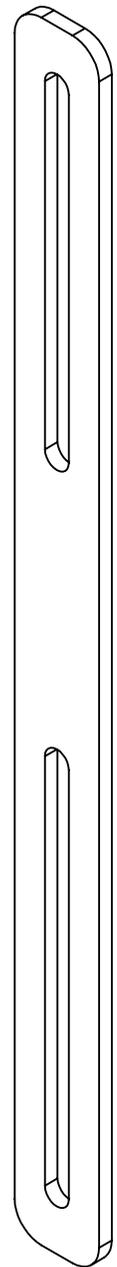
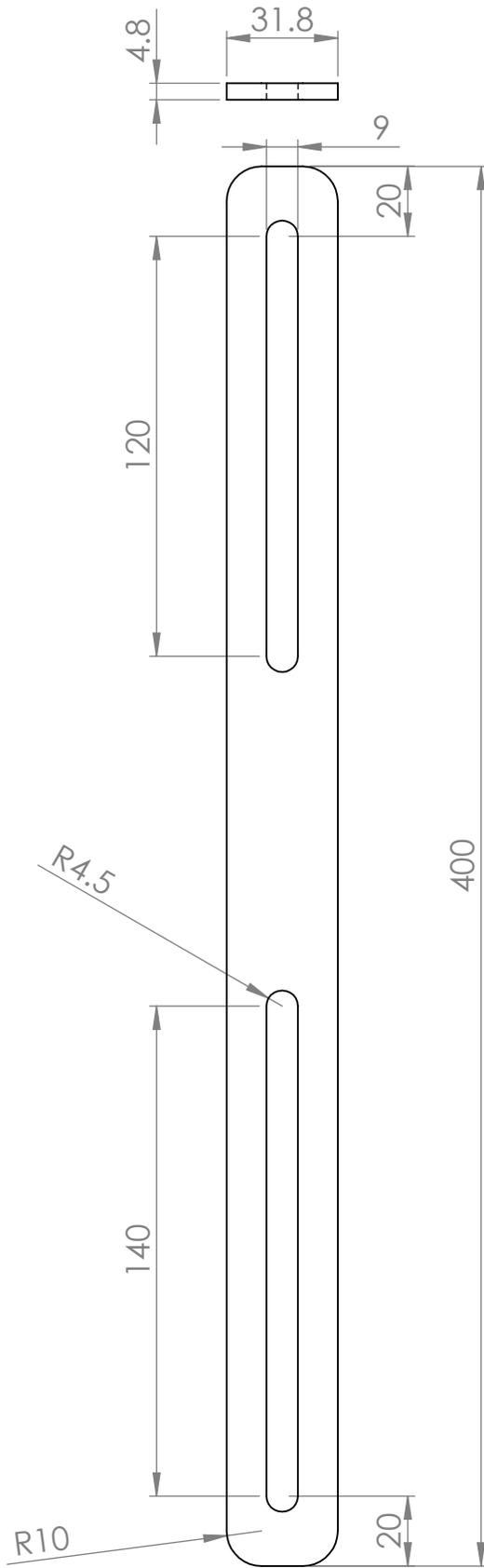


### DETALLE C

ESCALA 2 : 3

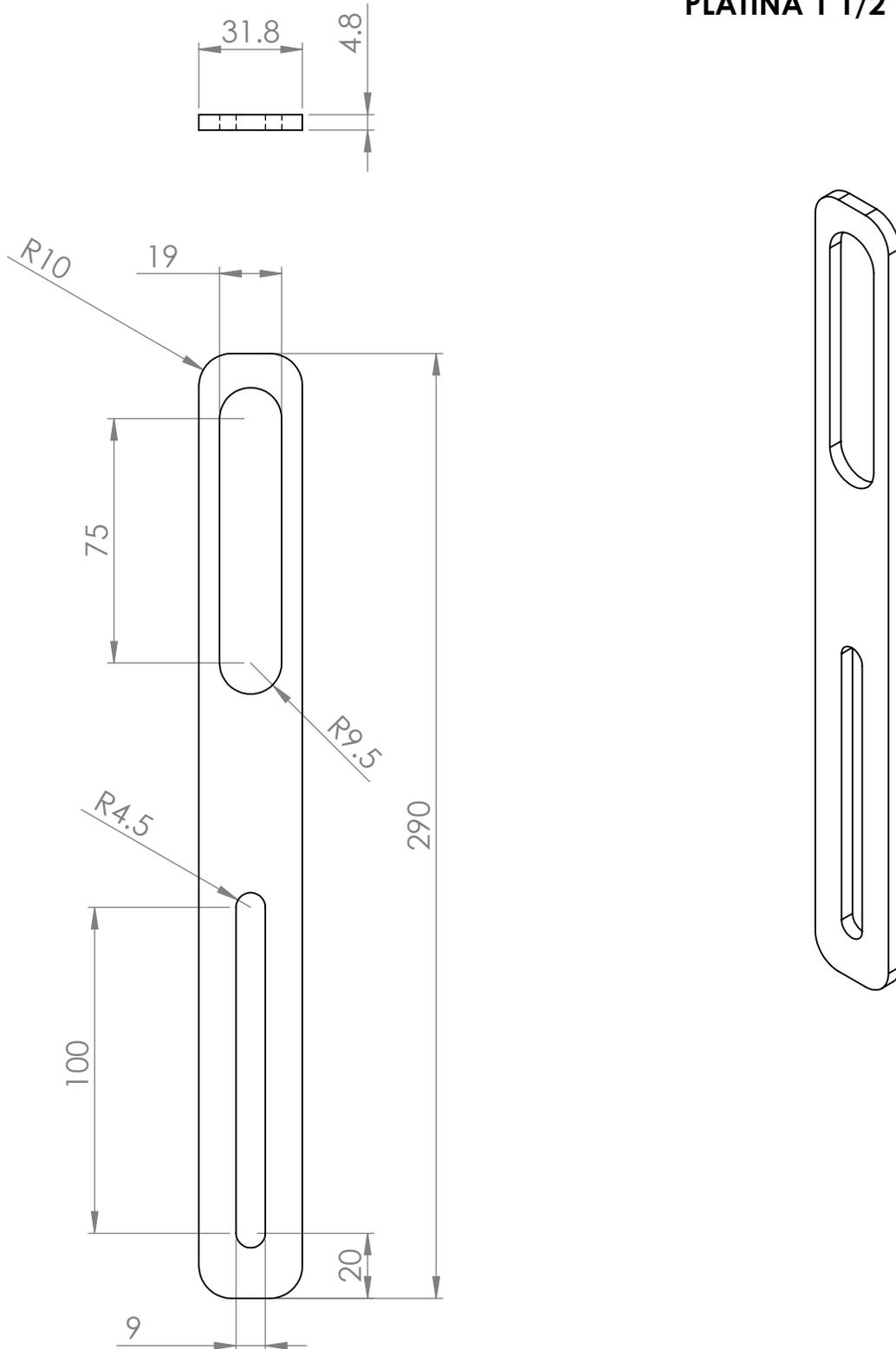
ESCALA	1:3	DISEÑARON:	Alexander Ernesto Cortez Espinoza Edgar Josué Parada Zelaya Adiel Isai Valencia Chávez	09/2021		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	HOJA 1/1
		REVISÓ:	Ing. Rigoberto Velásquez Paz	10/2021			CÓDIGO
		TRABAJO DE GRADUACIÓN:	PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA MÁQUINA LLENADORA DE ENVASES PET				
UNIDADES: milímetros	NOMBRE:	TORNILLO DE POTENCIA		MATERIAL AISI 304		Autopista Norte y Final Avenida Héroes y Mártires del 30 de Julio, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador.	FORMATO: TAMAÑO CARTA
				CANTIDAD: 1			

# PLATINA 1 1/2" x 3/16"



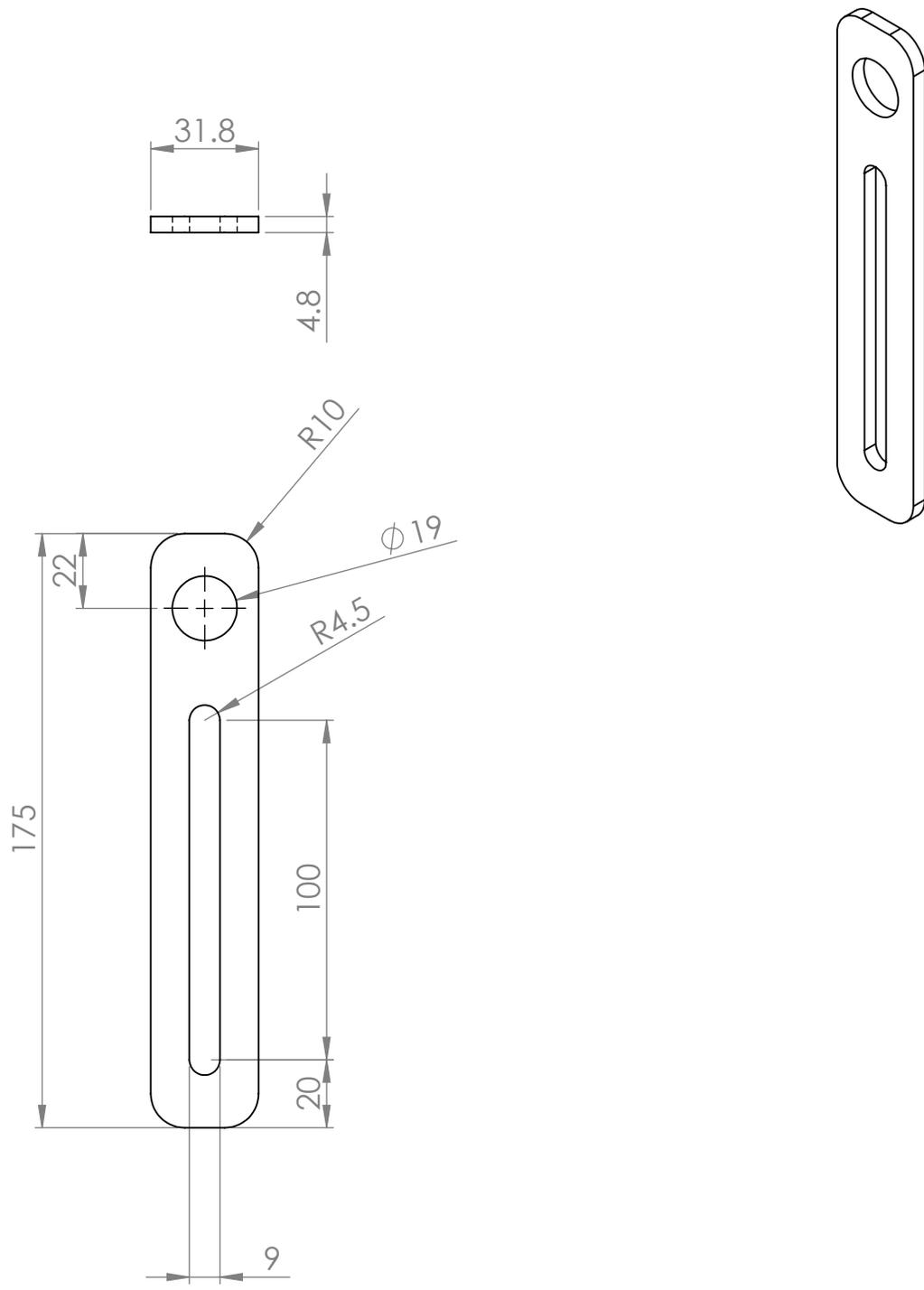
ESCALA  <b>1:2</b>	DISEÑARON:	Alexander Ernesto Cortez Espinoza Edgar Josué Parada Zelaya Adiel Isai Valencia Chávez	09/2021		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	HOJA 1/3
	REVISÓ:	Ing. Rigoberto Velásquez Paz	10/2021		CÓDIGO	
	TRABAJO DE GRADUACIÓN: PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA MÁQUINA LLENADORA DE ENVASES PET				Autopista Norte y Final Avenida Héroos y Mártires del 30 de Julio, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador.	
UNIDADES: milímetros	NOMBRE: SOPORTE DE SENSOR	MATERIAL AISI 304	CANTIDAD: 2	FORMATO: TAMAÑO CARTA		

# PLATINA 1 1/2" x 3/16"



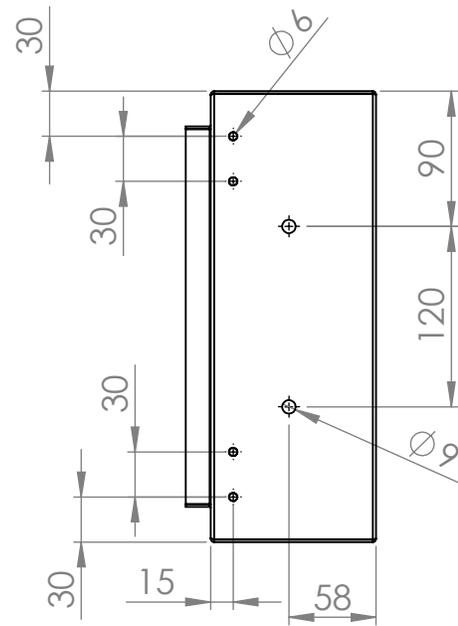
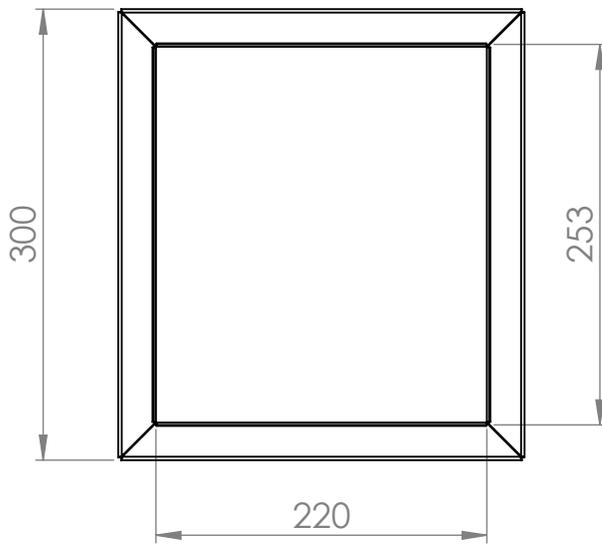
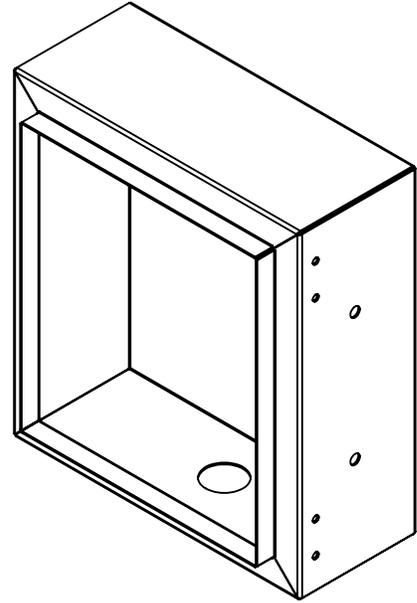
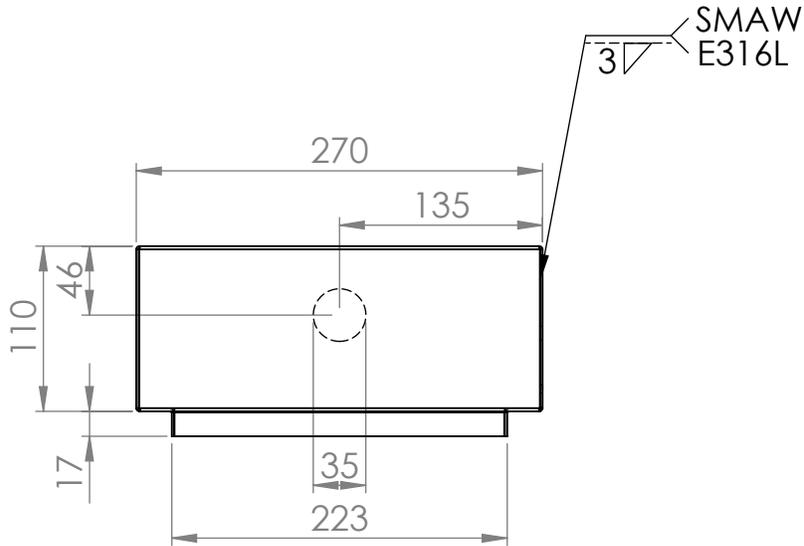
ESCALA	DISEÑARON:	Alexander Ernesto Cortez Espinoza	09/2021		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	HOJA 2/3	
		Edgar Josué Parada Zelaya					CÓDIGO
		Adiel Isai Valencia Chávez					
1:2	REVISÓ:	Ing. Rigoberto Velásquez Paz	10/2021				
	TRABAJO DE GRADUACIÓN:						
	PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA MÁQUINA LLENADORA DE ENVASES PET						
UNIDADES: milímetros	NOMBRE: SOPORTE DE CILINDRO	MATERIAL	AISI 304		Autopista Norte y Final Avenida Héroes y Mártires del 30 de Julio, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador.	FORMATO: TAMAÑO CARTA	
		CANTIDAD:	2				

# PLATINA 1 1/2" x 3/16"



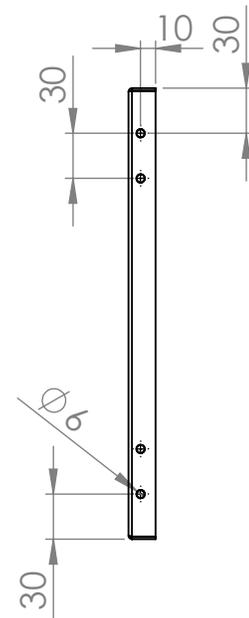
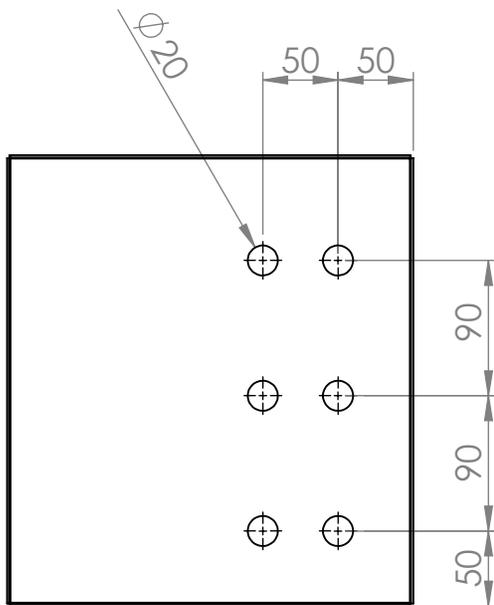
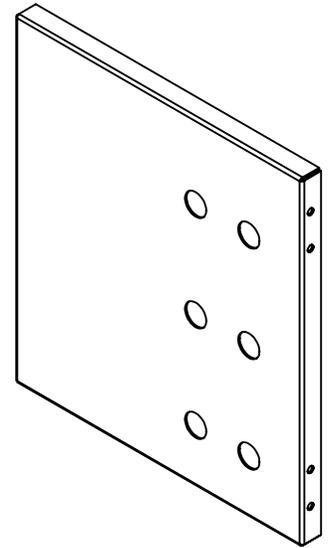
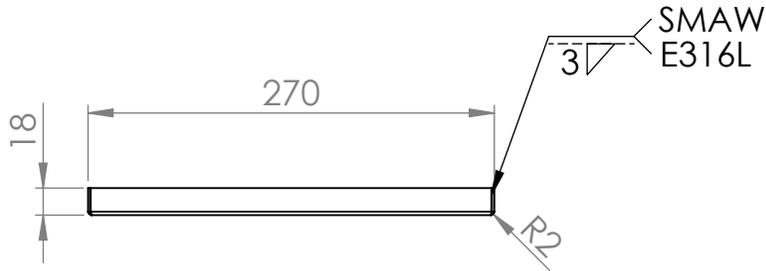
ESCALA	DISEÑARON:	Alexander Ernesto Cortez Espinoza Edgar Josué Parada Zelaya Adiel Isaf Valencia Chávez	09/2021		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	HOJA 3/3
1:5	REVISÓ:	Ing. Rigoberto Velásquez Paz	10/2021		CÓDIGO	
	TRABAJO DE GRADUACIÓN: PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA MÁQUINA LLENADORA DE ENVASES PET			Autopista Norte y Final Avenida Héroes y Mártires del 30 de Julio, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador.	FORMATO: TAMAÑO CARTA	
UNIDADES: milímetros	NOMBRE: SOPORTE DE AJUSTE DE SENSOR		MATERIAL AISI 304			
			CANTIDAD: 2			

LÁMINA e = 1.5 mm



ESCALA	DISEÑARON:	Alexander Ernesto Cortez Espinoza Edgar Josué Parada Zelaya Adiel Isaf Valencia Chávez	09/2021		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	HOJA 1/2
1:5	REVISÓ:	Ing. Rigoberto Velásquez Paz	10/2021		CÓDIGO	
	TRABAJO DE GRADUACIÓN: PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA MÁQUINA LLENADORA DE ENVASES PET			Autopista Norte y Final Avenida Héroes y Mártires del 30 de Julio, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador.	FORMATO: TAMAÑO CARTA	
UNIDADES: milímetros	NOMBRE:	GABINETE	MATERIAL AISI 316	CANTIDAD: 1		

LÁMINA e = 1.5 mm



ESCALA	DISEÑARON:	Alexander Ernesto Cortez Espinoza Edgar Josué Parada Zelaya Adiel Isaf Valencia Chávez	09/2021		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	HOJA 2/2
1:5	REVISÓ:	Ing. Rigoberto Velásquez Paz	10/2021		CÓDIGO	
	TRABAJO DE GRADUACIÓN: PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA MÁQUINA LLENADORA DE ENVASES PET			Autopista Norte y Final Avenida Héroes y Mártires del 30 de Julio, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador.	FORMATO: TAMAÑO CARTA	
UNIDADES: milímetros	NOMBRE:	PUERTA DE GABINETE	MATERIAL AISI 316	CANTIDAD: 1		

## **ANEXO B. MANUALES**

### **MANUALES DE UNA MÁQUINA LLENADORA DE ENVASES PET**

#### **MANUAL DE MONTAJE**

##### **INTRODUCCION**

En las máquinas muchas veces suele ser difícil identificar cada elemento que la compone, y ejecutar los mantenimientos suele ser complicado, de manera que se ha considerado proporcionar un manual de montaje de la máquina para facilitar la identificación de los elementos de modo que las operaciones de mantenimiento y montaje resulten mucho más fáciles.

En este manual se explica el ensamble de la máquina de acuerdo a los isométricos realizados en un programa de diseño CAD de los componentes.

Para el ensamble de la máquina se requiere de dos personas, y las herramientas a utilizar son: llave Allen de 6 mm y 8 mm, llave española de 13 mm y 17 mm, destornillador plano y en cruz.

##### **MONTAJE DE COMPONENTES PRINCIPALES DE LA MÁQUINA**

En el manual de montaje se presenta partiendo de que los elementos mecánicos ya se encuentran fabricados, solo para la realización del montaje de cada una de estos elementos que conforman la máquina.

Para comprender el manual con mayor facilidad se presenta el montaje por partes clasificando un conjunto de elementos por sistemas, y se presenta el nombre de cada elemento de acuerdo a una numeración.

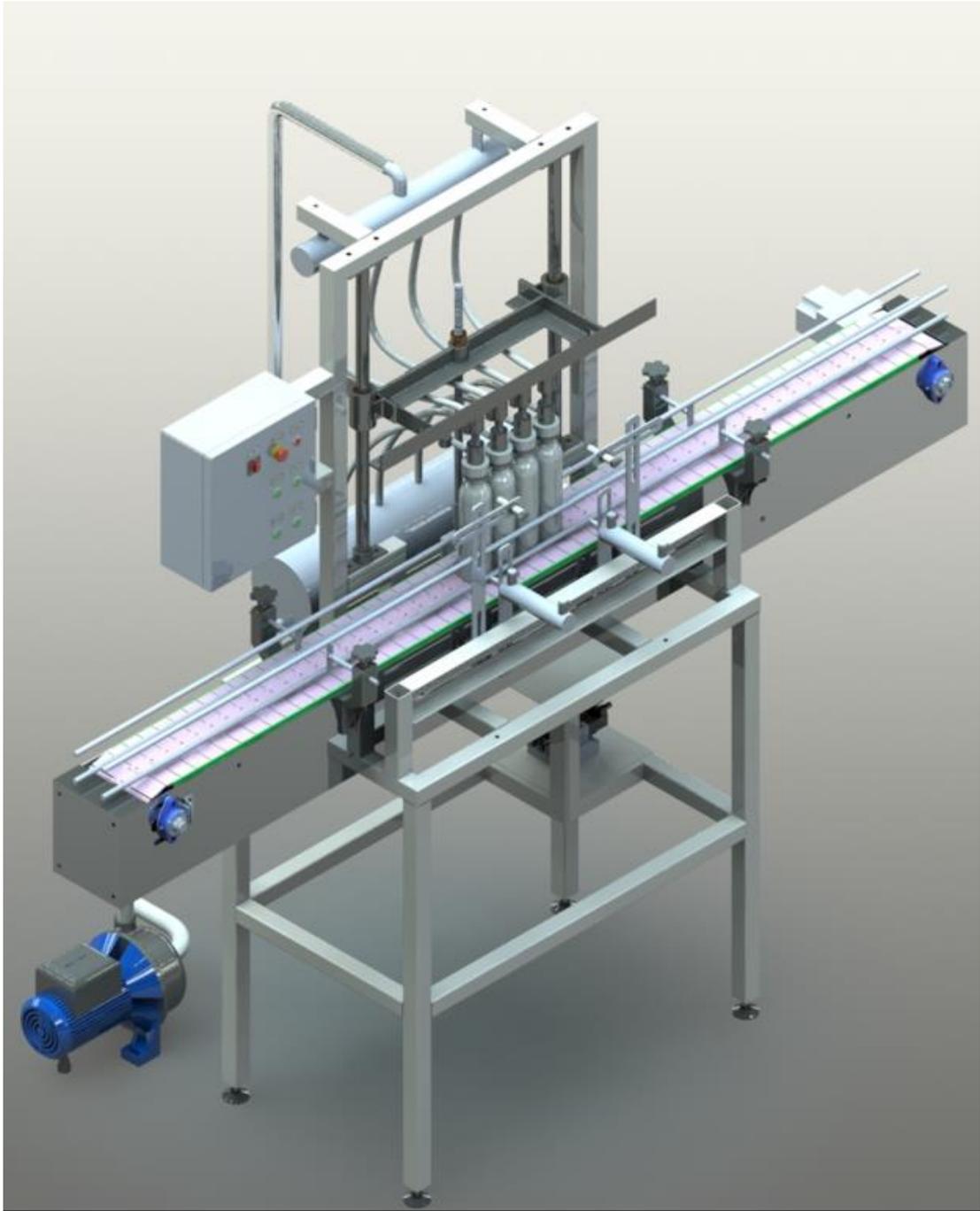


Fig. B1. Diseño CAD de máquina llenadora de envases.

Descripción de elemento principales de la máquina:

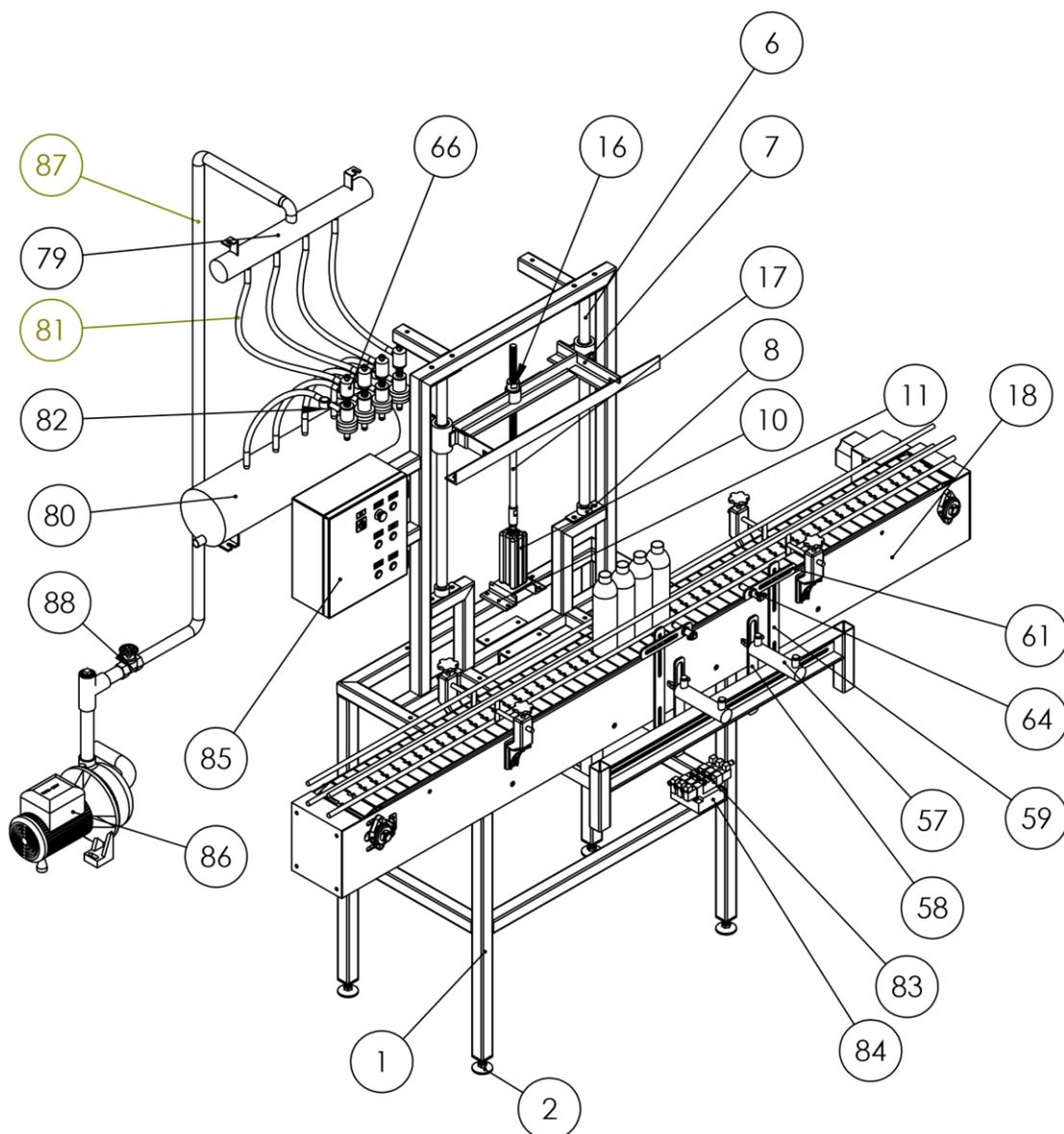


Fig. B2. Elementos principales de la máquina.

### Sistema de estructura soportante.

La estructura soportante se toma como un solo sistema que ya se encuentra construida, en la cual todas las partes de la estructura soportante han sido soldadas.

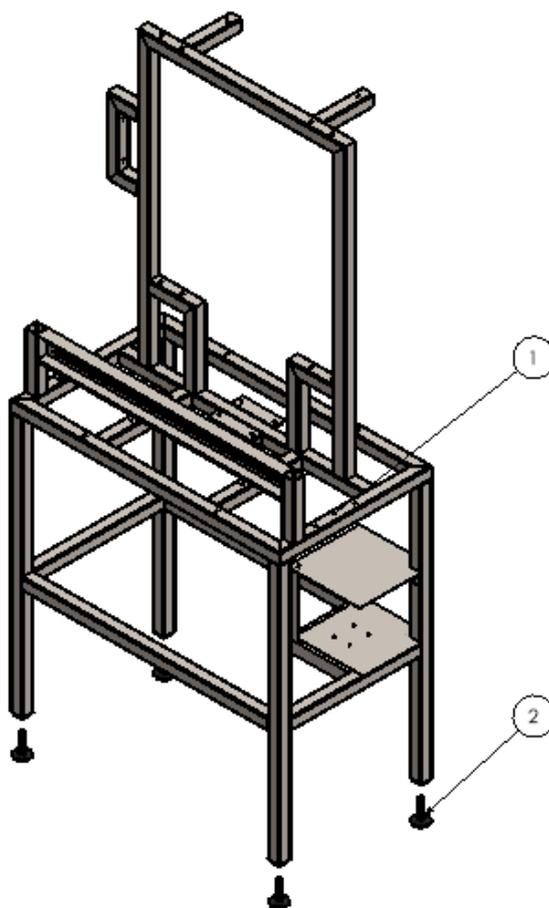


Fig. B3. Estructura soportante.

Número	Nombre	Cantidad
1	Estructura soportante	1
2	Perno de nivelación	4

Los únicos elementos que se colocan en la estructura soportante antes del montaje de los demás elementos o sistemas son los pernos de nivelación, y se colocan en las patas de la estructura como se muestra a continuación en la figura B4.

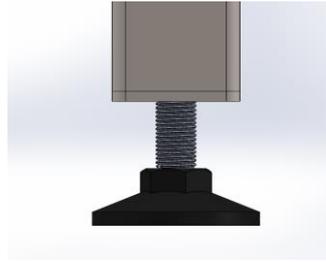


Fig. B4. Perno de nivelación.

Colocados los pernos de nivelación, la estructura soportante queda de la siguiente manera (figura B5).

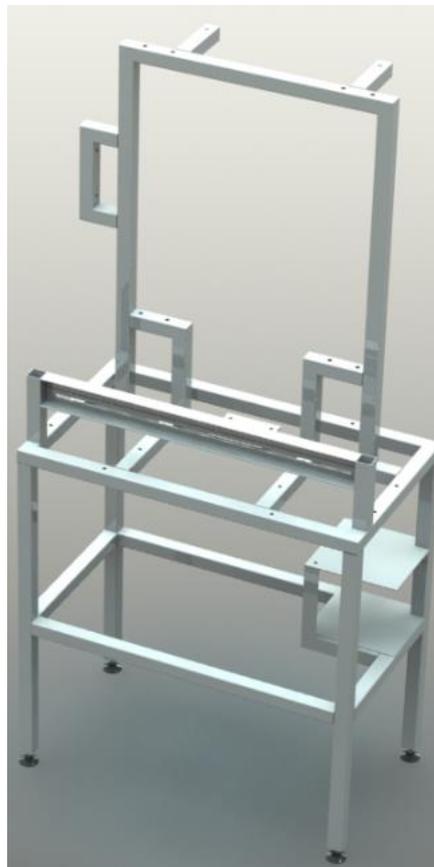


Fig. B5. Estructura soportante con pernos de nivelación.

### Sistema de desplazamiento de las boquillas.

Se detalla el ensamble de todos los elementos involucrados en el sistema de desplazamiento de las boquillas.

- Montaje del portaboquillas y las varillas guías.

Primero se tiene que ensamblar el portaboquillas y las varillas guías, la estructura del portaboquillas ya cuenta con los cojinetes deslizantes ensamblados (ensamblados a presión), para el ensamble se tiene que preceder según se observa en la figura B6 donde se muestra cada elemento por separado, según la posición de ensamble.

Número	Nombre	Cantidad
3	Tuerca de guías M10 - 1.25	8
4	Arandela M10	16
5	Perno de guías M10 - 1.25 x 60	8
6	Guías	2
7	Porta boquillas	1
8	Soporte de guías	2

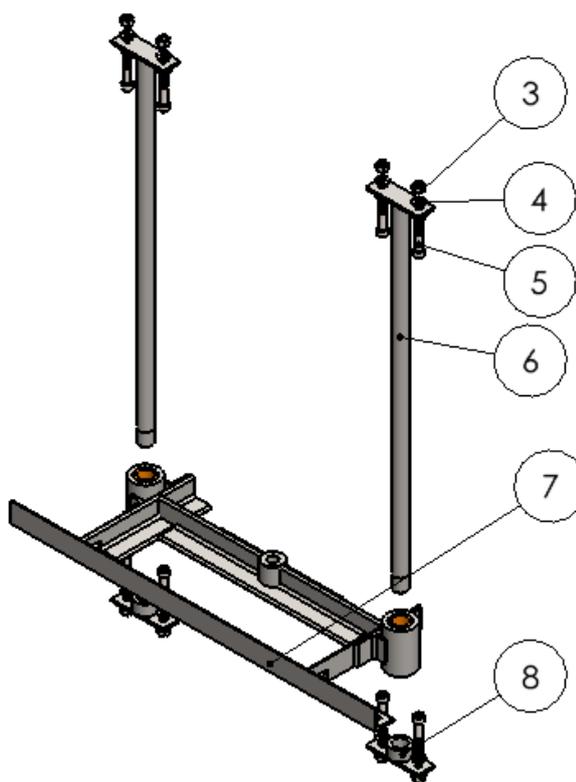


Fig. B6. Detalle de portaboquillas con varillas guías.

Ensamblados los elementos queda de la siguiente manera, como se muestra en la figura B7.

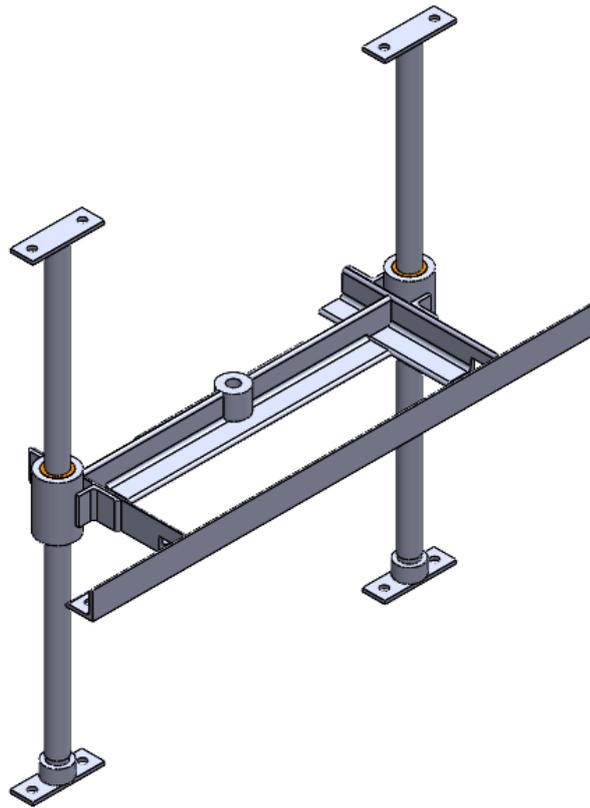


Fig. B7. Ensamblaje de portaboquillas con varillas guías.

- Ensamblaje de las varillas guías a la estructura soportante.

Posteriormente se tienen que ensamblar las varillas guías en la estructura soportante, fijado en la parte superior e inferior de cada varilla guía por medio de los pernos como se muestra en la figura B8.

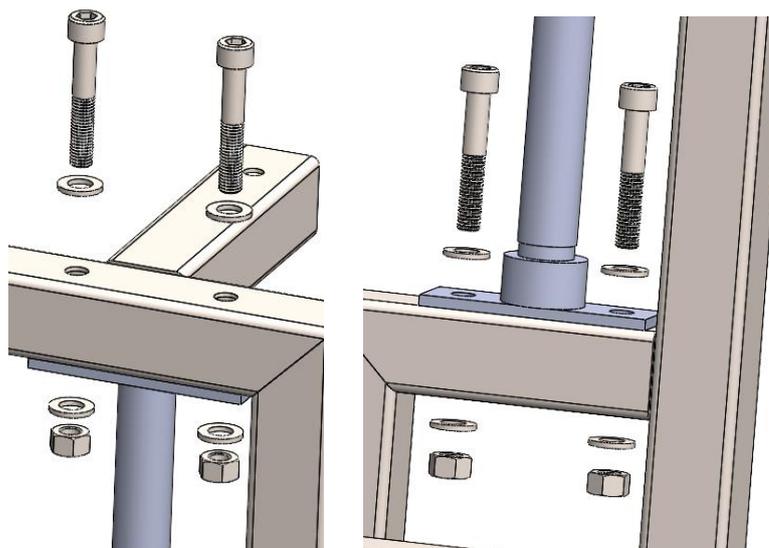


Fig. B8. Detalle de ensamble de varillas guías a la estructura soportante.

Una vez fijadas en la estructura soportante queda de la siguiente manera, como se muestra en la figura B9.

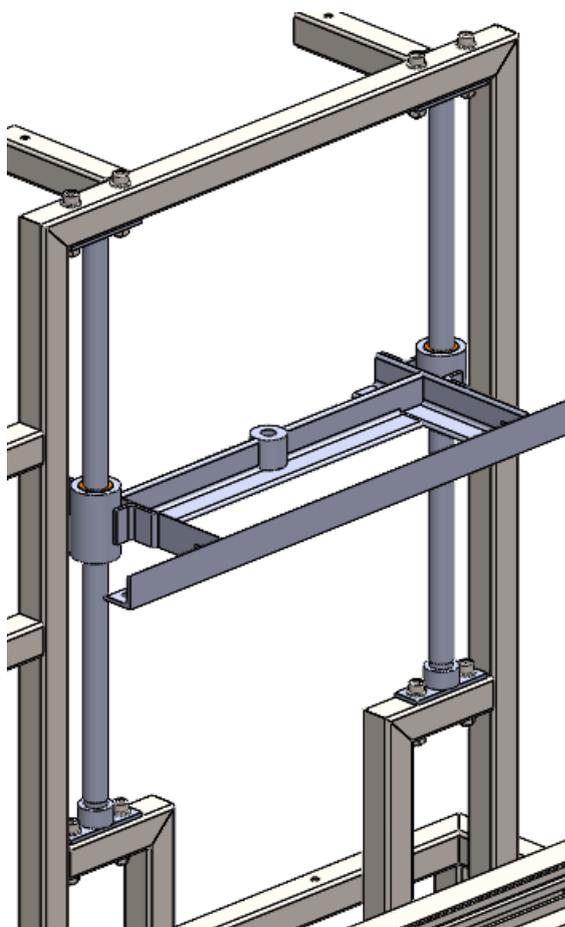


Fig. B9. Estructura soportante con portaboquillas instalado.

- Montaje del cilindro neumático y la base del cilindro a la estructura soportante.

Número	Nombre	Cantidad
9	Tuerca de vástago	1
10	Cilindro neumático C	1
11	Base de cilindro neumático C	1
12	Perno de base del cilindro M8 - 1.25 x 25	4
13	Arandela plana para perno M8	8
14	Tuerca M8 - 1.25	4
15	Perno de cilindro M6 - 1 x 15	4

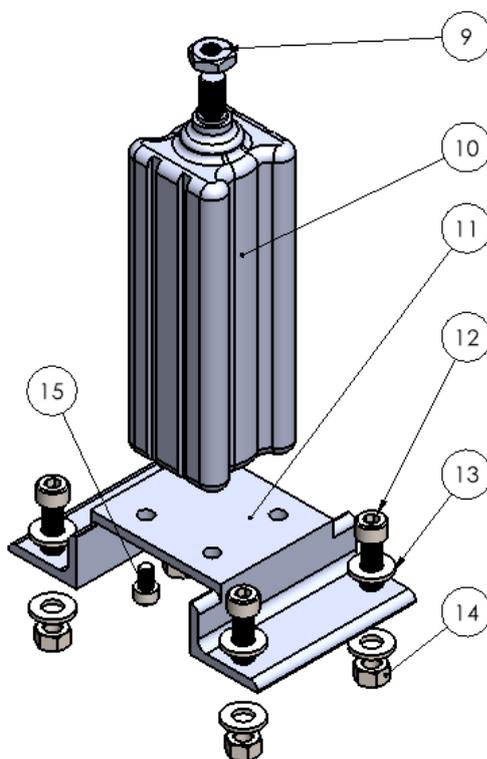


Fig. B10. Cilindro neumático.

Se ensambla el cilindro que permite el movimiento vertical de las boquillas, a la placa base del cilindro, posteriormente se ensambla la placa base a la estructura soportante, como se muestra en la figura B11.

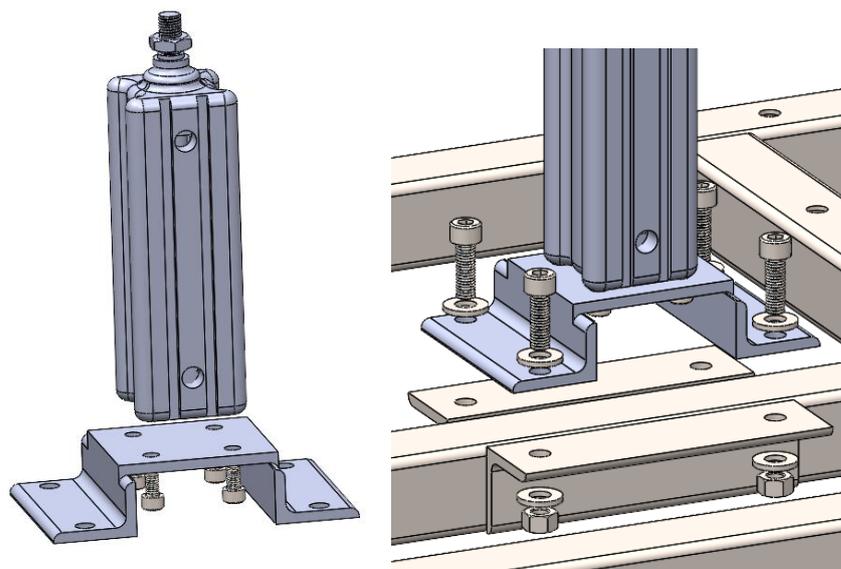


Fig. B11. Ensamble del cilindro neumático.

Una vez ensamblada la placa base en conjunto con el cilindro neumático queda de la siguiente manera, como se muestra en la figura B12.

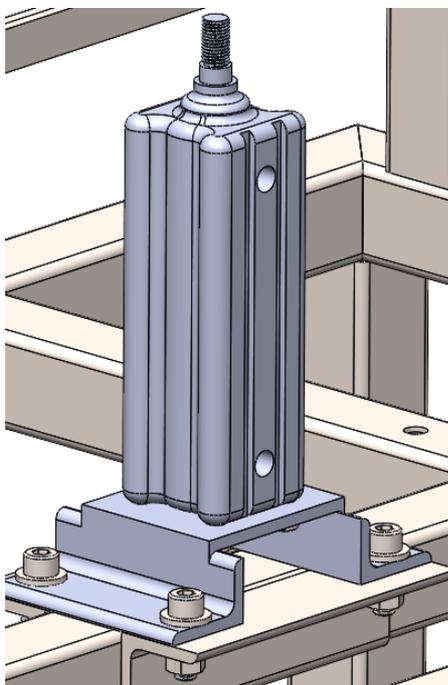


Fig. B12. Cilindro neumático ensamblado a la estructura soportante.

- Montaje del tornillo de potencia al portaboquillas y al cilindro neumático.

Número	Nombre	Cantidad
15	Tuerca de tornillo de potencia	2
16	Tornillo de potencia	1

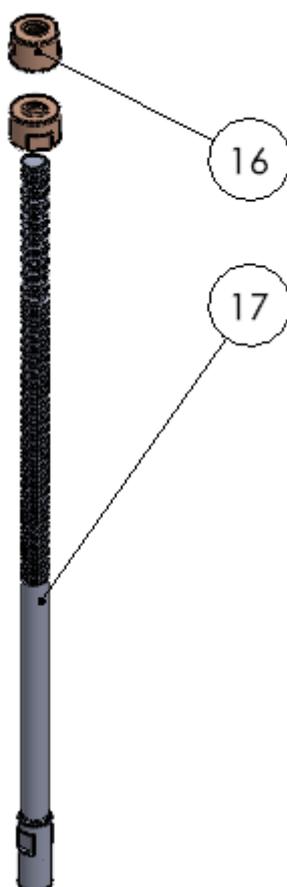


Fig. B13. Tornillo de potencia.

El tornillo de potencia se tiene que ensamblar en el portaboquillas y en el vástago del cilindro neumático. Para el ensamble del tornillo potencia una tuerca tiene que quedar en la parte inferior del portaboquillas, otra tuerca en la parte superior del portaboquillas, y se tiene que colocar la contratuerca en el vástago del cilindro antes de ensamblar el tornillo de potencia al vástago, como se muestra en la figura B14.

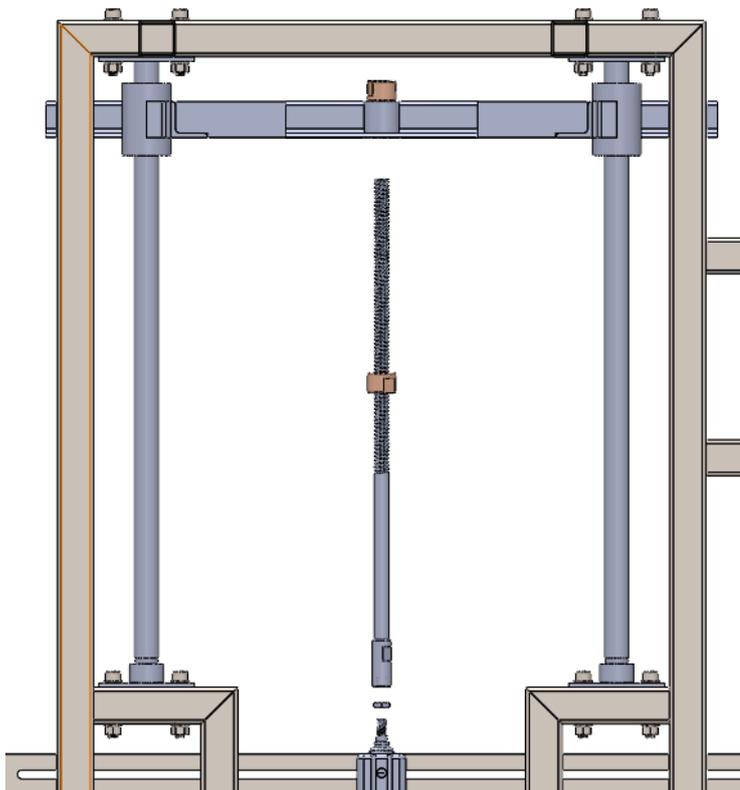


Fig. B14. Ensamble de tornillo de potencia con portaboquillas.

Una vez ensamblado queda de la siguiente manera, como se muestra en la figura B15.

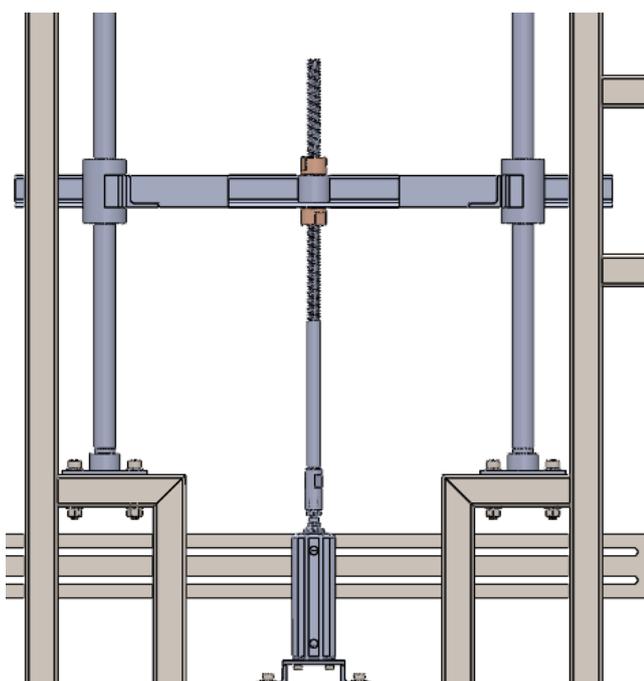


Fig. B15. Tornillo de potencia ensamblado.

Sistema de banda transportadora.

Número	Nombre	Cantidad
18	Banda transportadora	1

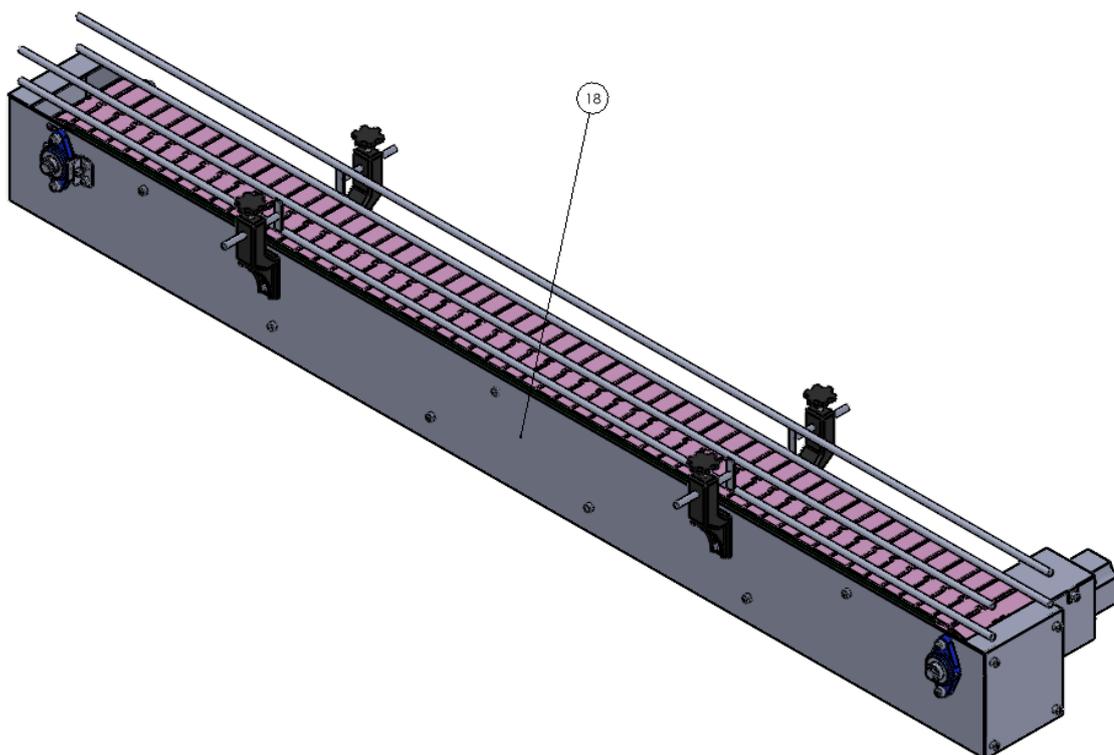


Fig. B16. Banda transportadora.

Descripción de los elementos de la banda transportadora:

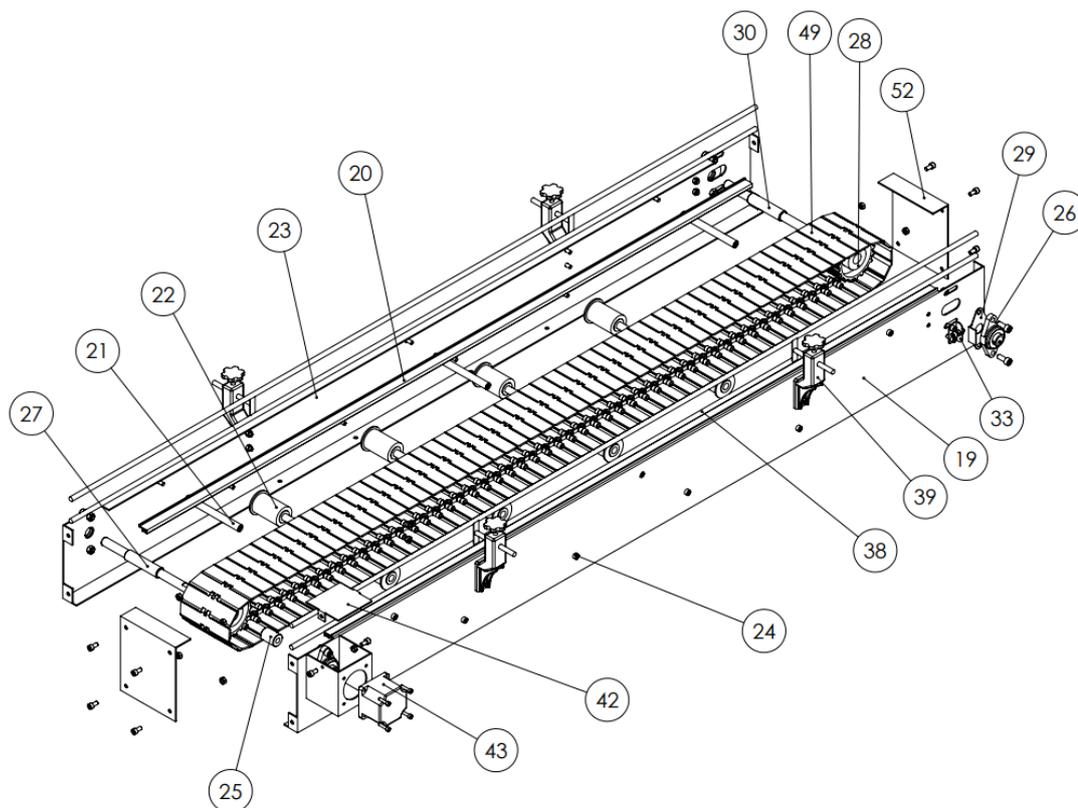


Fig. B17. Elementos de la banda transportadora.

Se detallan los elementos internos que posee la banda transportadora, pero primero se realiza el ensamble de la estructura de la banda transportadora, donde posteriormente serán ensamblados los demás elementos.

Número	Nombre	Cantidad
19	Cubierta derecha de la banda transportadora	1
20	Perfil de desgaste	2
21	Separadores	7
22	Rodillos de retorno	8
23	Cubierta izquierda de la banda transportadora	1
24	Perno de estructura de la banda M8 - 1.25 x 15	14

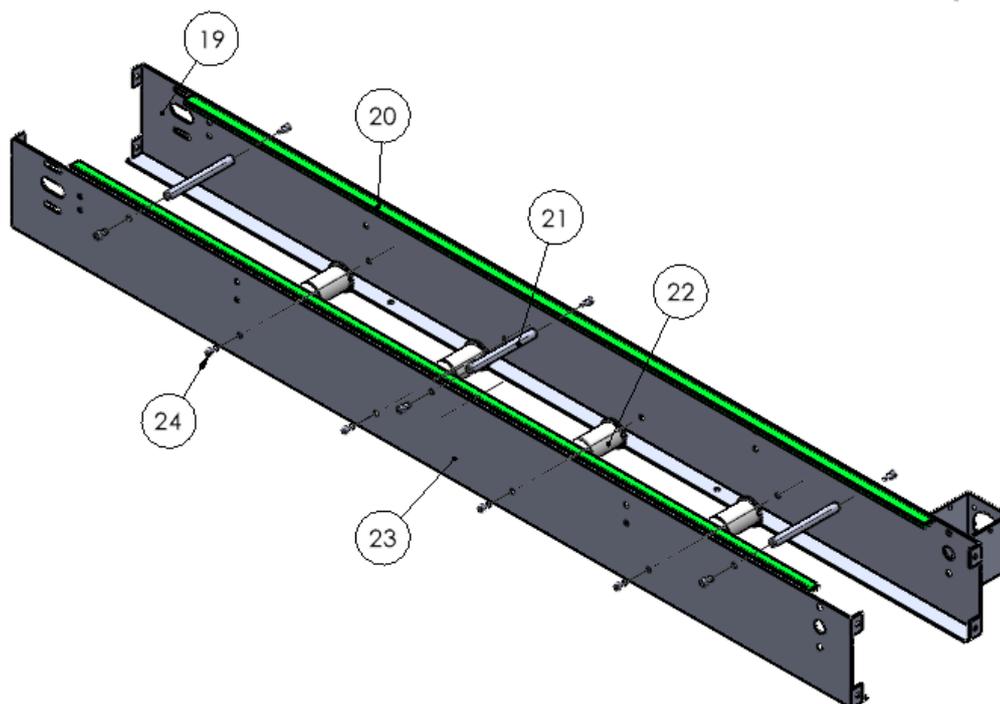


Fig. B18. Elementos internos de la banda transportadora.

- Montaje de las cubiertas derecha e izquierda de la banda y los perfiles de desgaste.

Se ensamblan los perfiles de desgaste en las pestañas de las cubiertas derecha e izquierda de la banda.

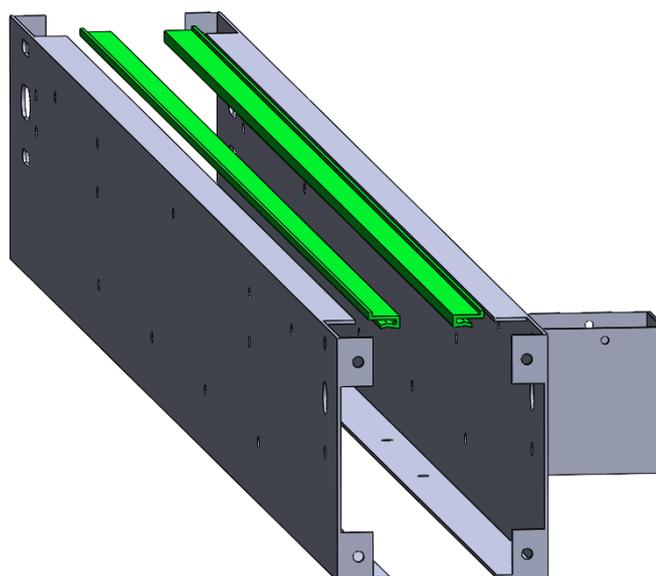


Fig. B19. Ensamble de los perfiles de desgaste.

Una vez ensamblados los perfiles de desgaste quedan de la siguiente manera, como se muestra en la figura B20.

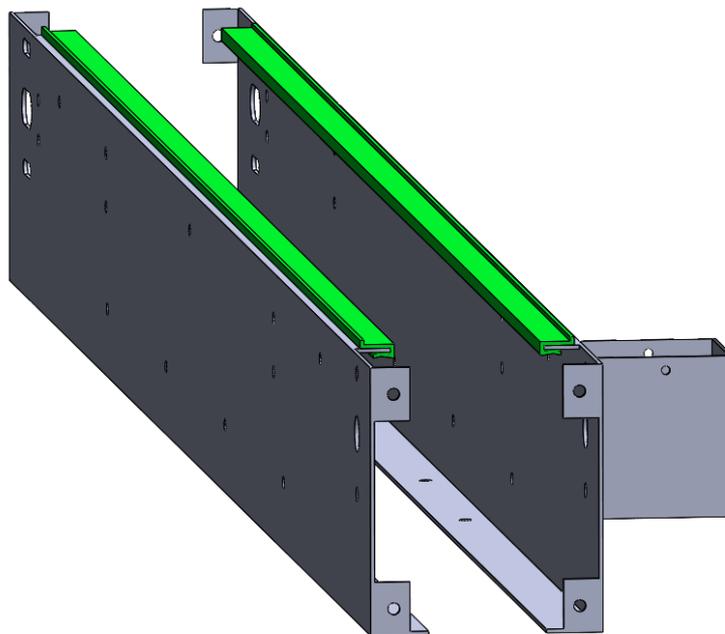


Fig. B20. Perfiles de desgaste ensamblados.

- Montaje de los rodillos a los separadores.

Se ensamblan los rodillos a los cuatro separadores inferiores, que posteriormente serán ensamblados en las cubiertas laterales de la banda, el ensamble queda de la siguiente manera, como se muestra en la figura B21.

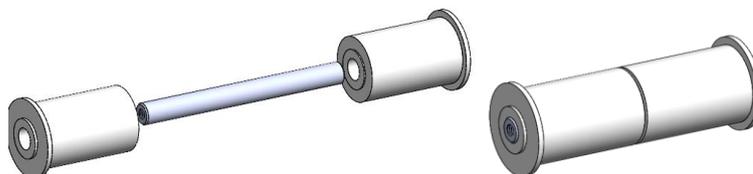


Fig. B21. Separador y rodillos.

- Montaje de los separadores a las cubiertas derecha e izquierda de la banda.

Se ensamblan los separadores con rodillos y separadores sin rodillos a las cubiertas derecha e izquierda de la banda, como se muestra en la figura B22 y B23.

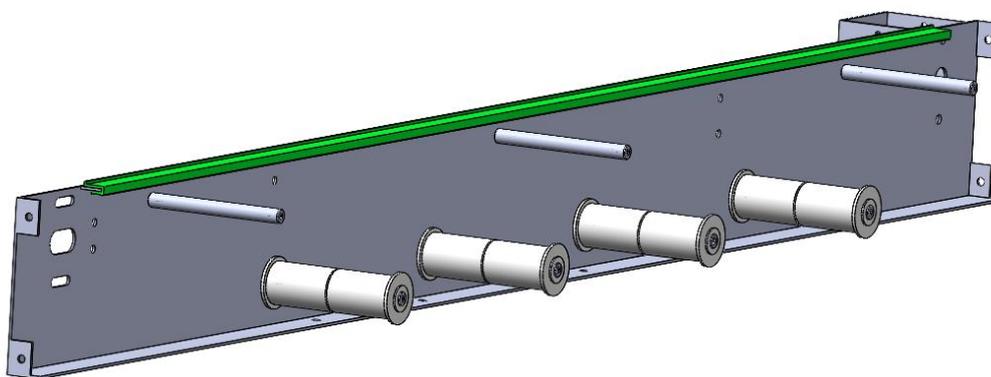


Fig. B22. Ensamble de separadores a una cubierta.

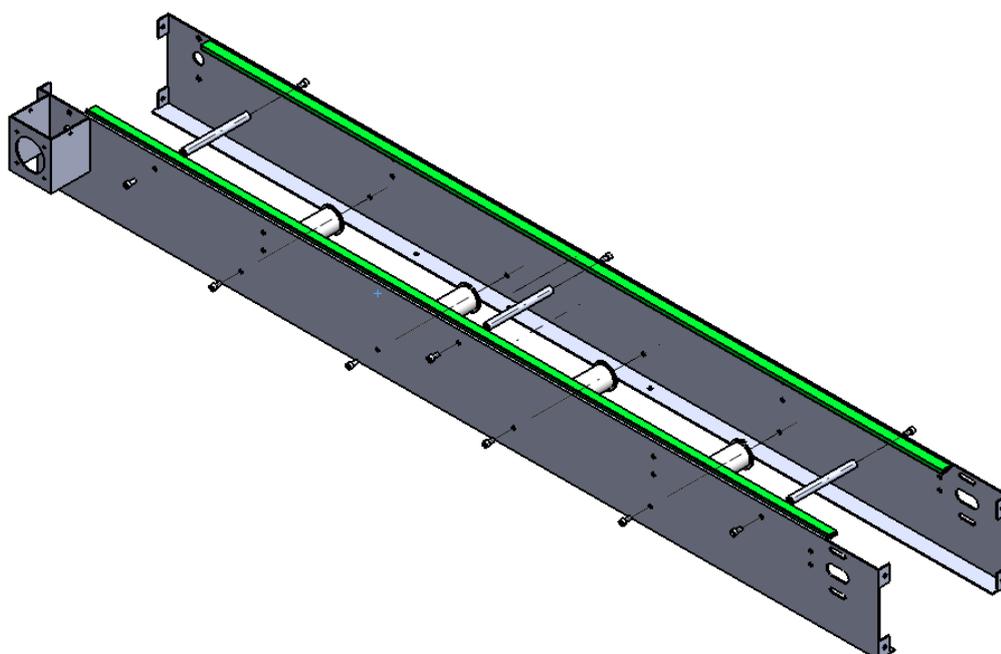


Fig. B23. Ensamble de separadores y rodillos a ambas cubiertas.

Una vez ensamblados todos los separadores por medio de sus pernos en ambas cubiertas derecha e izquierda, estos quedan de la siguiente manera, como se muestra en la figura B24.

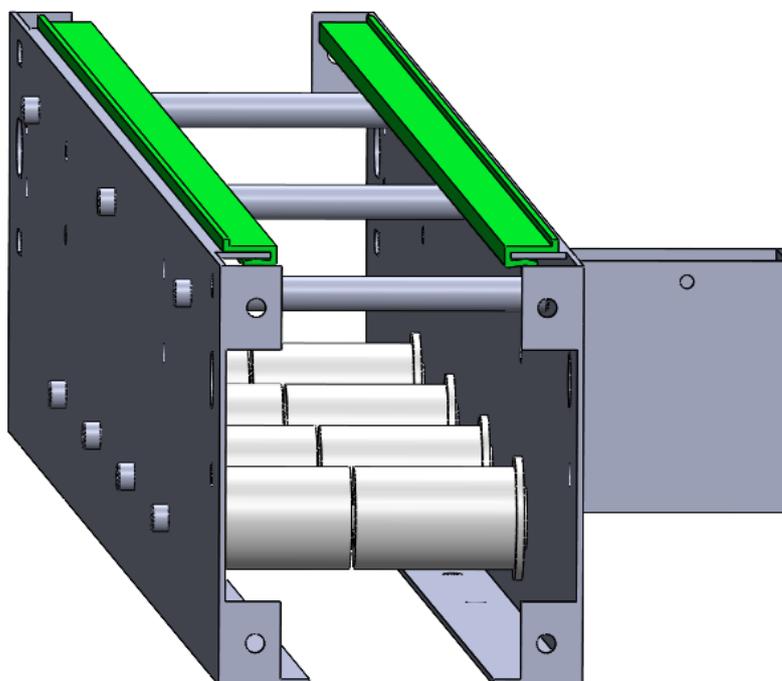


Fig. B24. Ensamble final de separadores a cubiertas.

- Montaje de los ejes, piñones y chumaceras.

En la figura B25 se muestra el orden de ensamblaje para los elementos que permitirán el movimiento de la banda.

Número	Nombre	Cantidad
25	Acople de motor	1
26	Chumacera	4
27	Eje de transmisión de la banda	1
28	Piñón Z19	2

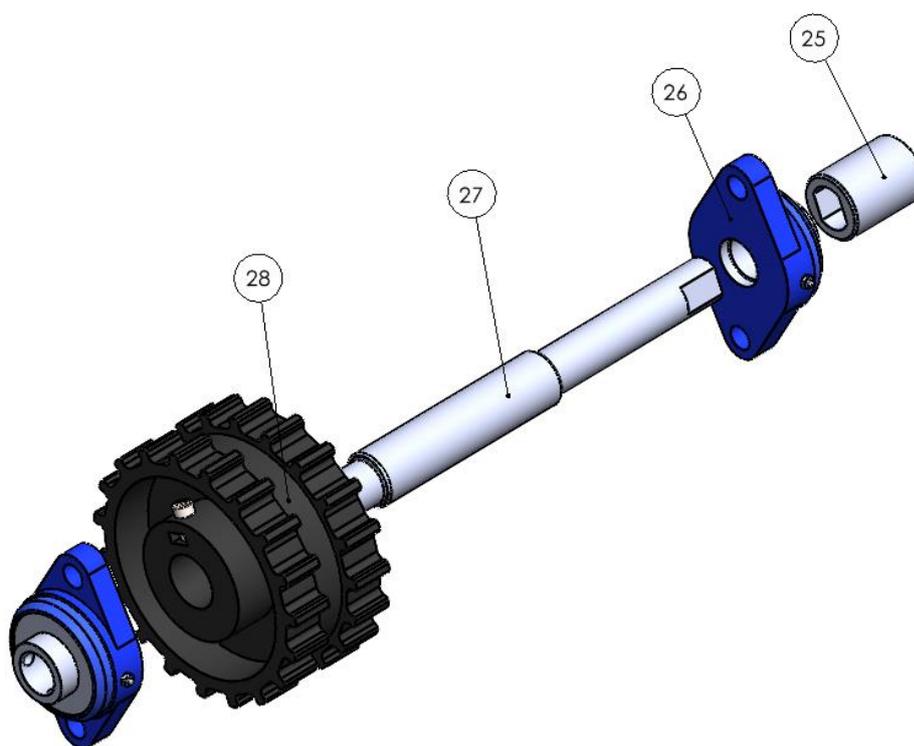


Fig. B25. Eje de transmisión.

Para el ensamble del eje de transmisión, primero se identifica la posición en las cubiertas derecha e izquierda de la banda transportadora donde quedará montado el eje de transmisión, se puede identificar la posición por medio de los agujeros en las cubiertas derecha e izquierda, de manera que el eje de transmisión no permite el tensado, por lo tanto, serán los agujeros que no permitirán la movilidad hacia los lados del eje.

Identificada la posición, se introduce un extremo del eje en el agujero de la cubierta izquierda y posteriormente se introduce el piñón de manera que quede centrado en el eje, luego se puede pasar por completo el eje a través del agujero de la cubierta derecha. Asegúrese de que la parte donde se ensambla el acople quede en el lado de la cubierta derecha de la banda.

Luego que el eje de transmisión y el piñón están ensamblados en las cubiertas derecha e izquierda de la banda, se colocan las chumaceras fijándolas con sus pernos y finalmente se ensambla el acople del motor, quedando ensamblado de la siguiente manera, como se muestra en la figura B26.

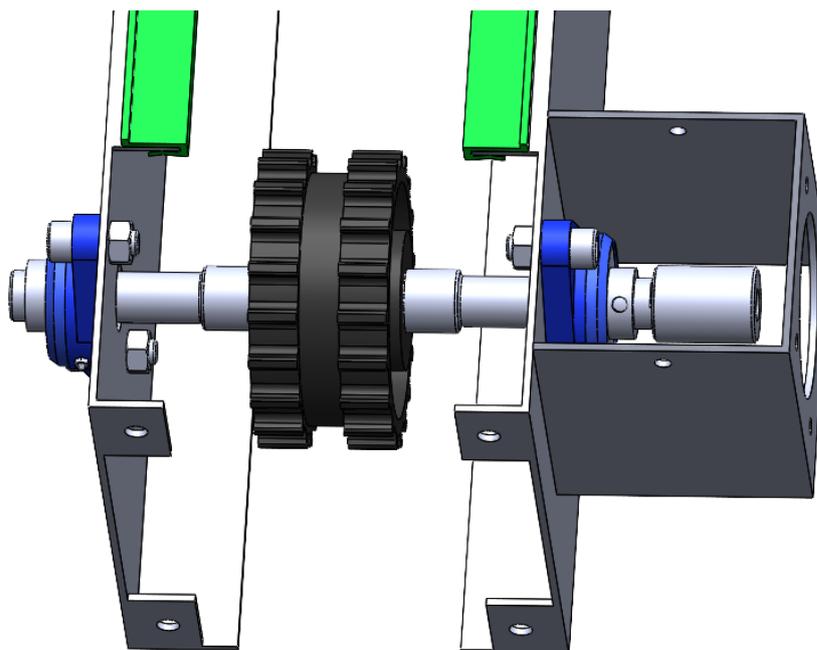


Fig. B26. Ensamble de transmisión a cubierta.

El ensamble del eje de retorno con sus elementos se realiza de la misma manera que el eje de transmisión, con la diferencia que estas chumaceras llevan un soporte de ajuste que permite la tensión de la banda, el soporte de ajuste queda sobre las caras exteriores de las cubiertas derecha e izquierda de la banda (entre la cubierta y la chumacera).

Número	Nombre	Cantidad
29	Soporte de ajuste de chumacera	2
30	Eje de retorno de la banda	1

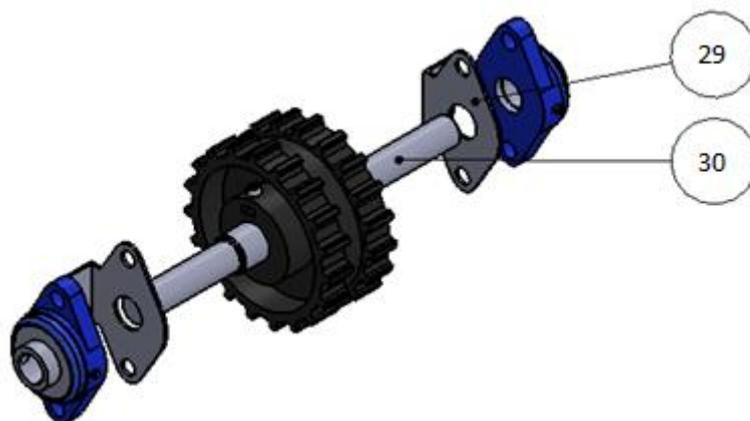


Fig. B27. Soportes de ajuste.

El ensamble de los elementos al eje de retorno queda de la siguiente manera, como se muestra en la figura B28.

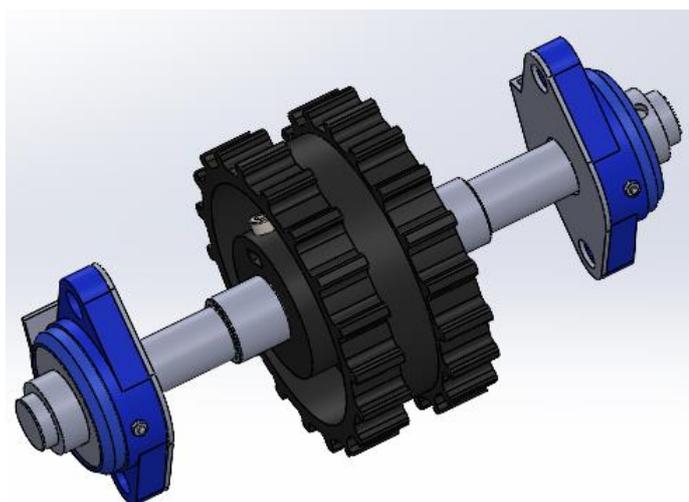


Fig. B28 Ensamble de elementos de eje de retorno.

- Fijación de los piñones a los ejes.

Para evitar el deslizamiento de los piñones sobre los ejes, estos tienen un sistema que consta de un perno que permite fijarlo al eje evitando el deslizamiento de los mismos, a continuación, se muestra el perno que debe ser ajustado en ambos piñones una vez que han sido montados y centrados sobre los ejes. Ver figura B29.



Fig. B29. Perno de fijación del piñón.

- Montaje del mecanismo de tensado de la banda.

El eje de retorno tiene un sistema de tensado para la banda, a continuación, se muestran sus partes. Ver figura B30.

Número	Nombre	Cantidad
31	Perno de chumacera M10 - 1.25 x 25	8
32	Tuerca de chumacera M10 - 1.25	8
33	Placa de ajuste	2
34	Tuerca de placa de ajuste M8 - 1.25	6
35	Perno tensor de banda M8 - 1.25 x 35	2
36	Contra tuerca M8 - 1.25	2
37	Perno de placa de ajuste M8 - 1.25 x 15	4

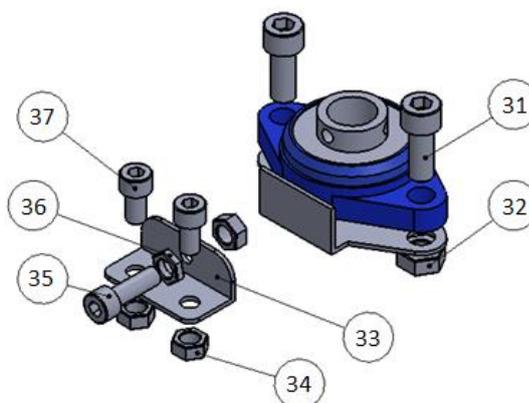


Fig. B30. Mecanismo de tensado de la banda.

Una vez ensamblado el eje de retorno en conjunto con sus demás elementos, se ensamblan las placas de ajuste en la parte exterior de las cubiertas derecha e izquierda de la banda y en cada placa de ajuste se ensambla el perno tensor, el perno tensor cuenta con una contratuerca que evita que el perno se pueda aflojar, el ensamble será de la siguiente manera, como se muestra en la figura B31.

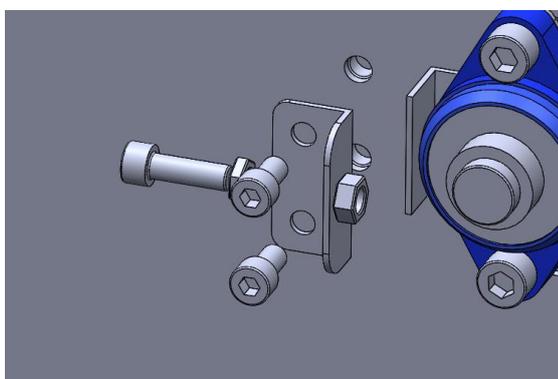


Fig. B31. Perno tensor de la banda.

Una vez ensamblado el sistema de tensado de la banda, queda de la siguiente manera, como se muestra en la figura B32.

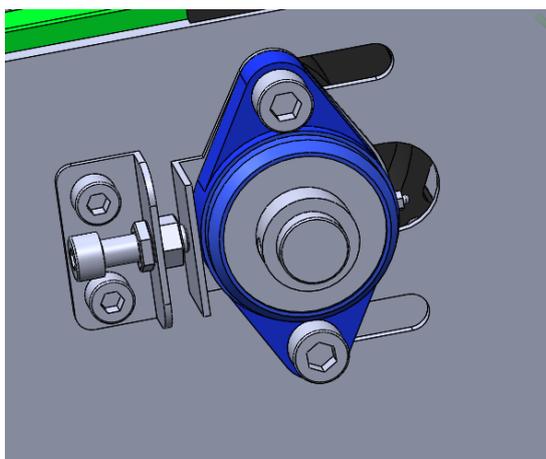


Fig. B32. Instalación de sistema de tensado de la banda.

Todo el conjunto del sistema de tensado (eje de retorno, piñón, chumaceras, placa de ajuste, etc.) montado en las cubiertas derechas e izquierdas de la banda, queda de la siguiente manera, como se muestra en la figura B33.

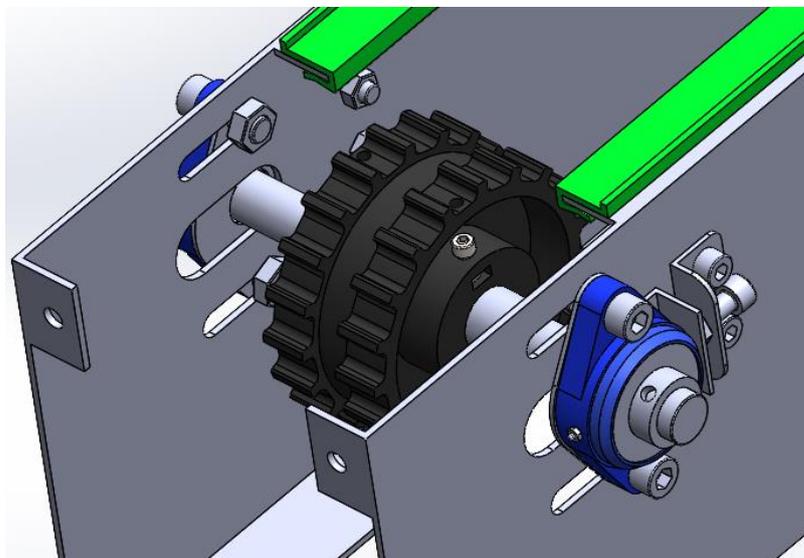


Fig. B33. Conjunto tensador en el eje de retorno.

- Montaje de los soportes de riel de las barandillas.

Número	Nombre	Cantidad
38	Barandas	2
39	Soporte de riel de barandilla	4
40	Tuerca de soporte de riel M8 - 1.25	8
41	Perno de soporte de riel M8 - 1.25 X 25	8

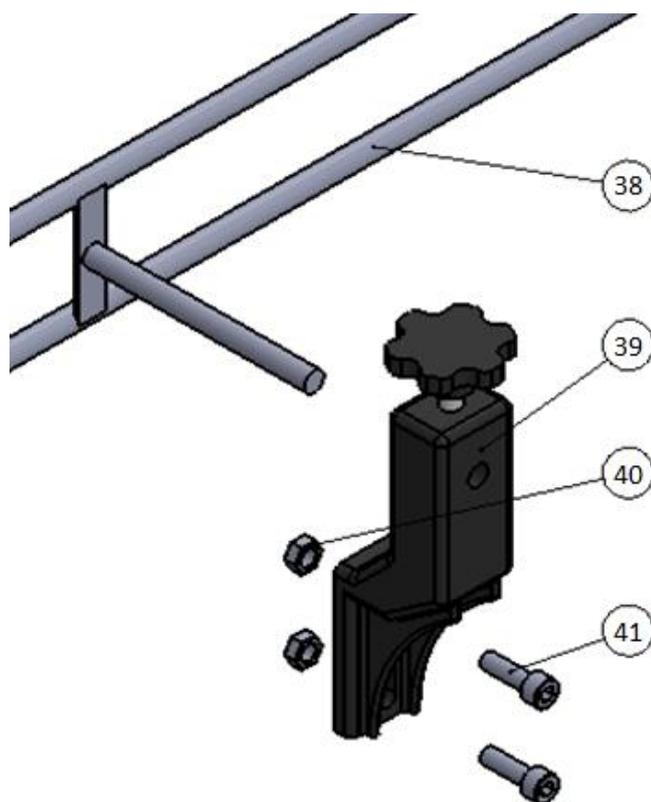


Fig. B34. Soportes de riel de las varillas.

Se ensamblan los soportes de riel de las barandillas a la parte exterior de las cubiertas derecha e izquierda de la banda, como se muestra en la figura B35.

Nota: las tuercas para ensamblar los soportes de riel deben estar soldadas en la parte interior de las cubiertas derecha e izquierda de la banda.

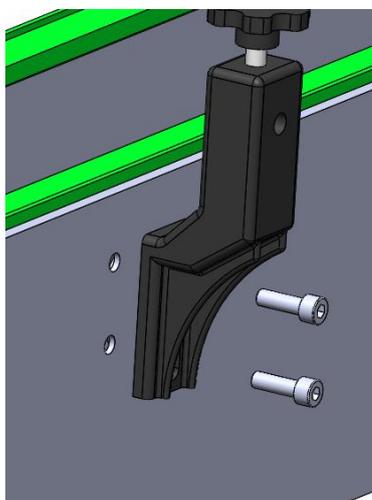


Fig. B35. Instalación de soportes de riel.

Una vez ensamblados los soportes de riel a las cubiertas derecha e izquierda de la banda, queda de la siguiente manera, como se muestra en la figura B36.

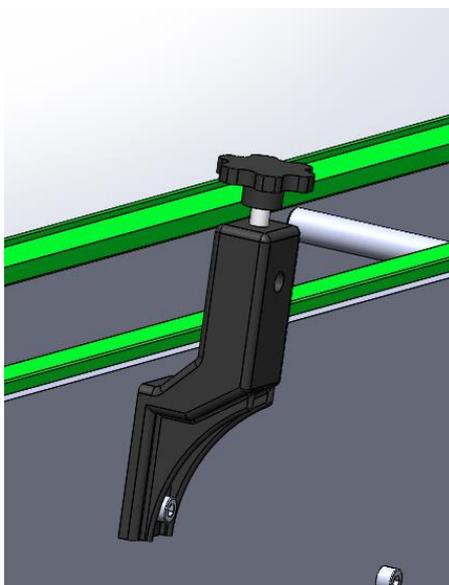


Fig. B36. Soporte de riel ensamblado en la cubierta.

A continuación, se muestra la figura B37 con los elementos anteriormente ensamblados que conforman la banda transportadora.

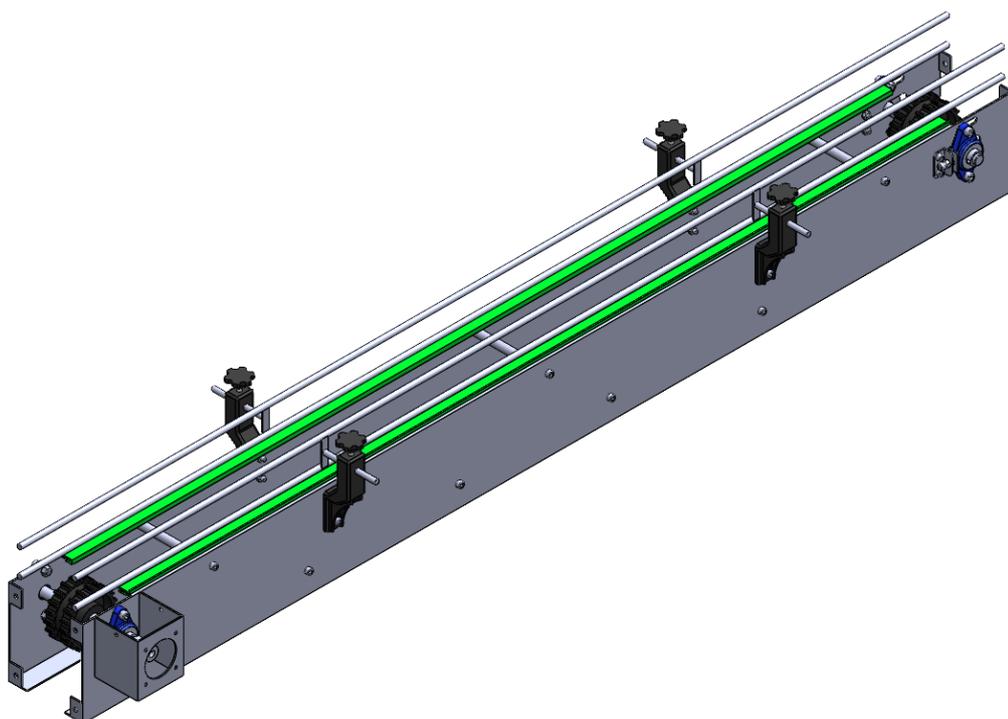


Fig. B37. Banda transportadora con algunos elementos montados.

- Montaje del motor y cubierta superior de acople del motor.

Número	Nombre	Cantidad
42	Cubierta superior de acople del motor	1
43	Motor paso	1
44	Pernos del motor M6 - 1.25 x 25	4
45	Pernos de cubierta M8 - 1.25 x 15	2
46	Tuerca de cubierta M8 - 1.25	10
47	Tuerca de cubierta M6 - 1.25	4
48	Arandela M6	4

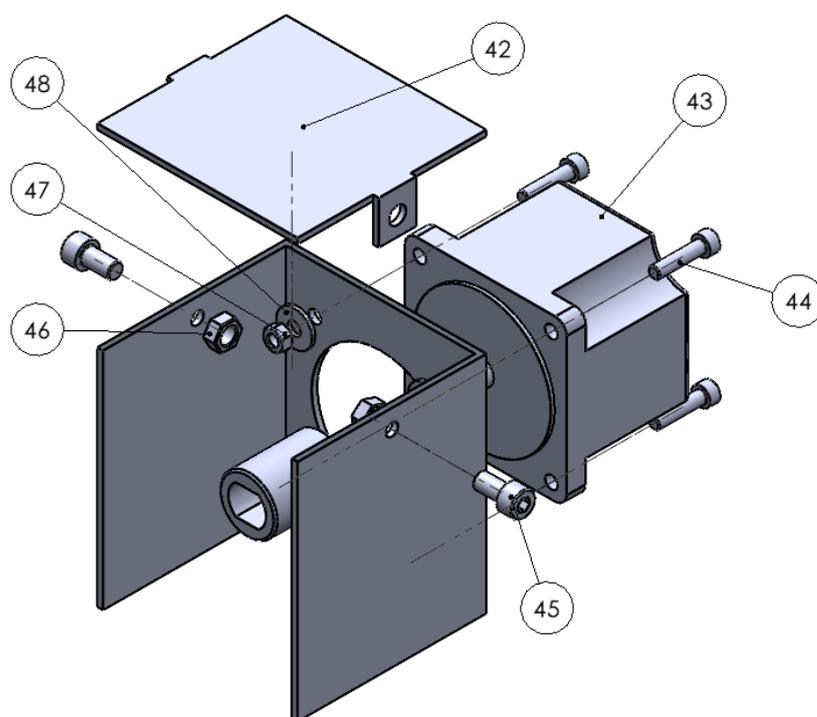


Fig. B38. Sistema motriz.

El ensamblaje del motor al eje de transmisión se realiza por medio del acople de motor de la siguiente manera, como se muestra en la figura B39.

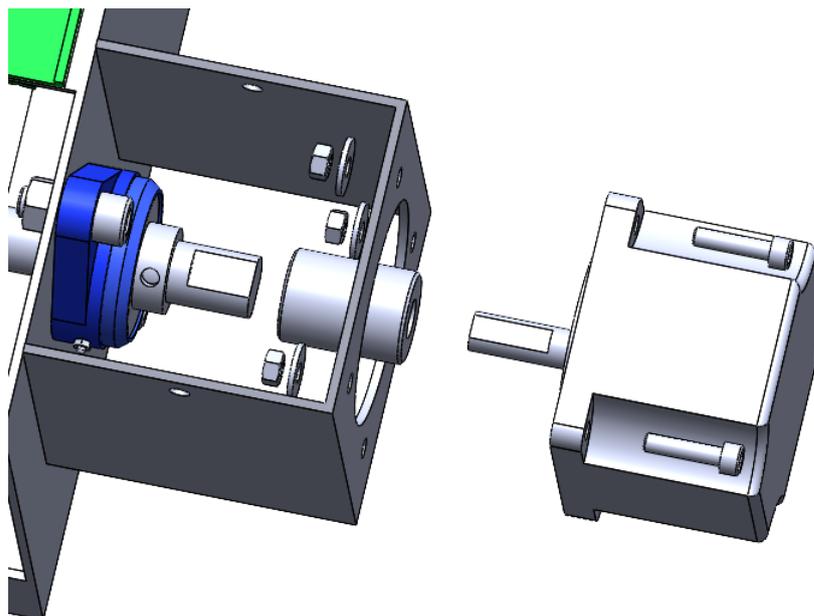


Fig. B39. Ensamble del sistema motriz.

Una vez acoplado el motor al eje y fijado a la cubierta derecha de la banda queda de la siguiente manera, como se muestra en la figura B40.

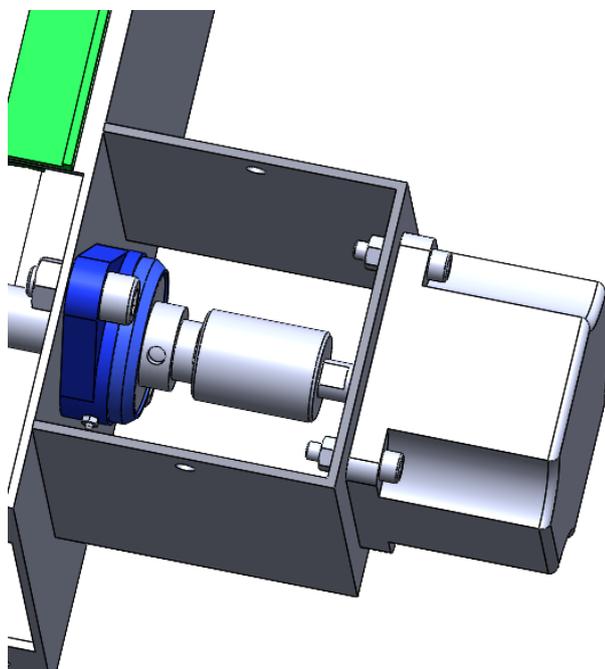


Fig. B40. Sistema motriz ensamblado.

Posteriormente se ensambla la cubierta superior del acople de motor, realizándose de la siguiente manera, como se muestra en la figura B41.

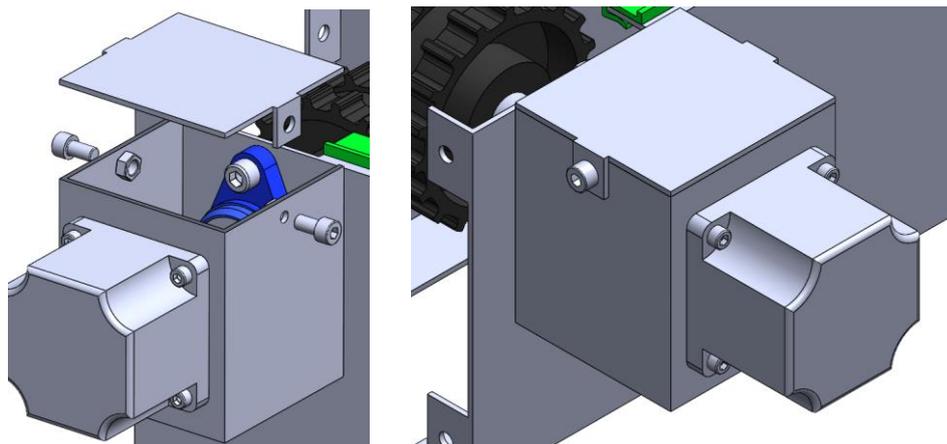


Fig. B41. Montaje de la cubierta superior del acople de motor.

- Ensamble de los eslabones de la banda transportadora.

Número	Nombre	Cantidad
49	Eslabón de banda	112
50	Pin de eslabón	112

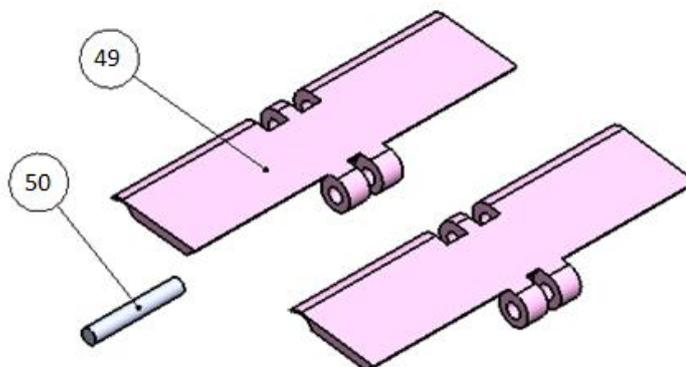


Fig. B42. Eslabones de la banda.

Los eslabones de la banda se fijan entre sí por medio de pines como se muestra en la figura B43.

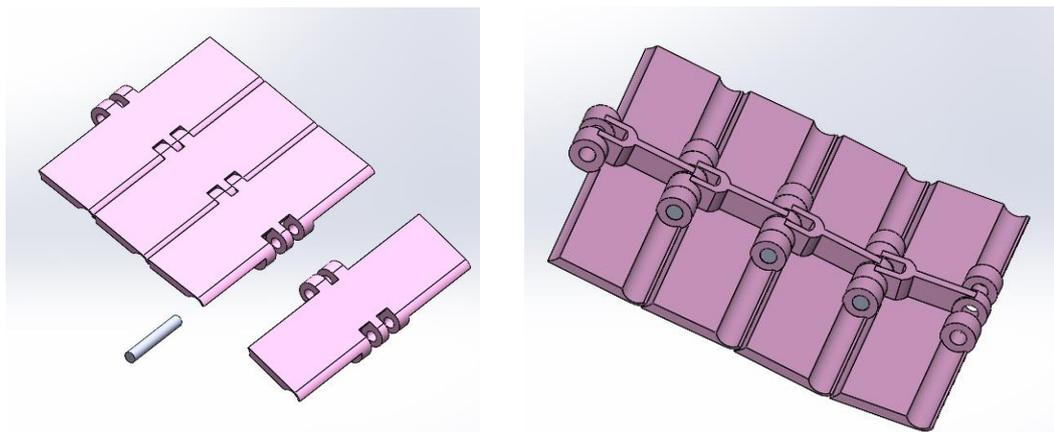


Fig. B43. Montaje de pines y eslabones de la banda.

Nota: la banda de eslabones se compra por metro, estos vienen armados solo se dejan los 112 eslabones que se necesitan y se unen ambos extremos.

Posteriormente para montar la banda de eslabones a todo el conjunto de elementos ensamblados anteriormente, para ello se debe montar la banda sobre los perfiles de desgaste, alrededor del piñón sobre el eje de transmisión, sobre los separadores con rodillos y finalmente el último montaje será alrededor del piñón sobre el eje de retorno.

Para poder cerrar la banda de eslabones y colocar el último pin, se deben de aflojar un poco los pernos de las chumaceras del eje de retorno, y con la ayuda de otra persona que levante un poco la banda se debe de colocar el último pin, quedando la banda de eslabones montada como se muestra en la figura B44.

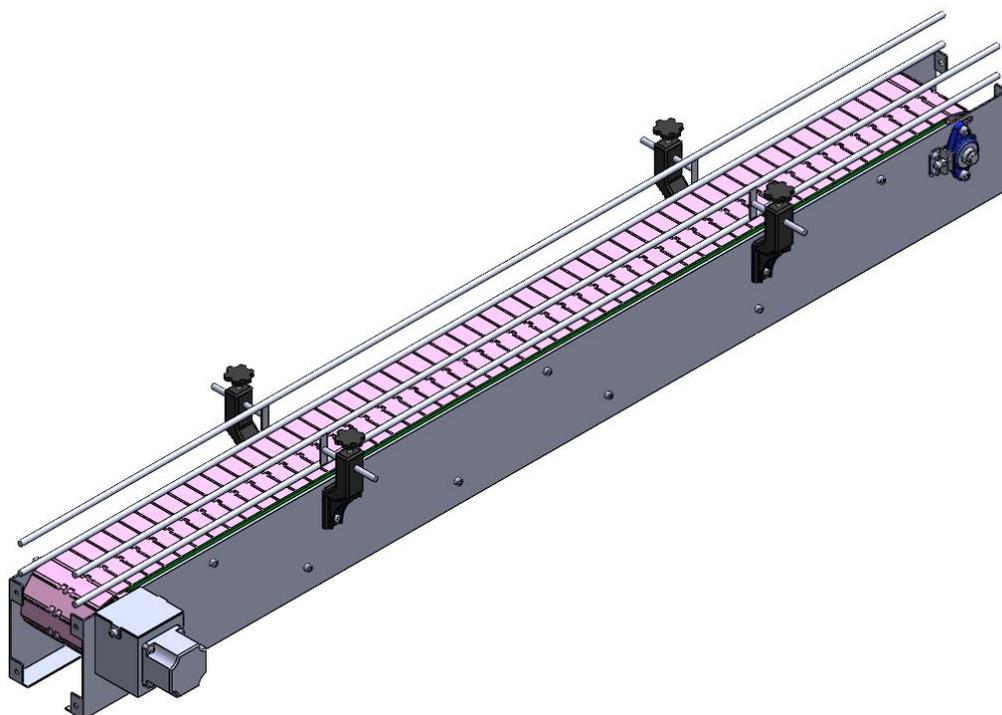


Fig. B44. Eslabones ensamblados en la banda.

- Montaje de las cubiertas frontales.

Número	Nombre	Cantidad
51	Perno de cubierta lateral M8 - 1.25 x 15	8
52	Cubierta frontal de la banda	2
53	Tuerca de cubierta lateral M8 - 1.25	8

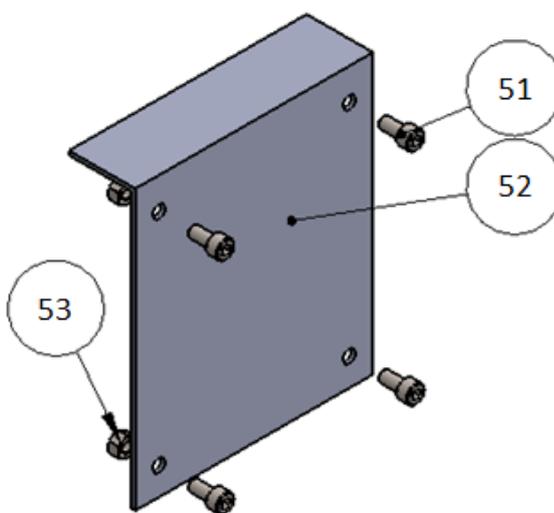


Fig. B45. Cubierta frontal.

Se ensamblan ambas cubiertas frontales, de la siguiente manera, como se muestra en la figura B46.

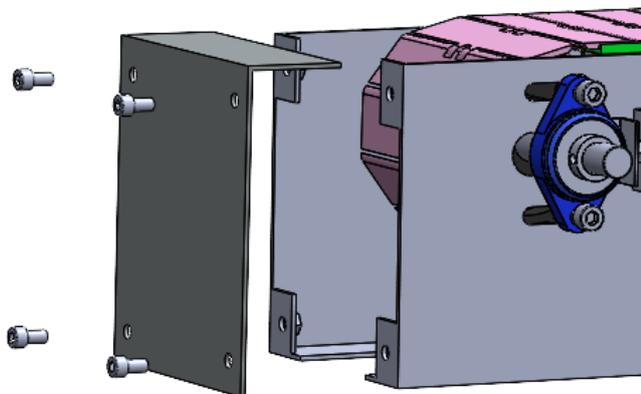


Fig. B46. Montaje de cubierta frontal.

- Montaje de las barandillas en los soportes de riel.

Se deben de aflojar las manivelas de los 4 soportes de riel y montar las barandillas en los soportes de riel de las barandillas, posterior al montaje se deben de apretar las manivelas de los soportes de riel, quedando la banda transportadora como se muestra en la figura B47.

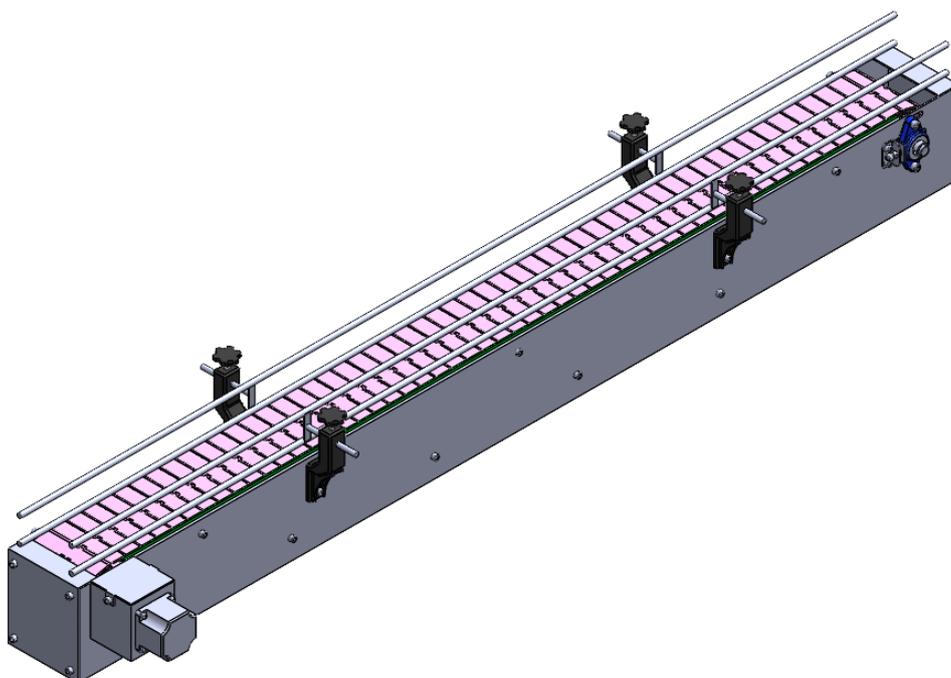


Fig. B47. Barandillas montadas en la banda transportadora.

- Montaje de toda la banda transportadora a la estructura soportante.

Número	Nombre	Cantidad
54	Tuerca de ensamble de banda M8 - 1.25	8
55	Arandelas de ensamble de banda M8	16
56	Perno de ensamble de banda M8 - 1.25 x 60	8

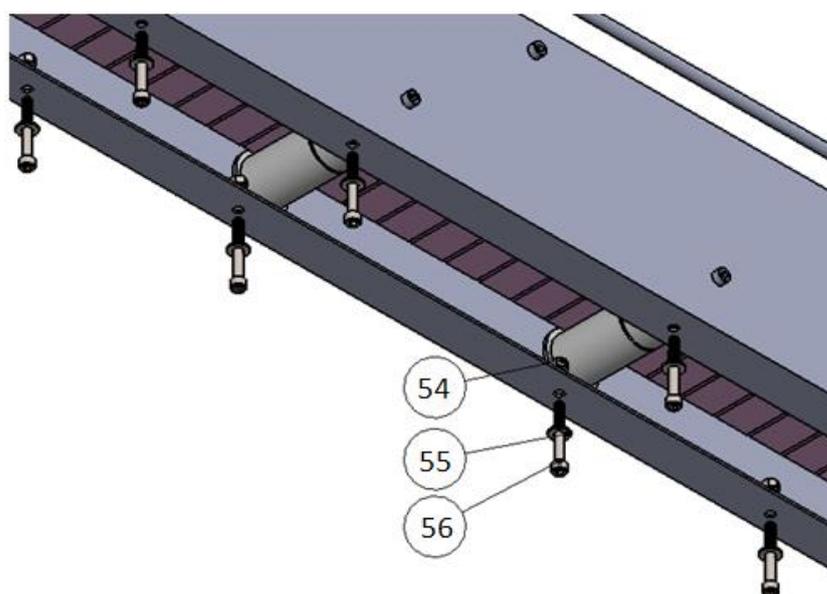


Fig. B48. Montaje de la banda transportadora a la estructura.

Una vez que se tienen todos los elementos de la banda transportadora ensamblados, se ensambla toda la banda transportadora a la estructura soportante, fijándola por medio de pernos en la parte inferior de la banda.

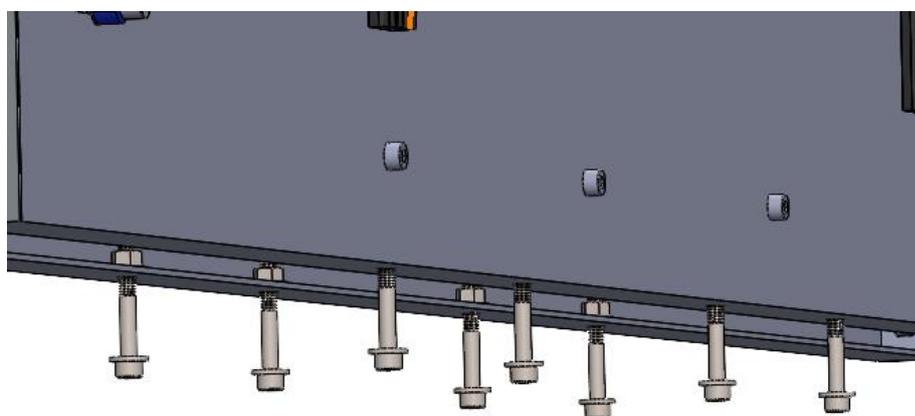


Fig. B49. Detalle de pernos inferiores de la banda transportadora.

Ensamblada la banda transportadora a la estructura soportante, queda de la siguiente manera, como se muestra en la figura B50.

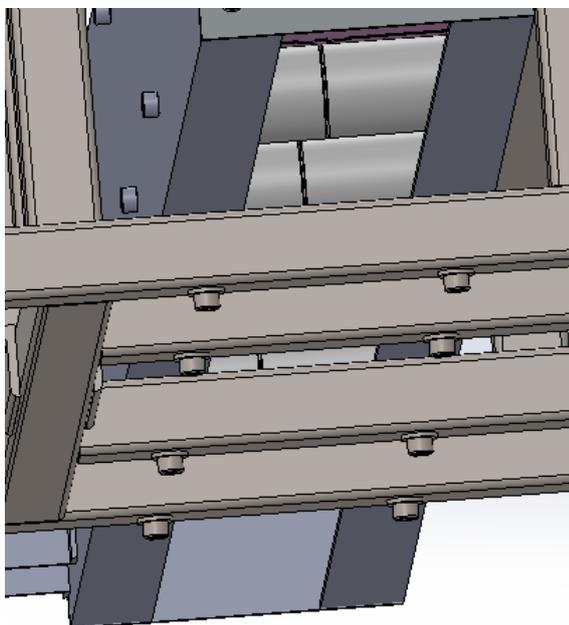


Fig. B50. Banda transportadora ensamblada a la estructura.

- Montaje de los cilindros neumáticos retenedores y sensores de posición a la estructura soportante.

Número	Nombre	Cantidad
57	Cilindro neumático retenedor	2
58	Soporte de cilindro retenedor	2
59	Soporte de sensor de posición	2
60	Perno de soporte de ajuste M8 - 1.25 x 25	10
61	Soporte de ajuste de sensor de posición	2
62	Arandela de perno de soporte de ajuste M8	20
63	Tuerca de perno de soporte de ajuste M8 - 1.25	10
64	Sensor de posición	2
65	Tope cónico de vástago	2

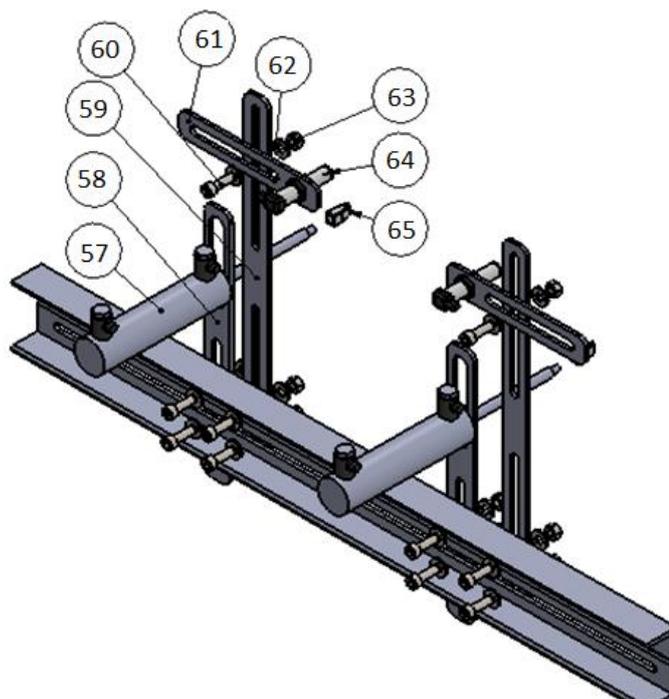


Fig. B51. Sistema de soportes.

La estructura soportante cuenta con un riel donde se colocan los soportes descritos en la tabla anterior en los cuales se fijan los cilindros neumáticos y sensores de posición, quedando montados en el riel de la estructura soportante como se muestra en la figura B52.

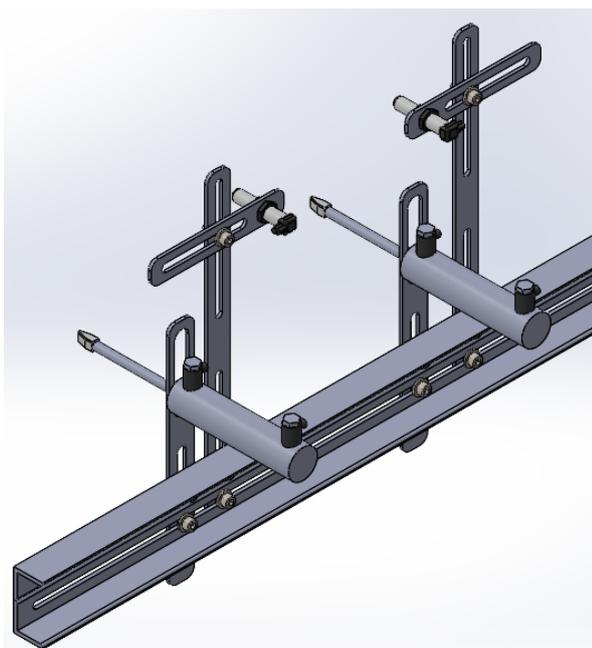


Fig. B52. Soportes de sensores y cilindros neumáticos.

### Sistema de llenado.

- Ensamble de la boquilla de llenado.

Número	Nombre	Cantidad
66	Boquilla	4

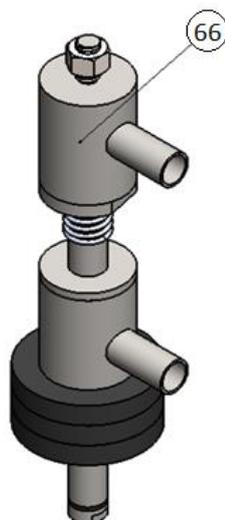


Fig. B53. Boquilla de llenado.

Se presentan todos los elementos que conforman la boquilla de llenado y se representa su forma de montaje, siguiendo el orden en que fueron colocados cada uno de los elementos de la boquilla como se muestra en la figura B54.

Número	Nombre	Cantidad
67	Tuerca de fijación de boquilla M8 - 1.25	4
68	Cámara de llenado	4
69	Tubo de llenado	4
70	Resorte de boquilla, Øalambre 1.6 mm, Øe 18.2 mm , Øi 15 mm	4
71	Arandela de boquilla	4
72	O-ring Ø 13 mm, Øes 2 mm	4
73	Cámara de rebalse	4
74	Separador de Nylon Øi 12 mm, Øe 30 mm, 10 mm	8
75	Alza de goma ultraneo Øi 12 mm, Øe 30 mm, 8 mm	4
76	O-ring Øm 8 mm, Øes 1.5 mm	4
77	O-ring rectangular Øex 13 mm, Øi 8 mm, es 1.5 mm	4
78	Punta de boquilla	4

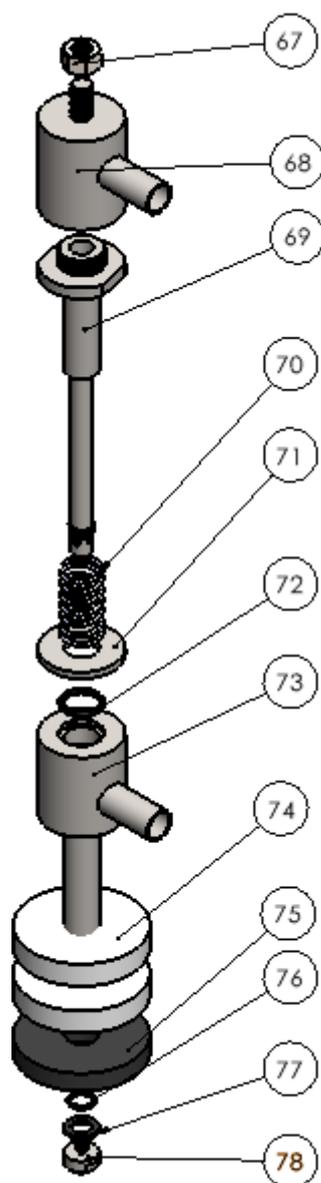


Fig. B54. Montaje de los elementos de la boquilla.

- Montaje de las boquillas en la estructura del portaboquillas.

Una vez ensambladas las boquillas estas serán montadas en la estructura del portaboquillas, sosteniéndolas por medio de las tuercas de fijación, quedando de la siguiente manera, como se muestra en la figura B55.

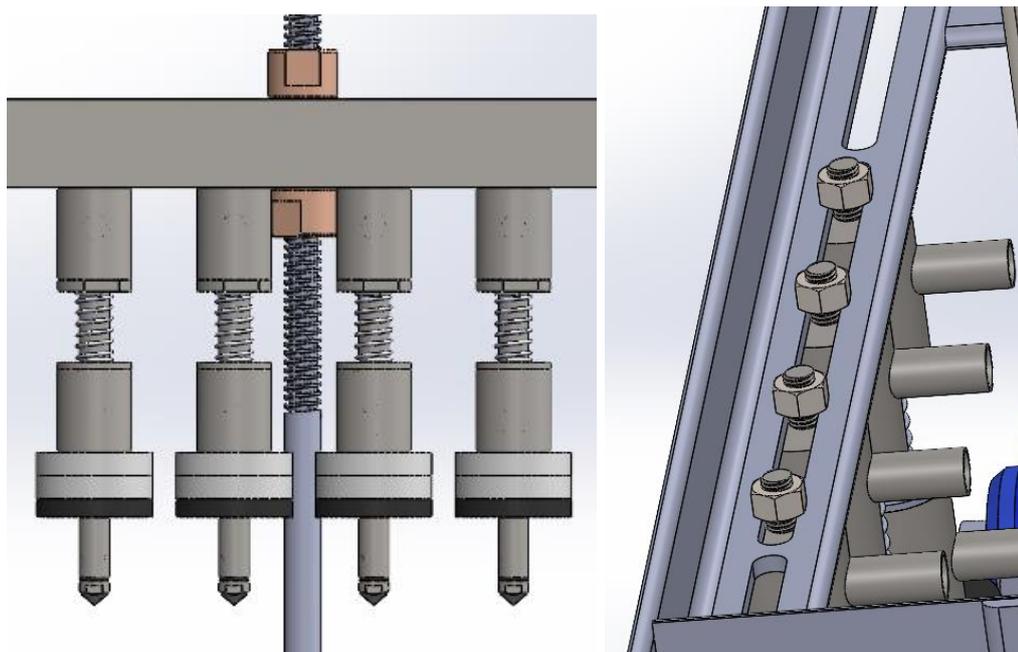


Fig. B55. Boquillas montadas en el portaboquillas.

- Montaje del colector a la estructura soportante.

Número	Nombre	Cantidad
79	Colector	1

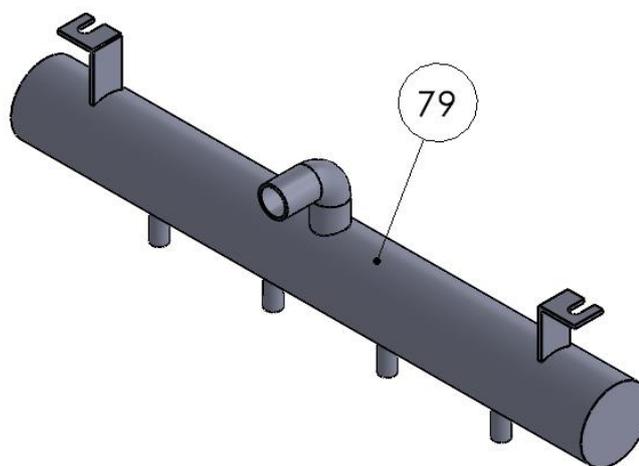


Fig. B56. Colector.

El colector ya fabricado se ensambla en la parte superior de la estructura soportante, siendo fijado por medio de pernos M8 – 1.25 x 60, quedando de la siguiente manera, como se muestra en la figura B57.

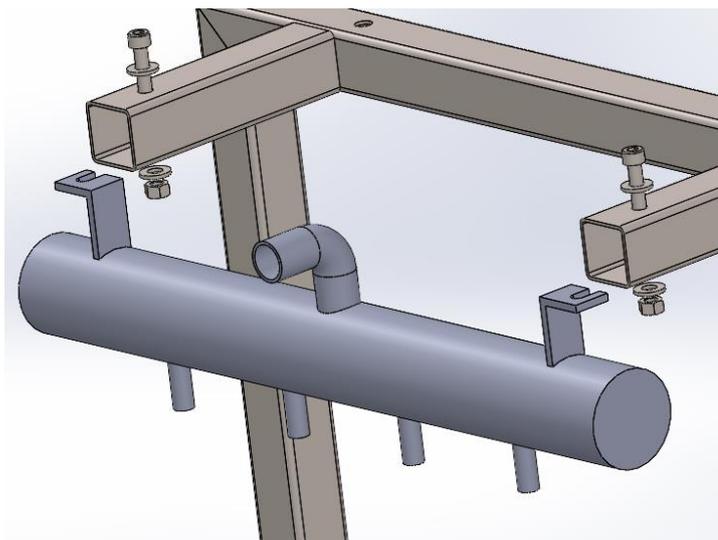


Fig. B57. Montaje del colector a la estructura.

- Montaje del tanque de rebalse a la estructura soportante.

Número	Nombre	Cantidad
80	Tanque de rebalse	1

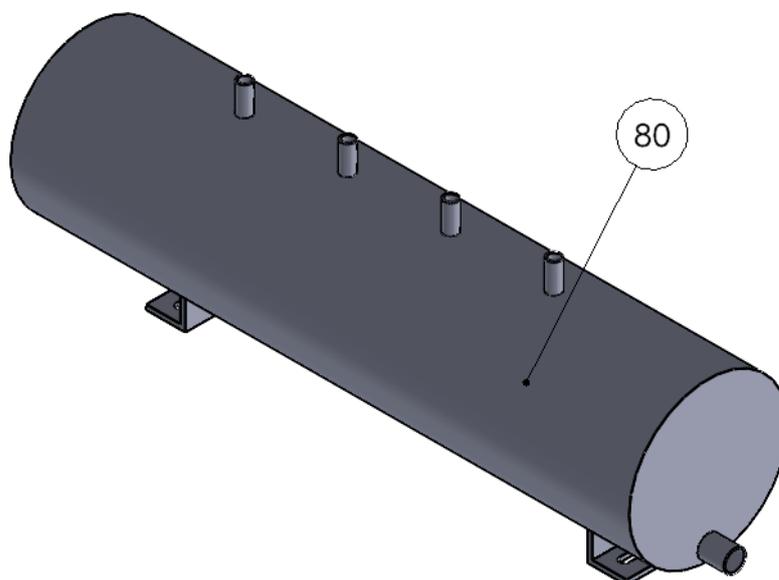


Fig. B58. Tanque de rebalse.

El tanque de rebalse ya fabricado se ensambla en la estructura soportante a una altura aproximada a la de la banda transportadora, siendo fijado por medio

de pernos M8 – 1.25 x 60, quedando de la siguiente manera, como se muestra en la figura B59.

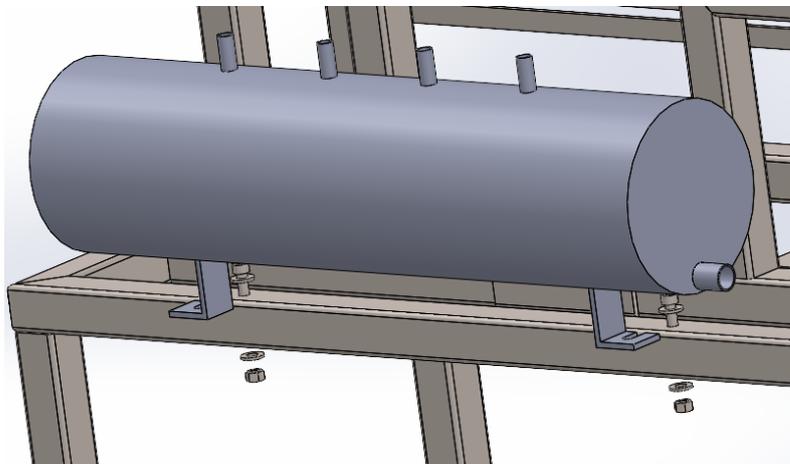


Fig. B59. Montaje del tanque de rebalse a la estructura.

- Montaje de las mangueras hidráulicas, que conectan el colector con las boquillas y las boquillas con el tanque de rebalse.

Se montan las mangueras del colector a las boquillas de llenado y las mangueras de las boquillas de llenado al tanque de rebalse, para fijar las mangueras en sus extremos y evitar que estas se puedan soltar, es necesario sujetarlas con abrazaderas en sus extremos, quedando como se muestra en la figura B60.

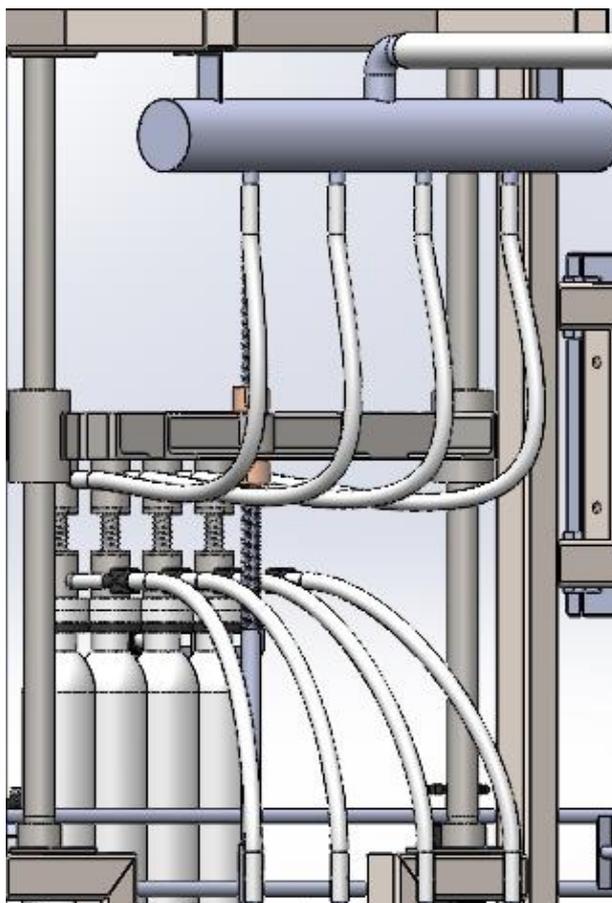


Fig. B60. Mangueras del sistema hidráulico de la máquina.

- Montaje de los sensores de flujo sobre la manguera hidráulica que conecta la boquilla al tanque de rebalse.

Número	Nombre	Cantidad
81	Manguera hidráulica	8
82	Sensor de flujo	4

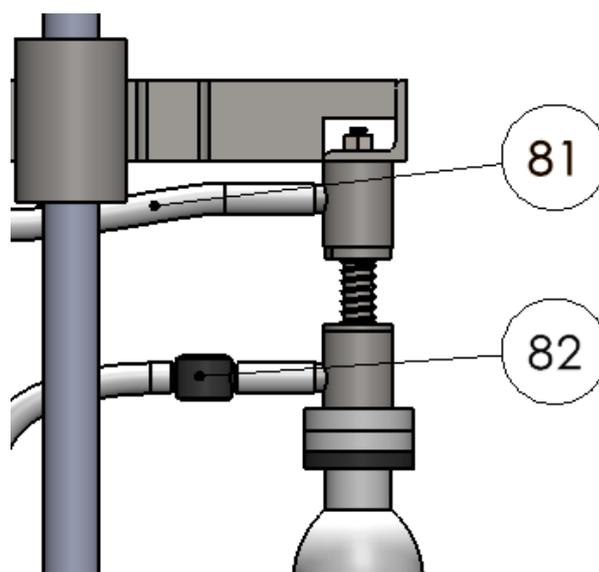


Fig. B61. Sensor de flujo y manguera.

Los sensores de flujo son los encargados de detectar el flujo a la salida de la cámara de rebalse de las boquillas, esto permite determinar que los envases han sido llenados, dando paso a la extensión del cilindro neumático C.

Los sensores van a la salida de la cámara de rebalse como se muestra en la figura B62.

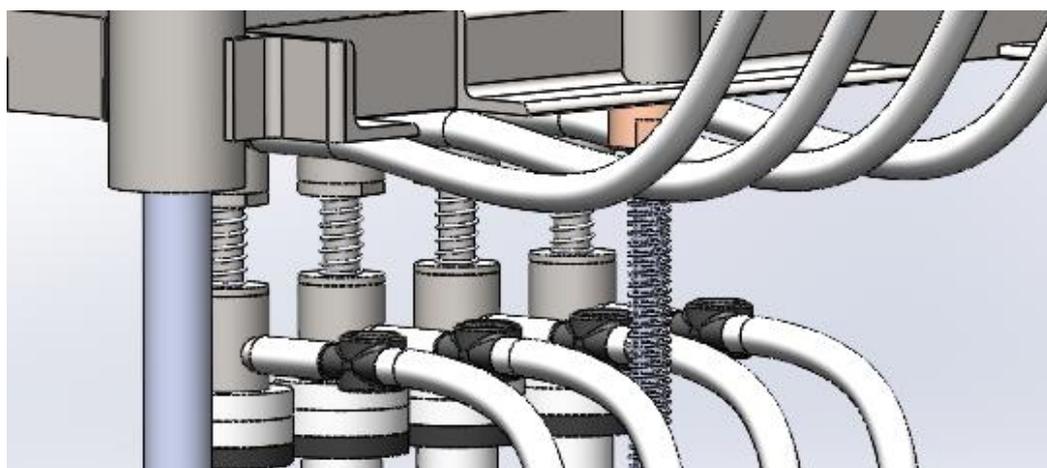


Fig. B62. Vista de sensores de flujo montados en las mangueras.

- Montaje de las electroválvulas y base manifold neumático a la estructura soportante.

Las electroválvulas serán montadas sobre el base manifold, y el base manifold quedará montada sobre una placa en la parte inferior de la estructura soportante, quedando de la siguiente manera, como se muestra en la figura B63.

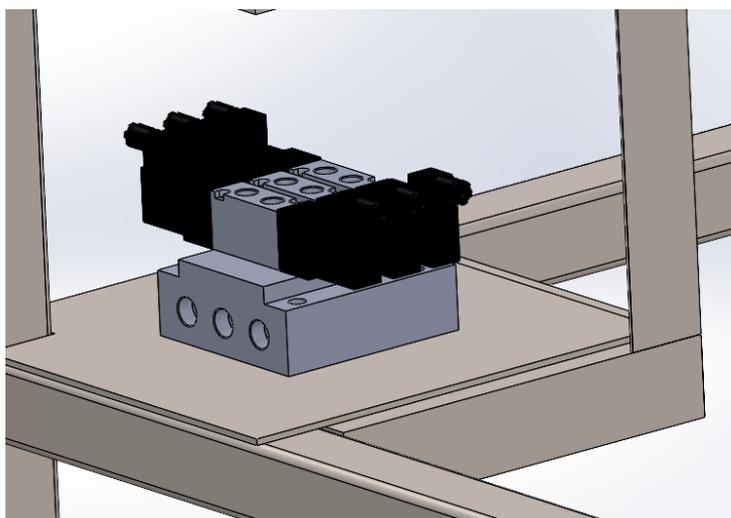


Fig. B63. Montaje de electroválvulas y base manifold a la estructura.

- Montaje del tablero de control a la estructura soportante.

Se monta el tablero de control con todos los elementos ensamblados en su interior (PLC, Driver, fuente de alimentación, pulsadores e interruptores) a la estructura soportante. El tablero de control queda sujeto a la estructura soportante con pernos M8, como se muestra en la figura B64.

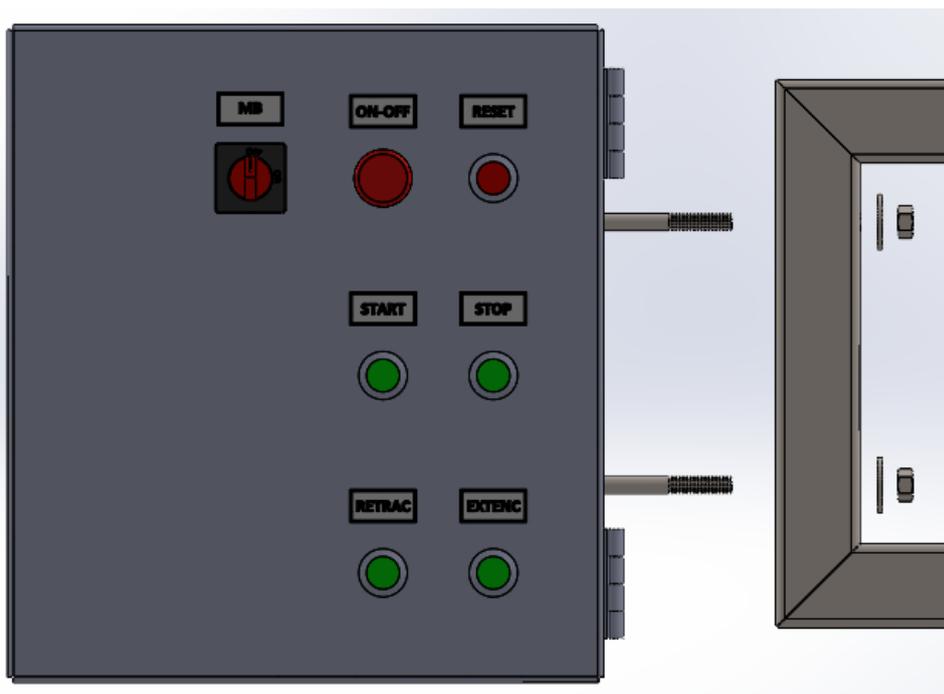


Fig. B64. Montaje del tablero de control a la estructura.

Una vez se ha fijado el tablero de control a la estructura soportante, quedará de la siguiente manera como se muestra en la figura B65.

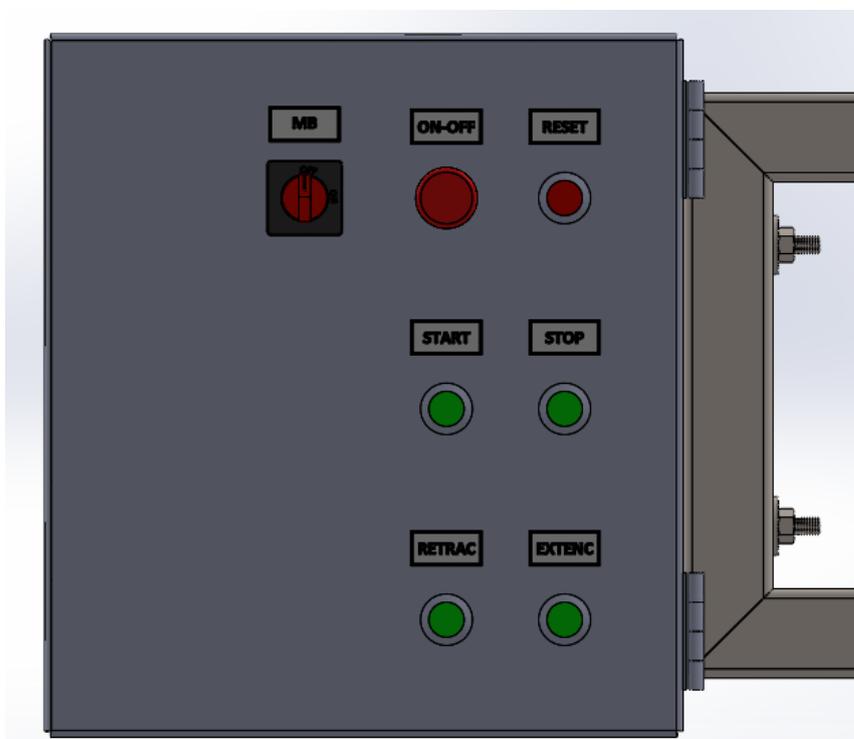


Fig. B65. Tablero de control ensamblado en la estructura.

- Conexión del sistema hidráulico en conjunto con el tanque hidroneumático y la bomba.

En la figura B66 se muestra la conexión del sistema hidráulico que será el encargado del llenado de los envases, donde se detalla cada elemento de este sistema, teniendo en cuenta el mantenimiento que se le pueda realizar al sistema en el futuro.

Elemento	Descripción
Presostato	Permite controlar el nivel del tanque hidroneumático de acuerdo a los valores de presión establecidos.
Manómetro	Permite medir la presión que está en el sistema, tomada en cuenta desde la válvula check hasta las boquillas de llenado
Tanque hidroneumático	Se encarga de suministrar el líquido para el llenado, a las condiciones de presión requeridas.
Bomba	Se encarga de suministrar el líquido para el llenado, al tanque hidroneumático y al sistema cuando el tanque se encuentra a un nivel bajo.
Válvula check	Permite que el fluido circule en una sola dirección. Se coloca para que el fluido al salir del tanque no pueda regresar a la bomba.
Válvula de compuerta o de globo	Permite cortar o aperturar el paso del líquido.
Unión universal	Permite conectar 2 tramos de tubería. Esta es utilizada para poder desconectar las tuberías en caso de un posible mantenimiento.

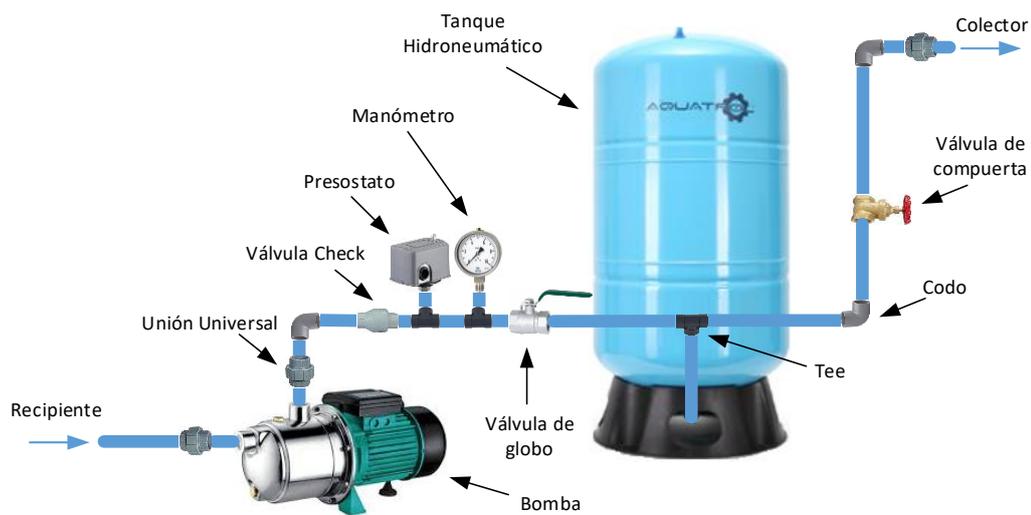


Fig. B66. Conexión del sistema hidráulico.

## **MANUAL DE OPERACIÓN**

### **INTRODUCCION**

La llenadora de envases PET consiste en una banda transportadora que conduce los envases hasta posicionarlas debajo de las boquillas para efectuar el llenado.

La operación de la llenadora de envases PET debe realizarse bajo ciertos parámetros para evitar ocasionar problemas en la máquina, u ocasionar accidentes en las personas que la manipulan. Con el adecuado cuidado y su respectivo mantenimiento se garantiza el correcto funcionamiento de la máquina.

Especificaciones de llenadora de envases PET:

- Fluido de trabajo: agua y productos de similar densidad
- Tipo de envase: PET
- Modo de operación: automática y manual
- Tamaño de envases: 250 ml – 3.79 L
- Número de boquillas: 4 (con capacidad de ampliación)
- Velocidad de la banda: 12 m/min
- Altura de la banda: 0.914 m
- Número de envases llenados: 28 botellas/min
- Material estructural: acero inoxidable
- Ajuste de boquillas según presentaciones de botellas

## NORMAS DE SEGURIDAD

Para mantener el correcto funcionamiento de la llenadora de envases PET y mantener la seguridad personal del operador, no olvide seguir todas las indicaciones estipuladas en este manual.



**¡ATENCIÓN!**  
NO UTILICE ESTA MÁQUINA  
SIN ESTAR AUTORIZADO Y  
CONOCER PERFECTAMENTE  
SU FUNCIONAMIENTO

No opere la máquina sin estar previamente autorizado ya que puede ocasionar daños a la máquina. Consultar manual de operación para conocer como operarla.



**RIESGO  
ELÉCTRICO**

Estar en constante contacto con líquidos puede ocasionar mayor riesgo eléctrico, en caso que algún cable suelto tome mayores precauciones, en caso de poder corte la alimentación eléctrica de la máquina apagando el interruptor ON/OFF.



**¡ATENCIÓN!**  
**AIRE COMPRIMIDO**

Puede haber desprendimiento de mangueras con el sistema de aire comprimido en función, pueden ocasionar daños al operador, debe alejarse al observar esa situación, en caso de poder corte la alimentación eléctrica de la máquina apagando el interruptor ON/OFF.



**USO OBLIGATORIO  
DE GAFAS  
ANTISALPICADURA**

Uso de gafas de seguridad para evitar daños por salpicaduras del fluido en los ojos.



**PROHIBIDO  
COLOCAR  
CARGAS PESADAS**

No coloque cargas que excedan la capacidad máxima de diseño sobre la banda transportadora, puede afectar el funcionamiento y vida útil de la banda transportadora y sus elementos.

## PRECAUCIONES

- Si desconoce el funcionamiento de la máquina o de algún elemento, debe leer detenidamente la descripción de cada elemento principal y la operación de la máquina descritas en este manual.
- Detenga la operación de la máquina si esta presenta algún funcionamiento anormal durante su uso y posteriormente detenga la alimentación eléctrica, apagando el interruptor de alimentación de la máquina.
- Evite manipular otros elementos que no tengan que ver con el panel de control de la máquina, durante esta esté en funcionamiento.

## DESCRIPCIÓN DE ELEMENTOS PRINCIPALES

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN
Motor Paso a Paso	Se encarga de mover la banda transportadora, este tipo de motores permite un mejor control sobre las paradas y arranques.
Banda transportadora	Es un conjunto de varios componentes que permiten el transporte de los envases PET a través del proceso de llenado, algunos de sus componentes son: piñones, banda, ejes, separadores, perfiles de desgaste, chumaceras, etc.
Boquillas de llenado	Estas realizan la operación de llenado de las diferentes presentaciones de envases PET con el líquido de trabajo, cuentan con un sistema de rebalse para cuando el envase se encuentra lleno y sigue circulando líquido, así evitar algún derrame. Estas permiten el ajuste de altura para el cambio de presentaciones y así mantener siempre la misma apertura en las boquillas.
Bomba centrífuga	Esta se encarga de suministrar el líquido al sistema de llenado y al tanque hidroneumático, compensa la demanda de fluido en las boquillas cuando el tanque hidroneumático alcanza un bajo nivel de presión.
Tanque hidroneumático	Este almacena y proporciona el líquido que es requerido por las boquillas de acuerdo a los parámetros de llenado. Evita que la bomba se encienda constantemente.
Accesorios hidráulicos	Algunos de estos accesorios permiten el sellado, control y dirección del líquido. Entre ellos se encuentran: válvulas hidráulicas, codos, Tee, tuberías, conectores, etc.
Sensores de posición	La máquina cuenta con 2 sensores, los cuales tienen la función de detectar los envases PET para extender/retraer los cilindros A y B, esta extensión/retracción se da cuando cada sensor detecta que han pasado cuatro envases.
Sensor de caudal	Es uno por cada boquilla y se ubican en la tubería de rebalse conectada a la boquilla, se encargan de detectar si está pasando líquido por esa tubería, para terminar el llenado de los envases cuando los cuatro sensores tienen una lectura. Estos funcionan solo en el ciclo automático.
Sistema de Transmisión	El sistema de transmisión lo componen los ejes.

	El eje de transmisión está acoplado al eje del motor, y permiten transmitir el giro del motor hacia el eje para mover la banda transportadora.
Tornillo de potencia	Este permite ajustar la altura de las boquillas por medio del giro de un par de tuercas, para cuando se realiza el cambio de presentaciones de envases, este ajuste siempre es requerido hacerse para evitar daños a los envases. El tornillo se acopla al cilindro que sostiene las boquillas.
Cojinetes de fricción y chumaceras	Estos se encargan de soportar la carga y permiten el movimiento deslizante o rotativo. Las chumaceras permiten el movimiento rotativo utilizado para los ejes, y los cojinetes de deslizamiento o fricción permiten el movimiento deslizante utilizado para las guías de la estructura del portaboquillas.
Microcontrolador programable (PLC)	Este elemento se encarga de procesar las señales emitidas por cada sensor y finales de carrera, para posteriormente dar instrucciones a los actuadores.
Driver	Este controla los pasos conforme al giro del motor, los pasos permiten al motor paso a paso hacerlo más preciso.
Botoneras	Son los botones que se encuentran en el panel de control de la máquina, permiten controlar las operaciones a ejecutar.
Fuente de alimentación convertidor	Se encarga de la conversión de voltaje AC a voltaje DC (convertir de 120/240 VAC a 24 VDC), debido a que muchos de los dispositivos trabajan a 24 VDC.
Cilindros neumáticos	Estos son actuadores que se accionan por aire comprimido, permite movimiento lineal de su vástago (extensión/retracción). A: primer cilindro que encuentran las botellas sobre la banda. B: segundo y último cilindro sobre la banda. C: cilindro que permite el movimiento vertical de las boquillas para el llenado.
Finales de carrera magnéticos	Son 2 por cada cilindro y se ubican sobre los cilindros neumáticos, su función es detectar en qué posición se encuentra el vástago del cilindro, si extendido o retraído y en base a eso le indica al microcontrolador.
Compresor	Este es el dispositivo que proporciona el aire comprimido a los cilindros y demás componentes accionados neumáticamente.
Electroválvulas neumáticas	Estas son controladas por el microcontrolador el cual acciona los solenoides que estas traen

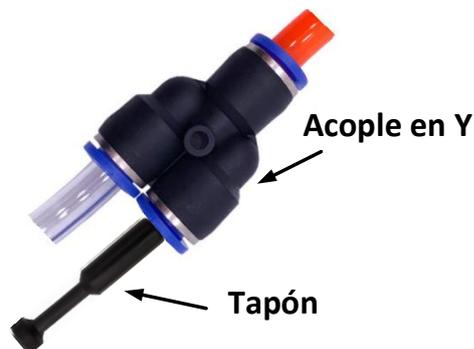
	incorporados y así controlan la extensión o retracción de los cilindros cambiando la distribución o dirección donde se manda aire comprimido a los cilindros.
Base Manifold neumática	Este dispositivo permite que se monten las válvulas neumáticas, dándoles una sola entrada de aire comprimido a las válvulas neumáticas.
Accesorios neumáticos	Algunos permiten el control y dirección del flujo de aire comprimido. Entre ellos se encuentran: válvulas reguladoras de presión y flujo, Racord, mangueras, silenciadores, etc.
Unidad FR	Es un Filtro y regulador que realiza el filtrado del aire que manda el compresor hacia los cilindros y permite regular la presión del sistema.

## AJUSTES PARA LA OPERACIÓN DE LA MÁQUINA

La máquina llenadora de envases permite el llenado de diferentes presentaciones de envases, para poder realizar el cambio de presentaciones de envases se debe realizar los siguientes ajustes en el orden que serán descritos.

- Purgar el aire del sistema

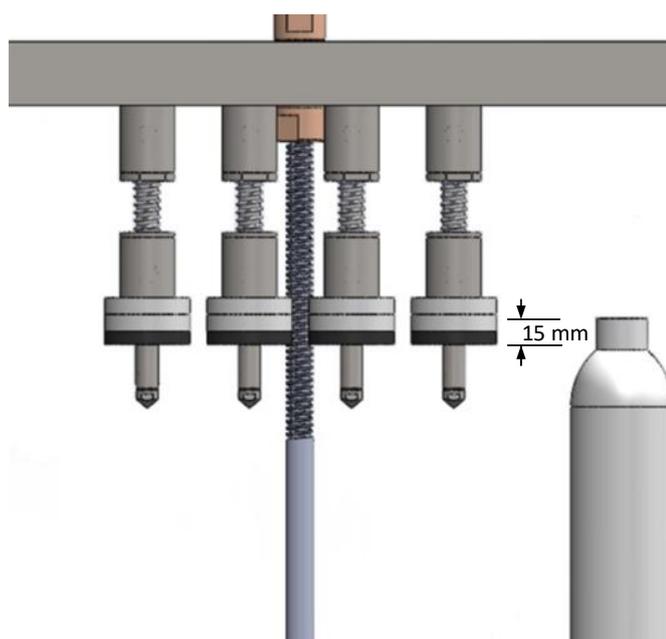
Para realizar los ajustes de los cambios de presentaciones de envases, primero tenemos que asegurar que no hay presión en el sistema, el regulador de presión tiene que estar cerrado para que no haya presión en el sistema (siendo el sistema desde el filtro-regulador hacia la máquina), posteriormente quitamos el tapón del acople neumático en “Y” como se muestra en la siguiente figura, lo que permitirá poder manipular los cilindros neumáticos sin que se genere vacío en su interior y eso impida poder extender o contraer los cilindros neumáticos de manera manual.



Nota: para la primera vez de uso de la máquina el sistema no tendrá presión (el regulador estará cerrado), en caso de estar abierto el regulador de presión y activo el compresor debe seguir el procedimiento descrito anteriormente.

- Ajuste de la altura de las boquillas girando un par de tuercas del tornillo de potencia, lo que permite el movimiento del portaboquillas de manera vertical.

Este ajuste debe realizarse utilizando un envase de acuerdo a la presentación que se desea llenar, el ajuste para esa presentación finaliza cuando se deja a una distancia de 15 mm en las alzas o separadores de las boquillas, cuya separación es medida desde la parte superior del envase como se muestra en la siguiente figura, para garantizar la correcta apertura de la boquilla.

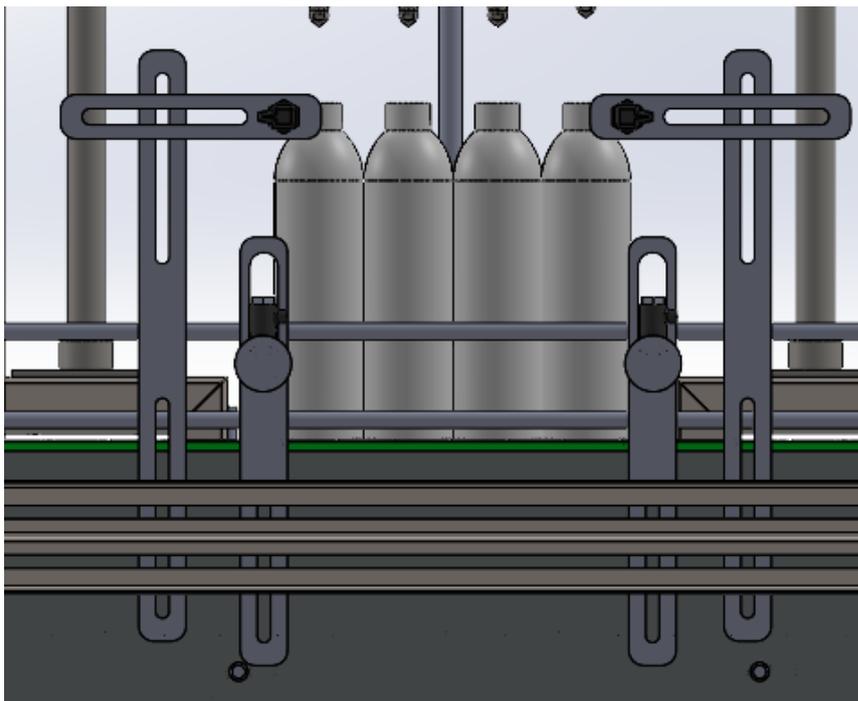


Nota: cuando se realice esa operación se debe de sostener el vástago del cilindro para evitar que este experimente el giro proporcionado a las tuercas, de esa manera aseguramos que no se dañen los empaques internos del cilindro neumático y que este tenga una mayor vida útil.

- Ajuste de los cilindros retenedores y sensores de posición para que estén alineados respecto a la presentación de envase a llenar.

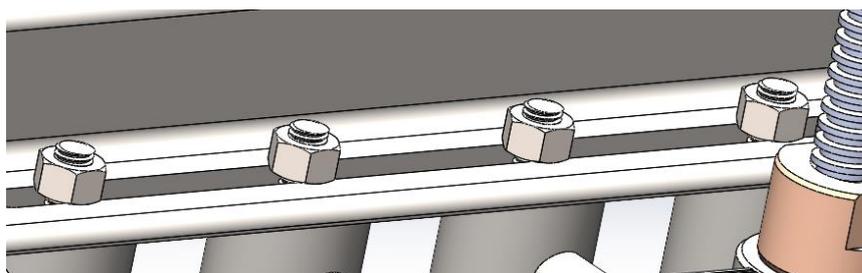
Para realizar este ajuste de deben de colocar 4 envases según la presentación que desea llenar, las botellas deben quedar juntas haciendo contacto una con otra y centradas de acuerdo al tornillo de potencia, posteriormente se deben aflojar los pernos de los soportes de los cilindros retenedores y de los sensores de posición, para ajustarlos de acuerdo a la longitud o espacio ocupado por esos 4 envases (de no poder colocar los 4 envases entre los cilindros neumáticos se debe de aflojar primero los pernos de los soportes y posteriormente colocar los envases), para ajustar de mejor manera los cilindros retenedores se necesita extender manualmente los vástagos de los cilindros neumáticos A y B para poder posicionarlos para que retengan los 4 envases, seguidamente se ajustarán los sensores de posición de acuerdo al ajuste de los cilindros neumáticos, finalmente vuelva a apretar los pernos de los soportes una vez estén ajustados quedando como se muestra en la siguiente figura.

Nota: para extender de manera manual los vástagos de los cilindros neumáticos, debe de haber purgado el sistema neumático como se explicó anteriormente.



- Alineación de las boquillas respecto a cada envase según el tipo de presentación a llenar.

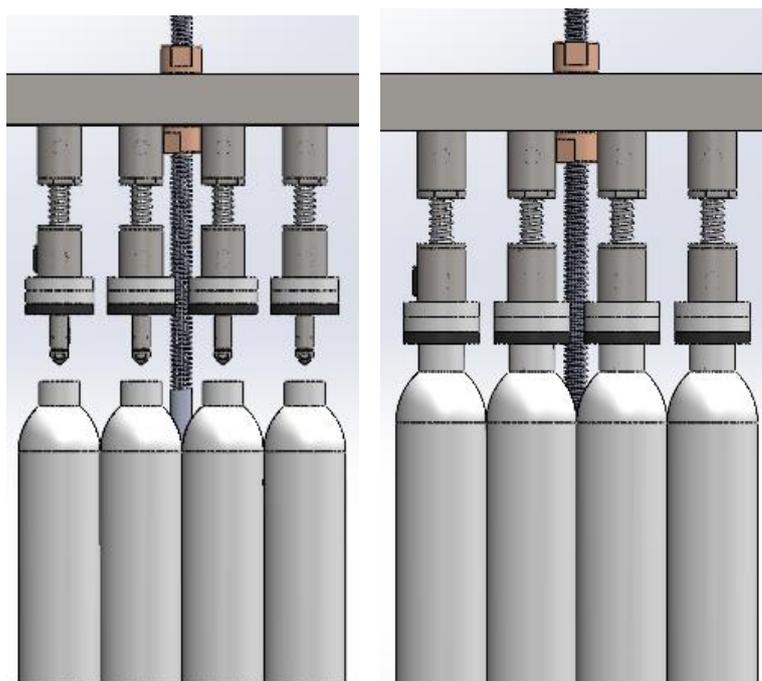
Para este ajuste se debe aflojar un poco las tuercas que sostienen cada una de las boquillas, lo que permitirá poder mover las boquillas hacia los lados de manera manual.



Una vez aflojadas las tuercas (las que se muestran en la figura anterior) y que las boquillas se puedan desplazar hacia los lados, se levanta de manera manual el portaboquillas y se colocan los 4 envases según la presentación a llenar justo debajo de las boquillas como se muestra en la siguiente figura, los envases deben quedar juntos haciendo contacto uno con otro y que se encuentren centrados con respecto a cada una de las boquillas.

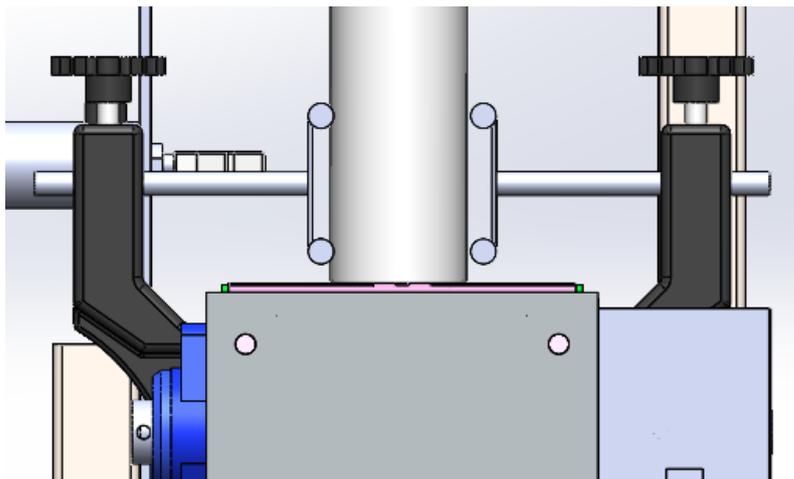
Una vez realizado el ajuste se procede a apretar las tuercas que sostienen las boquillas a la estructura.

Nota: para levantar de manera manual el portaboquillas debe de haber purgado el sistema neumático como se explicó anteriormente.



- Ajustar las barandas de acuerdo a la presentación de envase a llenar.

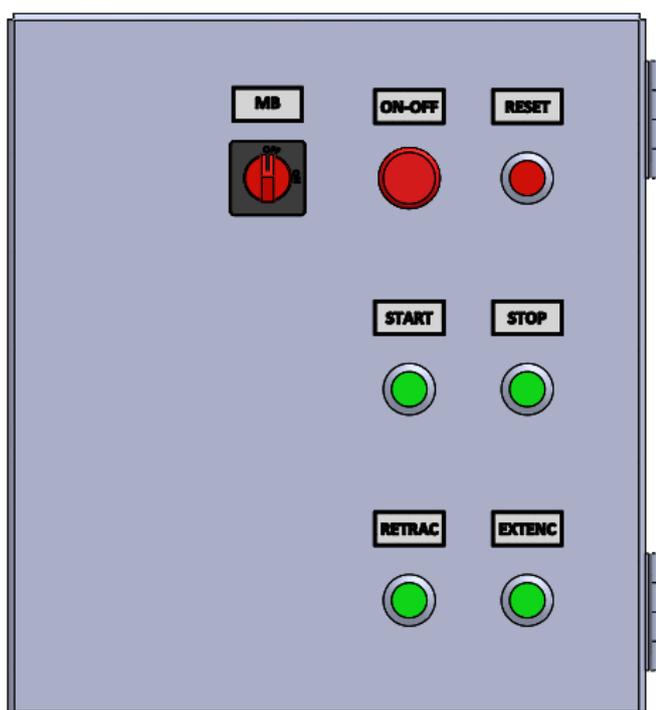
Para este ajuste solo se requiere colocar entre las barandillas un envase según la presentación que se desea llenar, posteriormente se debe de aflojar las 4 manivelas de los soportes de riel de las barandillas, eso permitirá ajustar las barandas acordes al diámetro del envase que se desea llenar y finalmente cuando sea realizado el ajuste vuelva a apretar las 4 manivelas de los soportes de riel, el ajuste quedará como se muestra en la siguiente figura.



Nota: una vez realizados todos los procesos de ajuste se debe colocar el tapón en el acople neumático tipo “Y”, luego ponemos en marcha el sistema de aire comprimido y ajustamos el regulador de presión.

## OPERACIÓN Y CONTROL DE LA MÁQUINA

A continuación, se muestra el panel de control de la máquina con cada uno de los pulsadores o interruptores.



➤ PUESTA EN MARCHA Y DESACTIVACIÓN DE LA MÁQUINA

- Para poner en funcionamiento la máquina se debe accionar el interruptor ON/OFF a la posición ON, el interruptor está situado en el panel de control de la máquina, lo que energizará el sistema, permitiendo que la máquina esté lista para poder operarla.

Cuando el sistema esta energizado se da paso a la extensión del vástago del cilindro que soporta las boquillas de llenado, para permitir que los envases se posicionen debajo independiente del tipo de ciclo de llenado seleccionado.

- Para la desactivación/apagado de la máquina se debe accionar el interruptor ON/OFF a la posición OFF, el interruptor está situado en el panel de control de la máquina.

Cuando apague la máquina asegúrese de terminar o parar el sistema de llenado que esté utilizando.

➤ ACTIVACIÓN/DESACTIVACIÓN DEL SISTEMA AUTOMÁTICO.

- Para iniciar a operar el sistema de llenado automático se debe presionar el pulsador START situado en el panel de control de la máquina.

Al Iniciar el ciclo de llenado automático se activa el motor que mueve la banda transportadora y los envases son llevados a la etapa de llenado, posterior a su llenado los envases saldrán de la etapa de llenado y otros envases entrarán a la etapa de llenado, de esta manera se estará repitiendo el ciclo.

- Para detener el sistema de llenado automático se debe presionar el pulsador STOP situado en el panel de control de la máquina.

Presione el pulsador STOP en cualquier momento pudiendo ser al iniciar el ciclo de llenado o en la etapa de llenado, pero se debe presionar el pulsador antes que salga el último envase del lote que se acaban de llenar porque eso asegura que el ciclo de llenado automático se detenga sin que ingrese un nuevo lote de botellas a la etapa de llenado, para efectuar un nuevo ciclo.

#### ➤ ATIVACIÓN/DESACTIVACIÓN DEL SISTEMA MANUAL

El llenado manual se encuentra en total control del operador, el operador debe verificar en qué momento se encuentran llenos los envases y detener el llenado.

- Para iniciar a operar el sistema de llenado manual se debe presionar el pulsador RETRAC situado en el panel de control de la máquina.

Solo se requiere presionar una vez el pulsador, esa acción permite que bajen las boquillas y se pueda efectuar el llenado de los envases.

- Para detener el llenado se debe presionar el pulsador EXTENC situado en el panel de control de la máquina.

Solo se requiere presionar una vez el pulsador, esa acción permite que suban las boquillas y finalice el llenado del lote de envases.

#### ➤ SISTEMA DE REINICIO

- Para reiniciar el sistema debe de presionar el interruptor RESET situado en el panel de control de la máquina.

Nota: para poder operar nuevamente cualquiera de ambos sistemas de llenado una vez activado el sistema RESET, debe asegurarse de desactivar el RESET volviendo a presionar el interruptor.

El sistema de reinicio en el ciclo de llenado manual puede ser utilizado de la misma manera que el pulsador EXTENC para que suban las boquillas, si se utiliza el RESET para que suban las boquillas asegúrese de desactivar el interruptor RESET presionándolo una vez más, para poder volver a operar cualquiera de los dos sistemas de llenado.

El sistema RESET mueve los vástagos de los cilindros a su posición inicial (la posición inicial es cuando activo la máquina presionando el interruptor ON/OFF a la posición ON “cilindros neumáticos A y B retraídos y cilindro neumático C extendido) independiente de la operación que se esté ejecutando, al desactivar el sistema RESET puede volver operar cualquiera de ambos sistemas de llenado.

#### ➤ ACTIVACIÓN DE PRUEBA DE LA BANDA TRANSPORTADORA

El motor que mueve la banda transportadora podrá ser activado sin necesidad de activar alguno de los ciclos de llenado de la máquina, el motor puede ser activado con el objetivo de realizar pruebas de funcionamiento solo al sistema de la banda transportadora.

- Para activar la banda transportadora o el motor se debe mover el interruptor MB a la posición ON, el interruptor está situado en el panel de control de la máquina.
- Para desactivar la banda transportadora o el motor se debe mover el interruptor MB a la posición OFF, el interruptor está situado en el panel de control de la máquina.

### ➤ ACTIVACIÓN DE LA BOMBA

La bomba hidráulica no dispondrá de un interruptor o pulsador para encenderla, únicamente dispondrá de un conector tomacorriente macho 240 V AC, debido a que se le recomienda al dueño de la máquina que instale la bomba directamente a un tomacorriente hembra 240 V, permitiéndole activar/desactivar la bomba (estar lista para operar).

Una vez que sea activada la bomba por medio de su breaker, solo se encenderá cuando el presostato determine que hay una baja presión en el sistema del tanque hidroneumático, lo cual significa que la bomba debe encenderse para llenar el tanque hidroneumático, finalmente cuando el tanque hidroneumático se encuentre lleno y el presostato lo determine por su presión, la bomba automáticamente se detendrá, se volverá a encender una vez que se repita la condición anteriormente descrita.

## **MANUAL DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

### **INTRODUCCION**

Las causas principales de las fallas y accidentes en máquinas para llenado pueden ser múltiples y tener orígenes diversos: fallas debido a las condiciones de trabajo a las que están sometidas que pueden dar lugar al desgaste de las partes rotativas, fatiga de los elementos, deformaciones, fisuras, etc., con el mantenimiento preventivo se pretende poder detectar estas posibles fallas antes que el componente tenga que ser reemplazado y genere mayores costos en la máquina, el objetivo a fin de evitar esas fallas es dar a conocer los protocolos de actividades a seguir por medio de este manual, y de esa manera garantizar el correcto funcionamiento de la máquina.

### **BENEFICIOS DEL MANTENIMIENTO**

- Prevención de fallas en los elementos, para evitar paros innecesarios e incremento de costos.
- Aumentar la vida útil de las piezas y la máquina en sí.

### **PROCEDIMIENTOS DE LAS RUTINAS DE MANTENIMIENTO**

Teniendo en cuenta los beneficios obtenidos por el mantenimiento preventivo, se han tomado una serie de tareas rutinarias a realizar para llevar a cabo este tipo de mantenimiento.

## ➤ INSPECCIÓN EXTERNA

Se debe examinar atentamente el equipo y cada uno de sus componentes que se encuentran a la vista, sin quitar o desmontar partes.

Las partes a examinar son mangueras hidráulicas, mangueras neumáticas, eslabones y demás elementos visibles de la banda transportadora, conectores, botonera, boquillas, cilindros, sensores y tornillo de potencia. Eso para detectar si pueda haber signos de desgaste, roturas, fugas, partes degradadas o cualquier otro signo que obligue a sustituir las partes afectas o tomar alguna acción pertinente al mantenimiento preventivo.

Tareas involucradas:

1. Revisión detallada de la banda transportadora, verificar si no hay eslabones desgastados o fracturados, pernos flojos o faltantes y componentes flexionados.
2. Revisión detallada de las boquillas, verificar si están bien fijadas con su tuerca, además verificar que no se vea ninguna fuga en estas proveniente de los empaques o que presenten algún daño que requiera alguna intervención.
3. Revisión de los componentes mecánicos visibles, así como las varillas guías del portaboquillas, que estos no presenten fisuras o se encuentren flexionados, también revise que todos los elementos mecánicos se encuentren debidamente lubricados.
4. Revisión de componentes eléctricos visibles como cable de alimentación, sensores y botoneras, verificar que no presente ningún daño o deterioro, también puede realizar pruebas con multímetro.
5. Revisar el sistema neumático, que no falte ninguna manguera, alguna manguera este desconectada o dañada, verificar que la presión del sistema sea la correcta y purgar el agua condensada en los filtros.

6. Revisar el sistema hidráulico que no presente fugas, o algún componente presente deterioro o fisuras.

➤ LIMPIEZA EXTERNA

Consiste en la eliminación de la suciedad, polvo, desechos, humedad, entre otros, de todas las partes externas de la máquina, se recomienda que use un trapo seco y podría utilizar un limpiador líquido de superficies no abrasivo.

➤ INSPECCIÓN INTERNA

Examinar atentamente las partes internas del equipo y sus componentes, para detectar algún signo que obligue a sustituir las partes afectadas o tomar alguna acción pertinente al mantenimiento preventivo.

Cuando se realice la inspección interna para el sistema hidráulico, asegúrese de cortar la alimentación del líquido cerrando las válvulas correspondientes.

Tareas involucradas:

1. Revisión de la parte interna de la banda transportadora, eso incluye cada componente interno de la banda como el chasis, separadores, rodillos, perfiles de desgaste de la banda, eslabones, ejes, piñones, chumaceras, pernos, tuercas, etc., que no presenten fisuras o desgaste, roturas, falta de lubricación, corrosión, sobrecalentamiento o cualquier otro daño físico.
2. Revisión de boquillas, habrá que desmontarlas y revisar que sus piezas internas no presenten fisuras, desgaste, fugas, O-ring dañados o cualquier otro daño físico que puedan presentar. Para desmontar las boquillas asegúrese de haber cortado la alimentación del líquido.

3. Inspección de elementos eléctricos, incluye cada componente eléctrico como el PLC, Driver, botonera, cables, fuente de alimentación, etc., inspeccionando de manera visual y física de ser necesario, si presentan sobrecalentamiento, algún cable dañado o suelto, también realizar pruebas de voltaje y continuidad con multímetro para verificar que no hay ningún problema.

➤ LIMPIEZA INTERNA

Eliminar la suciedad, desechos, polvo, humedad, etc., en las partes internas que componen al equipo, utilizando los métodos adecuados según corresponda.

Tareas involucradas:

1. Limpieza de superficies internas de la banda transportadora y boquillas usando un trapo seco y limpiador para superficies no abrasivo.
2. Limpieza de componentes eléctricos, usar limpiador de contactos eléctricos para evitar que los componentes eléctricos o conexiones eléctricas sufran daños.

➤ LUBRICACIÓN O ENGRASE

Si en las inspecciones visualizó que falta lubricación en los componentes mecánicos o corresponde la lubricación según las fechas establecidas de las chumaceras, cojinetes de fricción, bomba y compresor, debe lubricar de forma directa para evitar ensuciar otras superficies, así garantizar que estos elementos trabajen de mejor forma y alarguen su vida útil.

Se recomienda utilizar lubricante para maquinaria alimenticia (NSF H1), con buena resistencia a la humedad.

### ➤ REEMPLAZO DE CIERTOS COMPONENTES

Muchos de los componentes de la máquina se desgastan durante largos periodos de funcionamiento, otros componentes pueden presentar otro tipo de fallos que posteriormente requieran ser reemplazados.

### ➤ AJUSTE Y CALIBRACIÓN

En el mantenimiento preventivo es necesario ajustar o calibrar algunos componentes, para eso deberá tomarse en cuenta lo observado en las inspecciones externa e interna del equipo, de ser necesario se debe poner en funcionamiento el equipo y realizar pruebas, para verificar si todo está de acuerdo a los valores normales de funcionamiento.

Los componentes que pueden requerir calibración son: la tensión de la banda por medio de las chumaceras, ajuste de los sensores de proximidad, ajuste en los sensores de flujo y algún ajuste al microprocesador programable, aunque para este último debe de hacerlo personal debidamente capacitado para ese tipo de operaciones.

Para efectuar el ajuste de la banda por medio de las chumaceras, se requiere aflojar un poco los pernos que fijan ambas chumaceras, posteriormente apretar el perno tensador en cada chumacera que las moverá para tensar la banda, el giro para apretar esos dos pernos debe ser igual, una vez tensionada la banda proceda a socar los pernos que fijan las chumaceras.

➤ PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Debe realizar pruebas de funcionamiento al equipo, probando cada una de sus modalidades, esto debe realizarse sin necesidad de que exista alguna falla porque le permitirá comprobar que realmente no existen fallas en cada modalidad de operación y que no se escuchan ruidos anormales en la máquina.

## ANEXO C. TABLAS Y GRÁFICOS

Anexo B1. Tabla de fricción entre placas y guías deslizantes. [6]

Producto transportado	Lubric.	Material de los platillos		
		Acero inox.	Acetal	Acetal baja fricción
Plástico o cartón	En seco	0'30	0'20	0'15
	Lubricada	0'15	-	-
Vidrio o cerámica	En seco	0'50	0'30	0'25
	Lubricada	0'25	0'20	0'15
Metálicos	En seco	0'45	0'30	0'25
	Lubricada	0'15	0'20	0'20

Anexo B2. Datos del motor paso a paso según catálogo. [34]

technical data						
flange dimension		28(NEMA11)	42(NEMA17)	56(NEMA23)	60(NEMA23XL)	86(NEMA34)
<b>motor</b>						
max voltage	[VDC]	60	60	60	60	60
nominal voltage	[VDC]	24-48	24-48	24-48	24-48	24-48
nominal current	[A]	1,0	1,8	4,2	4,2	6,4
holding torque	[Nm]	0,12	0,5	2,0	3,5	5,9
detent torque	[Nm]	0,004	0,022	0,068	0,075	0,210
step angle	[°]	1,8 ±5%	1,8 ±5%	1,8 ±5%	1,8 ±5%	1,8 ±5%
resistance / phase	[Ω]	2,30 ±10%	1,75 ±10%	0,50 ±10%	0,65 ±10%	0,33 ±10%
inductance / phase	[mH]	1,80 ±20%	3,30 ±20%	2,20 ±20%	3,20 ±20%	3,00 ±20%
moment of inertia / rotor	[kgcm <sup>2</sup> ]	0,018	0,082	0,48	0,84	2,70
max. shaft load axial	[N]	7	7	15	15	65
max. shaft load radial	[N]	20	20	52	63	200
<b>encoder (incremental)</b>						
operating voltage	[VDC]	5				
impulse / turn		500				
zero impulse / index		yes				
line-driver		RS422 protocol				

## Anexo B3. Tabla de esfuerzo último. [21]

Tabla A-22

Resultados de ensayos a la tensión de algunos metales\* Fuente: J. Datsko, "Solid Materials", capítulo 32, en Joseph E. Shigley, Charles R. Mischke y Thomas H. Brown, Jr. (editores en jefe). *Standard Handbook of Machine Design*, 3a. ed., McGraw-Hill, Nueva York, 2004, pp. 32.49-32.52.

Número	Material	Condición	Resistencia (a la tensión)					
			Fluencia	Última	A la fractura,	Coefficiente	Resistencia a	
			$S_y$	$S_u$	$\sigma_u$	$\sigma_{0.2}$	la deformación,	Resistencia a
MPa (kpsi)	MPa (kpsi)	MPa (kpsi)	MPa (kpsi)	exponente $m$	la fractura $\epsilon_f$			
1018	Acero	Recocido	220 (32.0)	341 (49.5)	628 (91.1) <sup>†</sup>	620 (90.0)	0.25	1.05
1144	Acero	Recocido	358 (52.0)	646 (93.7)	898 (130) <sup>†</sup>	992 (144)	0.14	0.49
1212	Acero	HR	193 (28.0)	424 (61.5)	729 (106) <sup>†</sup>	758 (110)	0.24	0.85
1045	Acero	TyR 600°F	1 520 (220)	1 580 (230)	2 380 (345)	1 880 (273) <sup>†</sup>	0.041	0.81
4142	Acero	TyR 600°F	1 720 (250)	1 930 (210)	2 340 (340)	1 760 (255) <sup>†</sup>	0.048	0.43
303	Acero inoxidable	Recocido	241 (35.0)	601 (87.3)	1 520 (221) <sup>†</sup>	1 410 (205)	0.51	1.16
304	Acero inoxidable	Recocido	276 (40.0)	568 (82.4)	1 600 (233) <sup>†</sup>	1 270 (185)	0.45	1.67
2011	Aleación de aluminio	T6	169 (24.5)	324 (47.0)	325 (47.2) <sup>†</sup>	620 (90)	0.28	0.10
2024	Aleación de aluminio	T4	296 (43.0)	446 (64.8)	533 (77.3) <sup>†</sup>	689 (100)	0.15	0.18
7075	Aleación de aluminio	T6	542 (78.6)	593 (86.0)	706 (102) <sup>†</sup>	882 (128)	0.13	0.18

\*Los valores se tomaron de una o dos calotas y se considera que pueden obtenerse usando especificaciones de compra. La deformación por fractura puede variar hasta en 100%.

<sup>†</sup>Valor derivado.

## Anexo B4. Datos de los pernos para los cojinetes. [21]

Tabla 8-1

Diámetros y áreas de roscas métricas de paso grueso y fino\*

Diámetro mayor nominal $d$ , mm	Serie de paso grueso			Serie de paso fino		
	Paso $p$ , mm	Área de esfuerzo de tensión $A_u$ , mm <sup>2</sup>	Área del diámetro menor $A_r$ , mm <sup>2</sup>	Paso $p$ , mm	Área de esfuerzo de tensión $A_u$ , mm <sup>2</sup>	Área del diámetro menor $A_r$ , mm <sup>2</sup>
1.6	0.35	1.27	1.07			
2	0.40	2.07	1.79			
2.5	0.45	3.39	2.98			
3	0.5	5.03	4.47			
3.5	0.6	6.78	6.00			
4	0.7	8.78	7.75			
5	0.8	14.2	12.7			
6	1	20.1	17.9			
8	1.25	36.6	32.8	1	39.2	36.0
10	1.5	58.0	52.3	1.25	61.2	56.3
12	1.75	84.3	76.3	1.25	92.1	86.0
14	2	115	104	1.5	125	116
16	2	157	144	1.5	167	157
20	2.5	245	225	1.5	272	259
24	3	353	324	2	384	365
30	3.5	561	519	2	621	596
36	4	817	759	2	915	884
42	4.5	1 120	1 050	2	1 260	1 230
48	5	1 470	1 380	2	1 670	1 630
56	5.5	2 030	1 910	2	2 300	2 250
64	6	2 680	2 520	2	3 030	2 980
72	6	3 460	3 280	2	3 860	3 800

## Anexo B5. Selección de pernos. [21]

Tabla 8-11

Clases métricas de propiedad mecánica de pernos, tornillos y birlos de acero\*

Clase de propiedad	Intervalo de tamaños, inclusive	Resistencia de prueba mínima, <sup>†</sup> MPa	Resistencia mínima a la tensión, <sup>†</sup> MPa	Resistencia mínima a la fluencia, <sup>†</sup> MPa	Material	Marca en la cabeza
4.6	M5-M36	225	400	240	Acero de bajo o medio carbono	
4.8	M1.6-M16	310	420	340	Acero de bajo o medio carbono	
5.8	M5-M24	380	520	420	Acero de bajo o medio carbono	
8.8	M16-M36	600	830	660	Acero de medio carbono, T y R	
9.8	M1.6-M16	650	900	720	Acero de medio carbono, T y R	
10.9	M5-M36	830	1 040	940	Acero martensítico de bajo carbono, T y R	
12.9	M1.6-M36	970	1 220	1 100	Acero aleado, T y R	

## Anexo B6. Propiedades mecánicas de algunos alambres para resortes. [21]

Tabla 10-5

Propiedades mecánicas de algunos alambres para resorte

Material	Límite elástico, porcentaje de $S_{uv}$		Diámetro $d$ , pulg	$E$		$G$	
	tensión	torsión		Mpsi	GPa	Mpsi	GPa
Alambre de piano A228	65-75	45-60	<0.032	29.5	203.4	12.0	82.7
			0.033-0.063	29.0	200	11.85	81.7
			0.064-0.125	28.5	196.5	11.75	81.0
			>0.125	28.0	193	11.6	80.0
Resorte estirado duro A227	60-70	45-55	<0.032	28.8	198.6	11.7	80.7
			0.033-0.063	28.7	197.9	11.6	80.0
			0.064-0.125	28.6	197.2	11.5	79.3
			>0.125	28.5	196.5	11.4	78.6
Templado en aceite A239	85-90	45-50		28.5	196.5	11.2	77.2
Resorte de válvula A230	85-90	50-60		29.5	203.4	11.2	77.2
Cromo vanadio A231	88-93	65-75		29.5	203.4	11.2	77.2
A232	88-93			29.5	203.4	11.2	77.2
Cromo silicio A401	85-93	65-75		29.5	203.4	11.2	77.2
Acero inoxidable							
A313*	65-75	45-55		28	193	10	69.0
17-7PH	75-80	55-60		29.5	208.4	11	75.8
414	65-70	42-55		29	200	11.2	77.2
420	65-75	45-55		29	200	11.2	77.2
431	72-76	50-55		30	206	11.5	79.3
Bronce fosforado B159	75-80	45-50		15	103.4	6	41.4
Cobre al berilio B197	70	50		17	117.2	6.5	44.8
	75	50-55		19	131	7.3	50.3
Aleación Inconel X-750	65-70	40-45		31	213.7	11.2	77.2

\*También incluye 302, 304 y 316.

Nota: Vea la tabla 10-6, que contiene los valores de diseño del esfuerzo de torsión permisible.

Anexo B7. Constantes A y m para la resistencia máxima de alambres. [21]

**Tabla 10-4**

Constantes A y m de  $S_u = A/d^m$  para estimar la resistencia de tensión mínima de alambres para fabricar resortes comunes

Fuente: De Design Handbook, 1987, p. 19. Cortesía de Associated Spring.

Material	ASTM núm.	Exponente m	Diámetro, pulg	A, kpsi · pulg <sup>m</sup>	Diámetro, mm	A, MPa · mm <sup>m</sup>	Costo relativo del alambre
Alambre de piano*	A228	0.145	0.004-0.256	201	0.10-6.5	2 211	2.6
Alambre T y R en aceite <sup>†</sup>	A229	0.187	0.020-0.500	147	0.5-12.7	1 855	1.3
Alambre estirado duro <sup>‡</sup>	A227	0.190	0.028-0.500	140	0.7-12.7	1 783	1.0
Alambre al cromo vanadio <sup>§</sup>	A232	0.168	0.032-0.437	169	0.8-11.1	2 005	3.1
Alambre al cromo silicio <sup>¶</sup>	A401	0.108	0.063-0.375	202	1.6-9.5	1 974	4.0
Alambre inoxidable 302*	A313	0.146	0.013-0.10	169	0.3-2.5	1 867	7.6-11
		0.263	0.10-0.20	128	2.5-5	2 065	
		0.478	0.20-0.40	90	5-10	2 911	
Alambre de bronce fosforado**	B159	0	0.004-0.022	145	0.10-6	1 000	8.0
		0.028	0.022-0.075	121	0.6-2	913	
		0.064	0.075-0.30	110	2.7-5	932	

\*La superficie es lisa, sin defectos y tiene un acabado brillante y lustroso.  
<sup>†</sup>Tiene escamas ligeras debido al tratamiento térmico, que se deben remover antes del galvanizado.  
<sup>‡</sup>La superficie es lisa y brillante sin marcas visibles.  
<sup>§</sup>Alambre revenido de calidad aeronáutica; también se obtiene recoído.  
<sup>¶</sup>Revenido a Rockwell C49, pero se puede obtener sin revenir.  
<sup>\*</sup>Acero inoxidable tipo 302.  
<sup>\*\*</sup>Temple CA510.

Anexo B8. Parámetros de resortes según sus extremos. [21]

**Tabla 10-1**

Fórmulas para calcular las dimensiones de resortes de compresión. ( $N_a$  = Número de espiras activas)

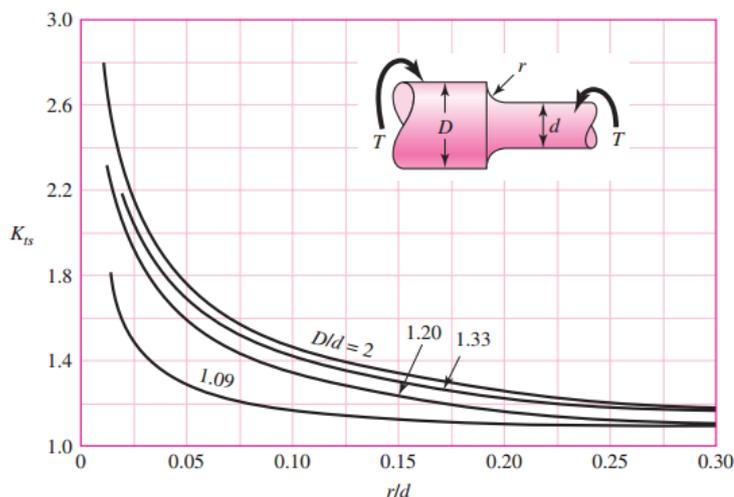
(Fuente: De Design Handbook, 1987, p. 32. Cortesía de Associated Spring.)

Término	Tipo de extremos de resortes			
	Plano	Plano y esmerilado	A escuadra y cerrado	A escuadra y esmerilado
Espiras de extremo, $N_e$	0	1	2	2
Espiras totales, $N_t$	$N_a$	$N_a + 1$	$N_a + 2$	$N_a + 2$
Longitud libre, $l_0$	$pN_a + d$	$p(N_a + 1)$	$pN_a + 3d$	$pN_a + 2d$
Longitud sólida, $l_s$	$d(N_t + 1)$	$dN_t$	$d(N_t + 1)$	$dN_t$
Paso, $p$	$(l_0 - d)/N_a$	$l_0/(N_a + 1)$	$(l_0 - 3d)/N_a$	$(l_0 - 2d)/N_a$

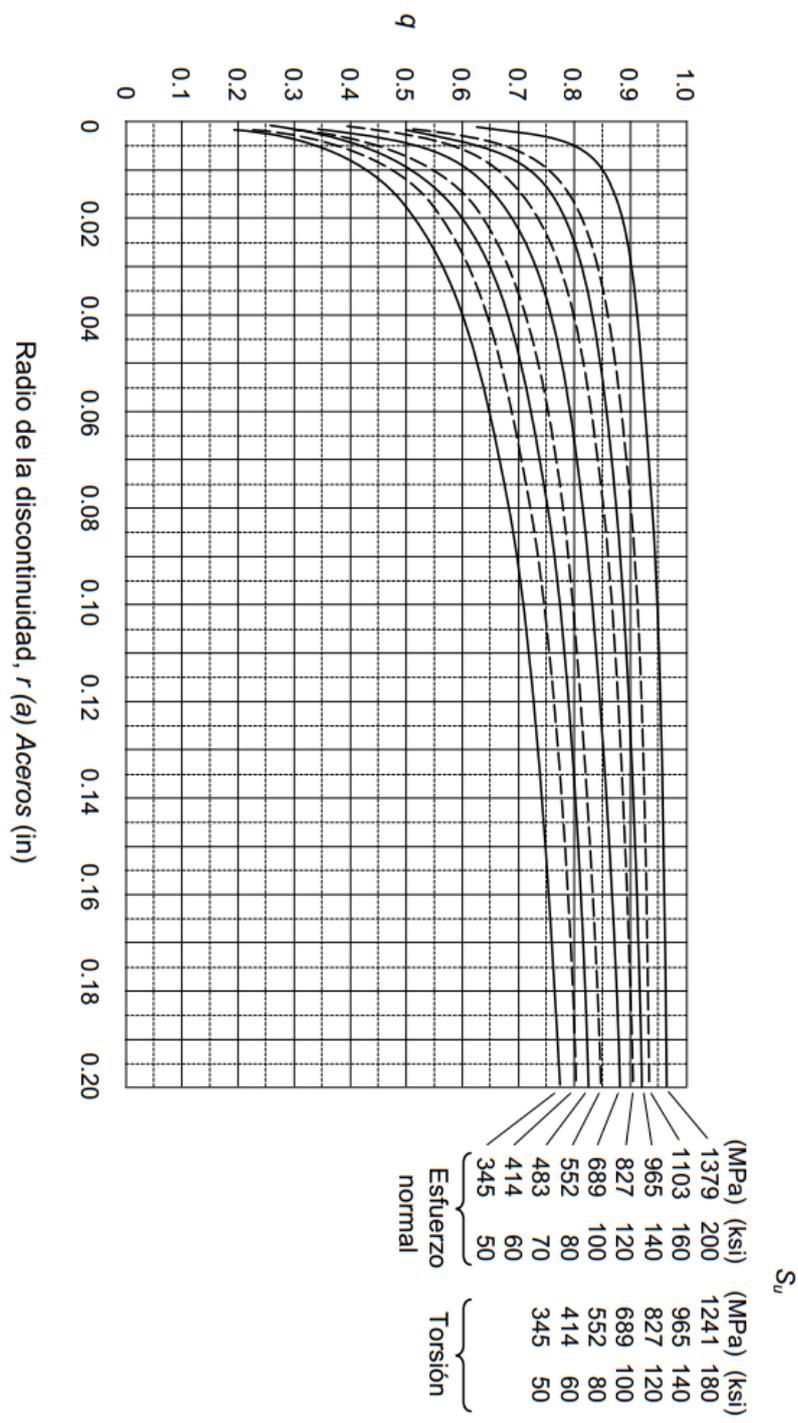
Anexo B9. Concentrador de esfuerzo teórico. [21]

**Figura A-15-8**

Eje redondo con filete en el hombro en torsión.  $\tau_0 = Tc/J$ , donde  $c = d/2$  y  $J = \pi d^4/32$ .



Anexo B10. Índice de sencibilidad a la entalla. [22]



## ANEXO D. COTIZACIONES

### Anexo C1. Cotización de materiales.

Nombre de Cliente:	SAN SALVADOR
Dirección:	6/14/2021
Ciudad:	
Depto.: SAN SALVADOR	
Código Cliente: 966	
Atención: CONTACTO GENERICO	
Vendedor:	
Observaciones:	

Validez:	15
Días Crédito:	0
Tiempo de Entrega:	INMEDIATA
Condición de Pago:	Contado

CODIGO	QTY	DESCRIPCION	UNITARIO	TOTAL
CQ2B32-100DZ	1	CILINDRO NEUMATICO TIPO COMPACTO DOBLE EFECTO, DIAMETRO 32mm X 100mm DE CARRERA, VASTAGO ROSCA HEMBRA	\$79.80	\$79.80
CD85N20-150-B	1	CILINDRO NEUMATICO DOBLE EFECTO CON EMBOLO MAGNETICO, ISO 6432, DIAMETRO 20mm X 150mm DE CARRERA, CON CLEVIS TRASERA INTEGRADA	\$53.66	\$53.66
SY5120-5DZ-01N	1	ELECTROVALVULA 5/2 MONOESTABLE, PUERTOS ROSCA 1/8 NPT, 24 VDC, CONECTOR DIN, SUPRESOR E INDICADOR LED, Cv 0.59	\$54.14	\$54.14
AW30-N03-Z-A	1	FILTRO-REGULADOR PARA AIRE COMPRIMIDO, SERIE 30-A, ROSCA 3/8 NPT, DRENO MANUAL, VASO POLICARBONATO, FILTRAJE 5 MICRONES, NO INCLUYE MANOMETRO	\$38.83	\$38.83
CP1LEM30DRD	1	PLC SERIE CPE, SERIE COMPACTA CON PUERTO ETHERNET 18 ENTRADAS, 12 SALIDAS A RELE, ALIMENTACION 24VDC	\$390.00	\$390.00
E3ZD81	1	SENSOR DIFUSO DE 10 A 30 VDC POLARIDAD PNP ALCANCE DE DETECCION 100MM CON CABLE	\$85.00	\$85.00
SETECIENTOS NOVENTA Y DOS 62/100 DOLARES			Gravado:	\$701.44
			IVA:	\$91.19
			1% Percepción	\$0.00
			Total:	\$792.62

**Ventas Sujetas a Existencias**

Autorizado: \_\_\_\_\_



## Anexo C2. Cotización de materiales.

## HOJA DE COTIZACIÓN

DIRECCIÓN: \_\_\_\_\_  
 TELÉFONOS: \_\_\_\_\_  
 CORREO: \_\_\_\_\_  
 SITIO WEB: \_\_\_\_\_  
 RESP. VENTAS: \_\_\_\_\_

FECHA: 07/07/2021  
 VÁLIDO HASTA: 8 días

## DATOS DEL CLIENTE

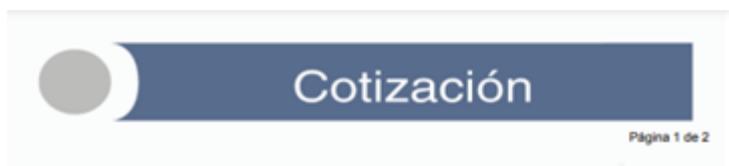
CLIENTE: \_\_\_\_\_  
 ATENCIÓN: \_\_\_\_\_  
 CORREO: \_\_\_\_\_

CANT.	DESCRIPCIÓN	P. UNITARIO	TOTAL
1	Platina de 1 1/4" x 3/16" x 6 m de largo de acero inoxidable AISI 304	\$ 75.00	\$ 75.00
1	Lámina de 3 mm 4 x 8 pies ed acero inoxidable AISI 304 2B sin pulir sin forro	\$ 295.00	\$ 295.00
1	Angulo de 1 1/2" x 3/16" x 6 m de largo de acero inoxidable AISI 304	\$ 96.00	\$ 96.00
1	varilla redonda de 3/4" x 6 m de largo de acero inoxidable AISI 304	\$ 85.00	\$ 85.00
			\$ -
			\$ -
			\$ -
			\$ -
			\$ -
<b>TÉRMINOS Y CONDICIONES</b>		<b>TOTAL</b>	<b>\$ 551.00</b>

*Esta cotización está sujeta a los términos y condiciones que se enuncian a continuación:*

1. Precio con IVA incluido.
2. Medianos contribuyentes.
3. Puede hacer su pago en efectivo, cheque o transferencia bancaria.
4. Material sujeto a existencia.

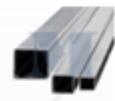
## Anexo C3. Cotización de materiales.



COTIZACION M 124002

**CODIGO:** 45381  
**CLIENTE:**  
**SOLICITO:**  
**TELEFONO:**  
**EMAIL:**  
**DIRECCION:**  
**OBSERVACIONES:**

**FECHA:** 07/07/2021  
**FORMA DE PAGO:** CONTADO  
**DOCUMENTO:** CREDITO FISCAL  
**VENDEDOR:** OFICINA  
**NIT:**

	CANT.	CODIGO	ITEM	P. UNIT.	AFFECTO
	1.00	TINC-021	TUBO SS304 CUADRADA 40X40X2.0 X 6 MTS (PZA)	67.45	67.45
	1.00	AI-01	ANGULAR INOXIDABLE DE 1.1/2"X1/8" X 6 MT	54.86	54.86
	1.00	BAI-0049	BARRA DE ACERO INOX DE 7/8" X 6MTS DE L	90.50	90.50
	1.00	PAI-0005	PLATINA INOX 1.1/2"X1/4" X 6MTS DE L	70.81	70.81

## Anexo C4. Cotización de materiales.

SOLUCIONES LOGISTICAS DE INGENIERIA

NU

TEL :

FAX :

THU, JULY 1, 2021

FROM:

**EQUIPMENT PROPOSAL NO. 982603**

QTY	DESCRIPTION	PRICE
1	<p><b>UNIVERSAL R310 SEMI AUTO WRAP LABELER</b></p> <p>Containers are placed horizontally on rollers and the applicator is activated by a foot or hand switch. Rollers turn the container as the label is dispensed and applied to the container.</p> <p>-Stepper Driven.            -Single or Front &amp; Back Labeling.            -Handles round containers from 3/8" to 6" in diameter.            -Label size: up to 6-3/4" wide web.            -Label Specification: 5/8" minimum length die cut with 1/8" spacing on a 12" outer diameter roll (max) with a 3" inner core.</p> <p><b>Options (at additional cost):</b>            -Hot stamp coder (quoted separately)            -Clear label sensor with mounting bracket            -Additional product carriage starting at \$800</p> <p><b>Dimensions:</b> 18" W x 32" L x 25 1/4" H</p> <p><b>Utility requirements:</b>            Electric: 110 VAC / 3 Amps            Air: 3 cfm @ 20 psi</p>	<p>\$6,100.00</p> <p><u>\$6,100</u></p>
<b>TOTAL COST :</b>		<b>\$28,790.00</b>