

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
Facultad de Ingeniería




Planta para reciclaje de plástico

Trabajo de graduación en modalidad de megaproyecto  
presentado por  
Gustavo Lemus Ceballos  
José Andrés Villafuerte Guzmán  
para optar el grado académico de Licenciados en Ingeniería Mecánica

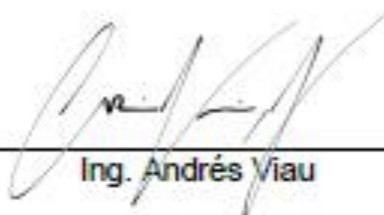
Guatemala,  
2019





Vo.Bo.:

(F)   
Ing. Andrés Viau

Tribunal:

(F)   
Ing. Andrés Viau

  
(F)   
Ing. Víctor Hugo Ayerdi

  
(F)   
Ing. Rony Herrarte

Fecha de aprobación: 4 diciembre 2019



# ÍNDICE

ÍNDICE .....	iii
LISTADO DE CUADROS .....	vii
LISTADO DE FIGURAS .....	viii
RESUMEN.....	xi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS.....	2
A. Objetivo general Ingeniería de sistemas .....	2
B. Objetivo general estructura de extrusora .....	2
C. Objetivos específicos Ingeniería de sistemas .....	2
D. Objetivos específicos estructura de extrusora .....	3
III. JUSTIFICACIÓN.....	4
IV. MARCO TEÓRICO .....	5
A. Ingeniería de sistemas .....	5
1. Ingeniería de sistemas y su diferencia con otras disciplinas de ingeniería tradicionales .....	6
2. Ciclo de vida del sistema .....	6
3. Metodología de ciclo de vida para la Ingeniería de sistemas .....	7
4. Manejo de riesgos en la Ingeniería de sistemas .....	9
5. Requerimientos del sistema .....	10
6. Verificación y validación de requerimientos .....	11
B. Sistema eléctrico .....	12
1. Según el tipo de corriente o voltaje.....	12
2. Los tres tipos de cargas eléctricas .....	12
3. Motores eléctricos.....	13
4. Tipos de instrumentación de una extrusora.....	16
5. Controladores de temperatura .....	19
6. Calibre de cable .....	21
C. Sistema de transmisión de potencia .....	22
1. Sistemas de transmisión por cadenas .....	22
2. Sistemas de transmisión por caja reductora .....	23

3.	Acoples .....	26
D.	Componentes principales de una extrusora de plástico.....	27
1.	Husillo extrusor.....	27
2.	Cilindro de calefacción .....	28
3.	Garganta de alimentación y tolva.....	28
E.	Vibraciones.....	31
1.	Equipo de análisis de vibraciones .....	31
2.	Tablas de Charlotte .....	33
F.	Transferencia de calor .....	33
1.	Cálculo por resistencias térmicas .....	33
2.	Radio crítico de aislamiento.....	36
G.	ANSYS: fluent flow y fluidos no newtonianos.....	37
1.	Análisis Ansys: <i>fluent flow</i> .....	37
2.	Fluidos no newtonianos .....	42
V.	METODOLOGÍA .....	44
A.	Elaboración de matriz de requerimientos.....	44
B.	Análisis financiero .....	44
C.	Elaboración de matriz de verificación y validación .....	45
D.	Requerimientos de sistema eléctrico.....	46
E.	Requerimientos de sistema de transmisión de potencia.....	46
F.	Diseño de componentes estructurales .....	47
1.	Diseño y selección de materiales para estructura.....	47
2.	Diseño de tolva y selección de material .....	50
G.	Análisis en programa .....	53
1.	Análisis estructural .....	53
2.	Análisis de vibraciones .....	58
3.	Análisis térmico .....	58
H.	Construcción de estructura y selección de uniones .....	61
1.	Construcción de tolva .....	61
2.	Construcción de soporte de cilindro de calefacción.....	64
3.	Selección de elementos de sujeción .....	66
VI.	RESULTADOS Y ANÁLISIS .....	67
A.	Matriz de requerimientos .....	67

1.	Requerimientos funcionales .....	67
2.	Requerimientos operacionales .....	68
3.	Limitantes .....	69
B.	Análisis financiero .....	70
A.	Matriz de verificación y validación .....	71
1.	Verificación y validación de revisión de diseño y examinación .....	71
2.	Verificación y validación de análisis .....	75
B.	Sistema eléctrico .....	78
C.	Sistema de transmisión de potencia .....	82
D.	Elementos de sujeción .....	84
E.	Esfuerzo, deformación y factor de seguridad .....	86
F.	Frecuencia natural y análisis de vibraciones .....	88
G.	Análisis termal .....	89
VII.	CONCLUSIONES.....	94
VIII.	RECOMENDACIONES .....	96
IX.	REFERENCIAS .....	100
X.	ANEXOS.....	102
	Anexo 1. Detalle de los gastos realizados durante la elaboración de la maquinaria.....	103
	Anexo 2. Diseño de sistema eléctrico.....	104
	Anexo 3. Ficha técnica de motor WEG 3 hp.....	105
	Anexo 4. Ficha técnica de variador de frecuencia Schneider .....	106
	Anexo 5. Cálculo de garganta de alimentación y tolva .....	107
	Anexo 6. Cálculo de transferencia de calor .....	108
	Anexo 7. Manual de usuario.....	1
	Créditos .....	2
	Prefacio .....	2
	Sección 1. Especificaciones y componentes de la máquina extrusora.....	3
	Partes de la máquina extrusora .....	4
	Especificaciones técnicas .....	5
	Sección 2. Normas de seguridad .....	6
	Clasificación de pictogramas.....	6
	Normas generales de seguridad .....	8
	Normas de seguridad para estructura y tolva.....	9

Inspección de seguridad de sistema de transmisión de potencia .....	10
Normas de uso y seguridad del sistema de extrusión .....	12
Sección 3. Operación.....	12
Instrucciones de operación .....	12
Sección 4. Mantenimiento .....	17
Mantenimiento del sistema de transmisión de potencia .....	17
Solución de problemas .....	18
Anexo 8. Manual de pruebas .....	1
Introducción .....	2
Medidas de seguridad generales .....	3
Prueba de transmisión de potencia y vibraciones .....	4
Prueba de condiciones de operación: temperatura.....	7
Prueba de condiciones de operación: caudal .....	9
Anexo 9. Planos y estrategias en HSM.....	1

## LISTADO DE CUADROS

Cuadro 1. Comparación entre motores AC Y DC .....	13
Cuadro 2. Comparación entre motores monofásicos y trifásicos .....	14
Cuadro 3. Frecuencia máxima según montaje .....	32
Cuadro 4. Datos experimentales para el modelo <i>Power law</i> .....	43
Cuadro 5. Costo de energía mensual .....	45
Cuadro 6. Listado de costos máquina extrusora .....	45
Cuadro 7. Requisitos módulo estructura .....	47
Cuadro 8. Valores de diagrama de cuerpo libre .....	55
Cuadro 9. Configuración <i>static structural</i> .....	56
Cuadro 10. Configuración <i>fluent flow</i> .....	60
Cuadro 11. Requerimientos funcionales de la máquina extrusora .....	67
Cuadro 12. Requerimientos operacionales de la máquina extrusora .....	68
Cuadro 13. Limitantes de la máquina extrusora .....	69
Cuadro 14. Análisis financiero máquina extrusora (caso favorable) .....	70
Cuadro 15. Análisis financiero máquina extrusora (caso desfavorable) .....	70
Cuadro 16. Matriz de verificación y validación de diseño y examinación .....	71
Cuadro 17. Capacidad de extrusión FSE-02 .....	75
Cuadro 18. Capacidad de carga de la estructura FEET-01 y LEET-01 .....	75
Cuadro 19. Análisis de vibraciones de la estructura FEET-02 .....	76
Cuadro 20. Recuperación de inversión LT-04 .....	76
Cuadro 21. Cargas en sistema de extrusión LSE-01 .....	77
Cuadro 22. Análisis de transferencia de calor FEET-04 .....	77
Cuadro 23. Elementos del sistema eléctrico .....	78
Cuadro 24. Elementos de sujeción utilizados .....	84
Cuadro 25. Comparación entre resistencias eléctricas de 200 watts y 300 watts con aislante .....	89
Cuadro 26. Comparación entre uso de aislante con resistencias eléctricas de 300 watts .....	89
Cuadro 27. Medidas de garganta de alimentación .....	107
Cuadro 28. Volumen de tolva según el tiempo de operación .....	107
Cuadro 29. Medidas de tolva .....	107



## LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. La Ingeniería de sistemas como una administración de tecnología .....	5
Figura 2. Posible modelo de ciclo de vida de un sistema .....	6
Figura 3. Metodología de la Ingeniería de sistemas .....	7
Figura 4. Metodología de la Ingeniería de sistemas. ....	8
Figura 5. Variación de riesgo programado del sistema. ....	9
Figura 6. Ejemplo de una matriz de probabilidad de riesgo .....	10
Figura 7. Diferencia entre los tres tipos de cargas eléctricas. ....	13
Figura 8. Convertidor trifásico estático. ....	15
Figura 9. Convertidor trifásico rotativo. ....	15
Figura 10. Convertidor trifásico digital. ....	15
Figura 11. Variador de frecuencia VFD. ....	16
Figura 12. Transductor de medición extensométrica. ....	17
Figura 13. Comparación entre los transductores de presión. ....	17
Figura 14. Rangos de temperatura para diferentes termocuplas. ....	18
Figura 15. Temperatura y potencia contra el tiempo en control ON-OFF. ....	19
Figura 16. Temperatura y potencia contra el tiempo en control proporcional. ....	20
Figura 17. Temperatura y potencia contra el tiempo en control proporcional. ....	20
Figura 18. Resistencia calefactora de tipo abrazadera. ....	21
Figura 19. Amperaje soportado por calibre del cable AWG. ....	21
Figura 20. Sistema de transmisión por cadenas. ....	22
Figura 21. Caja reductora de tornillos .....	23
Figura 22. Caja reductora helicoidal .....	24
Figura 23. Rango de relaciones y rango de eficiencias de cajas reductoras. ....	25
Figura 24. Tipos de desalineamiento: (A) angular, (B) paralelo, (C) eje flotante. ....	26
Figura 25. Husillo extrusor de plástico. ....	27
Figura 16. Etapas de tornillo extrusor .....	27
Figura 27. Husillo extrusor con cilindro de calefacción .....	28
Figura 28. Garganta de alimentación. ....	29
Figura 29. Flujo del material sólido en una tolva .....	29
Figura 30. Medidas para dimensionamiento de tolva .....	30
Figura 31. Equipo de medición de vibraciones .....	31
Figura 32. Ejemplo de espectro de vibraciones .....	31
Figura 33. Tipos de montajes de sensores de aceleración .....	32
Figura 34. Analogía entre los conceptos de resistencias térmicas y eléctricas .....	33
Figura 35. Red de resistencias térmicas para dos capas .....	34
Figura 36. Red de resistencias térmicas para capas paralelas .....	35
Figura 37. Variación de transferencia de calor .....	36
Figura 38. Menú de configuración preanálisis .....	37
Figura 39. Setting up domain .....	38
Figura 40. Revisión de mallado .....	38
Figura 41. Setting up physics .....	39
Figura 42. Tipos de modelos de solución .....	39
Figura 43. Configuración de solidificación y fundición .....	40

Figura 44. Configuración de materiales .....	40
Figura 45. Tipos de condiciones.....	41
Figura 46. Configuración termal de <i>Wall</i> .....	41
Figura 47. Métodos de solución .....	42
Figura 28. Modelo <i>power law</i> ANSYS .....	43
Figura 49. Estructura .....	48
Figura 50. Sistema de soporte .....	49
Figura 51. Perfil de aluminio.....	49
Figura 52. Soporte de acople.....	50
Figura 53. Volumen de plástico.....	50
Figura 54. Peso de plástico.....	51
Figura 55. Diseño de tolva .....	52
Figura 56. Mecanismo corredero para reducción de flujo .....	52
Figura 57. Pieza de soporte de tolva.....	53
Figura 58. Estructura con soporte y mecanismo de tolva .....	53
Figura 59. Diagrama de cuerpo libre .....	56
Figura 60. Mallado de extrusora.....	57
Figura 61. Calidad del mallado análisis estructural y modal .....	57
Figura 62. Mallado de componentes térmicos.....	59
Figura 63. Calidad de mallado de componentes térmicos .....	59
Figura 64. Corte con plasma de tolva .....	62
Figura 65. Reducción de filos.....	62
Figura 66. Mecanismo de doblado de tolva.....	63
Figura 67. Tolva .....	63
Figura 68. Colocación inicial de pieza .....	64
Figura 69. Segunda sección maquinada .....	65
Figura 70. Segunda colocación de pieza .....	65
Figura 71. Soporte de cilindro de calefacción .....	66
Figura 72. Verificación de requerimiento FSE-03 .....	73
Figura 73. Verificación de requerimiento OISE-04 .....	73
Figura 74. Verificación de requerimientos LT-01 y LT-02.....	74
Figura 75. Verificación de requerimiento OTE-03.....	74
Figura 76. Análisis de ANSYS de la capacidad de carga de la estructura.....	76
Figura 77. Análisis de vibraciones de la estructura. ....	76
Figura 78. Espectro de temperatura para el flujo de plástico.....	78
Figura 79. Motor monofásico WEG W22 de 3 HP .....	79
Figura 80. Resistencias eléctricas .....	80
Figura 81. Motor trifásico 3hp WEG .....	80
Figura 82. Variador de frecuencia .....	81
Figura 83. Panel eléctrico .....	81
Figura 84. Señalización panel eléctrico .....	82
Figura 85. Máxima potencia instalable por número de carcasa.....	83
Figura 86. Caja Reductora <i>Bonfiglioli</i> , relación 31.4:1 .....	83
Figura 87. Acople reductor-husillo de extrusión .....	84
Figura 88. Deformación total en estructura .....	86
Figura 89. Esfuerzo von Mises en estructura .....	87

Figura 90. Esfuerzo máximo von Mises .....	87
Figura 91. Factor de seguridad de estructura.....	88
Figura 92. Frecuencias naturales de estructura.....	88
Figura 93. Gráfica de frecuencias naturales .....	89
Figura 94. Espectro de temperatura de aislante .....	90
Figura 95. Espectro de temperatura de resistencias.....	90
Figura 96. Espectro de temperatura de camisa .....	91
Figura 97. Espectro de temperatura de flujo de plástico .....	92
Figura 98. Espectro de temperatura de salida de flujo de plástico .....	92
Figura 99. Temperatura configurada para resistencias eléctricas .....	92
Figura 100. Primer sistema de soporte para camisa .....	109



## RESUMEN

El proyecto tenía como finalidad el diseño y construcción de la estructura, además de la implementación de la ingeniería de sistemas para el desarrollo de una máquina extrusora que formará parte de una planta de reciclaje de plástico de la organización *Precious Plastic* Guatemala (PPGT). Para lograr este objetivo se colabora con dos trabajos de graduación adicionales, que tienen a su cargo módulos específicos para lograr la habilitación de dichas máquinas. Para realizar este proyecto se definieron con PPGT los requerimientos de operación, los plásticos con los que se trabajará y el tipo de máquinas necesarias para procesar los plásticos. Según la investigación y la definición de requerimientos, se diseñaron y construyeron las máquinas indicadas.

Luego se realizó el análisis de esfuerzos, vibraciones y transferencia de calor, para finalmente construir la estructura de dicha máquina según el diseño propuesto. Se obtuvo una estructura capaz de soportar las cargas a las cuales estarán sujetas durante la operación de las máquinas y un sistema de calefacción que ayude a extruir polímeros a temperaturas mayores de 200° C.

Posteriormente con el requerimiento de potencia para la máquina extrusora y el requerimiento de transferencia de calor para derretir el plástico en la extrusora, proporcionados por otros módulos, se seleccionó el sistema de transmisión de potencia y se diseñó e implementó el sistema eléctrico necesario para cumplir con los requerimientos. Luego se realizó un análisis financiero del proyecto aprobado por la organización. Después se supervisó la implementación del proyecto por medio de una matriz de verificación y validación de los requerimientos de sistema para la máquina extrusora.

Se concluyó el proyecto con la elaboración de una máquina extrusora que cumpliera con los requerimientos funcionales, operacionales y limitantes establecidos. Y con la elaboración y entrega de un manual de operación y mantenimiento para el usuario.



# I. INTRODUCCIÓN

Este proyecto consiste en el diseño, la elaboración y la operación de una máquina extrusora de plástico para el grupo *Precious Plastic* Guatemala (PPGT). La razón por la cual se realiza este proyecto es crear un proceso de reciclaje de plástico seguro y rápido para dicho centro de acopio. En el proyecto se incluyó el módulo de ingeniería de sistemas junto al submódulo del sistema eléctrico y el módulo estructura de extrusora. El módulo de ingeniería de sistemas es el encargado de asegurarse que los módulos del proyecto tengan una integración exitosa por medio de la elaboración, verificación y validación de los requerimientos ya sean funcionales, operacionales o limitantes. Para poder cumplir con los objetivos del módulo de ingeniería de sistemas se elabora la matriz de requerimientos funcionales, operacionales y limitantes; con la colaboración de los otros módulos del proyecto, y se monitorean constantemente. La ingeniería de sistemas se encarga de elaborar los distintos métodos y pruebas para la verificación de los requerimientos establecidos, estas se ejecutan para coordinar la integración exitosa de los módulos del proyecto, y se realizan reuniones de trabajo para supervisar estos métodos y pruebas donde se verifica si las condiciones de funcionamiento y operación de la máquina extrusora es la correcta y se discute acerca de los resultados de estas pruebas y métodos para determinar si se validaban o no los requerimientos. Esto se hace para que se logre un trabajo más integrado, eficaz, calificado y enfocado en los objetivos generales del proyecto.

El submódulo del sistema eléctrico es el encargado de proveer una fuente de energía mecánica y térmica para la máquina extrusora, cumpliendo los requerimientos de potencia y velocidad angular proporcionados por el módulo de sistema de extrusión, así como, el requerimiento de transferencia de calor proporcionado por el módulo de estructura de extrusora. Para este submódulo también se debe tomar en cuenta el tipo de instalación eléctrica y las limitaciones de espacio que posee la oficina del grupo PPGT. Dicho submódulo se elaboró e implementó para proveer al menos 2 hp de potencia al husillo extrusor con una velocidad angular de entre 15-20 RPM con la disponibilidad de poder variarlo en tiempo real. El sistema eléctrico también es capaz de proveer 1200 Watts a la camisa del husillo extrusor y 500 Watts a la matriz de extrusión. Este sistema es alimentado con una fuente monofásica de 240 voltios, consume una corriente menor a 60 amperios y cuenta con dispositivos de seguridad que evitan que el usuario sufra lesiones por la manipulación de este.

Mientras que el módulo de estructura de extrusora se enfoca principalmente en el diseño y manufactura de la estructura a modo que cumpla con los requisitos operacionales y dimensiones proporcionadas por el centro de acopio. Además de la estructura, dicho modulo se encargó de diseñar el soporte para los elementos que conforman la extrusora. Para ello se llevará acabo diseños tridimensionales de la estructura y soportes, análisis correspondientes para validación de diseño, planos y manufactura de ambos elementos. Para realizar las tareas mencionadas se utilizará el programa *Autodesk Inventor 2018*. Este programa se utilizará tanto para la elaboración del diseño como realización de planos. Asimismo, se utilizará el *software ANSYS Workbench 18.2* para la elaboración de análisis de esfuerzos, vibraciones y transferencia de calor. En cuanto a la manufactura, se utilizaron distintas técnicas y equipos como la fresadora CNC, torno convencional, soldadura con arco metálico protegido y corte por medio de cortadora plasma.

Este módulo también se encarga de análisis y selección de sistema de calefacción para la fundición de plástico. Por lo que se realizó un análisis de transferencia de calor y por medio del *software ANSYS Workbench 18.2* validar dicho análisis.



## II. OBJETIVOS

### A. Objetivo general Ingeniería de sistemas

1. Asegurar una integración exitosa de los diferentes módulos que componen las máquinas que se están fabricando para *Precious Plastic* Guatemala (PPGT) a través de la ingeniería de sistemas.
2. Diseñar e implementar el sistema de eléctrico más adecuado para el funcionamiento de la extrusora y seleccionar el correspondiente sistema de transmisión de potencia.

### B. Objetivo general estructura de extrusora

1. Diseñar y construir una estructura capaz de soportar las cargas y temperaturas a las cuales estará sometida por los elementos que conforman la extrusora.
2. Realizar un análisis de transferencia de calor para determinar el flujo de calor necesario para fundir el plástico derretido.

### C. Objetivos específicos Ingeniería de sistemas

1. Establecer los requerimientos funcionales para la elaboración de la máquina extrusora.
2. Establecer los requerimientos operacionales para la elaboración de la máquina extrusora.
3. Establecer las limitantes para la elaboración de la máquina extrusora.
4. Elaborar un análisis financiero que permita conocer la viabilidad económica del proyecto y el impacto que puede tener en el grupo PPGT.
5. Crear un manual de usuario para la correcta operación y mantenimiento de la extrusora.
6. Validar el cumplimiento de todos los requerimientos.
7. Implementar los componentes eléctricos que cumplan con los requerimientos de potencia suministrados por el módulo de Sistema de extrusión y los requerimientos de transferencia de calor proporcionados por el módulo de estructura.
8. Seleccionar el sistema de transmisión de potencia que cumpla con los requerimientos de velocidad angular suministrados por el módulo de Sistema de extrusión.

## D. Objetivos específicos estructura de extrusora

1. Establecer los requisitos de operación necesarios para realizar la estructura de la extrusora.
2. Seleccionar los materiales con los que se realizará la estructura de la extrusora.
3. Seleccionar los tipos de uniones adecuadas para ensamblar la estructura.
4. Efectuar un análisis de fuerzas para determinar los tipos de esfuerzos a los que estará sometida la estructura de la extrusora.
5. Realizar pruebas para que la extrusora sea capaz de soportar las vibraciones a las que será sometida.
6. Elaborar planos de construcción para la estructura de extrusora.
7. Determinar tipo y cantidad de resistencias necesarias para fundir el plástico.

### III. JUSTIFICACIÓN

La organización PPGT funciona como un centro de acopio donde personas particulares pueden depositar sus desechos plásticos. La cantidad de plástico recolectado asciende aproximadamente a 10 kg semanales, según datos de la organización para el año 2019. Entre los diversos tipos de plásticos recolectados, los que PPGT requiere procesar con las máquinas es polipropileno (PP) y polietileno de alta densidad (HDPE). La problemática de la organización *Precious Plastic* Guatemala radica en que no tienen establecido un proceso de reciclaje donde puedan procesar los plásticos que recolectan, y al mismo tiempo, hacer de esta una actividad rentable.

La elaboración de este proyecto involucra varios módulos por lo que es necesario un sistema para guiar la administración de este. En estas situaciones se hace necesario el ingeniero de sistemas que tiene como finalidad establecer los requisitos fundamentales del proyecto, para que cada módulo trabaje bajo los mismos lineamientos y se garantice la compatibilidad entre los mismos durante la etapa de integración. Otra responsabilidad del ingeniero de sistemas es la verificación y validación del cumplimiento de todos los objetivos planteados.

Por otro lado, la maquinaria de extrusión debe contar con un sistema de transmisión de potencia para suministrar el torque requerido por el husillo extrusor con una velocidad angular adecuada para cumplir la tarea de extruir plástico. Por lo tanto, la selección e implementación de un sistema de transmisión de potencia correcto para una máquina extrusora es fundamental porque proporciona las condiciones operacionales que permite el funcionamiento correcto de esta. Estas condiciones operacionales serán definidas por el módulo de sistema de extrusión.

La maquinaria de extrusión debe de contar con un sistema eléctrico, el cual debe cumplir con diversos requerimientos eléctricos. Alguno de los requerimientos importantes es, funcionar con las disposiciones eléctricas del centro de trabajo de PPGT. Otro requerimiento necesario es inducir la potencia necesaria para la máquina extrusora suministre la transferencia de calor necesario para calentar el plástico hasta el punto de fusión, para que estos puedan ser extruidos. Para ello se realizará un análisis de transferencia de calor, que determinará el flujo de calor necesario para fundir el plástico triturado y por lo tanto determinar tipo y cantidad de resistencias necesarias para realizar dicha acción. Además del requerimiento para proporcionar medidas de seguridad para el usuario al utilizar la maquinaria. Estos requerimientos serán definidos por el módulo de sistema de extrusión y el módulo de estructura de extrusora.

Además, el módulo de estructura de extrusora realizará, un sistema de soporte capaz de sostener los elementos que conforman la máquina extrusora, dicho sistema incluye la estructura y la selección de tipos de uniones. Para ello se realizó un análisis de fuerzas para corroborar si el sistema de soporte diseñado es capaz de soportar los esfuerzos a los que estará sometida la estructura de la extrusora. También se realizará un análisis de vibraciones, el cual se encarga de analizar los elementos antes mencionados y poder definir si la máquina presenta alguna falla o es capaz de soportar las acciones de los elementos rotativos.



## IV. MARCO TEÓRICO

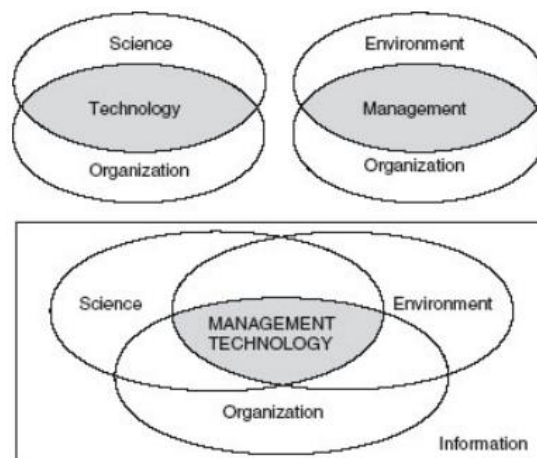
### A. Ingeniería de sistemas

La principal función de la Ingeniería de sistemas es la de guiar la Ingeniería de sistemas complejos, y para esto se debe de aplicar de conocimientos científicos para el diseño, construcción y operación de sistemas eficientes y económicos.

La Ingeniería de sistemas es una administración de tecnología. Siendo la tecnología la organización, aplicación y entrega de conocimientos científicos y de otro tipo para la mejora de un cliente. Y la administración, la interacción de la organización con el ambiente, un propósito de la gestión es permitir a las organizaciones hacer frente a sus entornos para alcanzar metas y objetivos.

Consecuentemente, una administración de tecnología envuelve la interacción de tecnologías, las organizaciones y el ambiente; la información es el pegamento que permite la interacción entre estos elementos. Por lo tanto, se puede definir la ingeniería de sistemas como: La administración de tecnología que controla un proceso de ciclo de vida total del sistema; que involucra y resulta en la definición, desarrollo y despliegue de un sistema de alta calidad, confiable y rentable para satisfacer las necesidades de los usuarios. (Sage & Rouse, 2009)

Figura 1. La Ingeniería de sistemas como una administración de tecnología



Fuente: (Sage & Rouse, 2009)

En la Ingeniería de sistemas hay transgresiones que como ingeniero de sistemas se recomienda evitar:

- Dependencia excesiva de un método de análisis, herramienta o tecnología específica.
- Desarrollar e implementar soluciones solo a problemas que presentan “síntomas”.
- Falla en desarrollar y aplicar metodologías apropiadas para la resolución de problemas.
- Fallar en involucrar al cliente en el desarrollo de soluciones alternativas de los problemas.
- No identificar un conjunto robusto de opciones o alternativas que funcionen como rutas de acción.
- Hay una falla en no identificar riesgos asociados con el costo-beneficio o eficiencia del sistema adquirido o producido.
- Diseñar o implementar el sistema sin tomar en cuenta el impacto en los usuarios de este.
- No se abordan los problemas de calidad y sostenibilidad de manera integral en todas las fases del ciclo de vida, especialmente en términos de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad.

## 1. Ingeniería de sistemas y su diferencia con otras disciplinas de ingeniería tradicionales

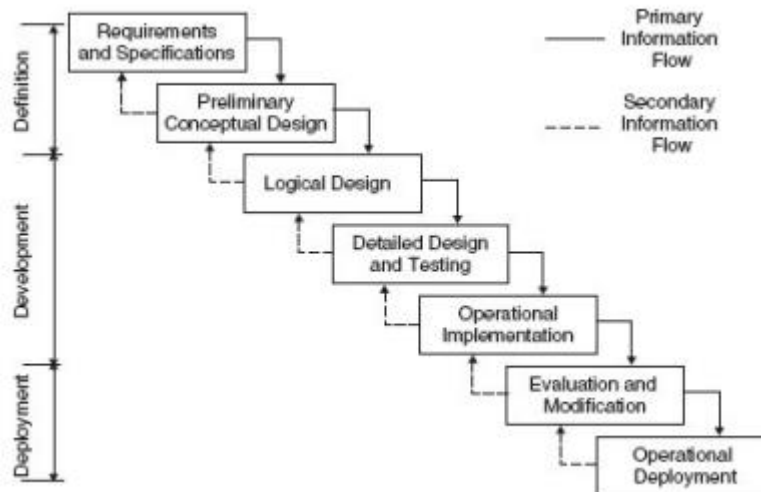
La Ingeniería de sistemas se diferencia en varios aspectos importantes con otros tipos de ingeniería como: la mecánica, la eléctrica, la química. Estas diferencias son:

- La Ingeniería de sistemas entiende el sistema como un conjunto; se encarga de la operación total. Observa al sistema desde el exterior, es decir, sus interacciones con otros sistemas y el ambiente, así como lo observa desde el interior. Se preocupa no solo por el diseño del sistema, sino que, por factores externos, que pueden impactar significativamente al sistema. Esto incluye la identificación de las necesidades del cliente, la operación del sistema, la interfaz de subsistemas, la logística de los requerimientos, las capacidades del personal de operación, entre otros factores que deben de ir correctamente reflejados en documentación.
- Aunque el propósito primario del ingeniero de sistemas sea el de guiar, eso no quiere decir que no tenga un rol significativo en el diseño del sistema. Al contrario, es el responsable principal en que el desarrollo del concepto del sistema refleje en un diseño funcional para cumplir con las necesidades del usuario.

## 2. Ciclo de vida del sistema

El término ciclo de vida del sistema se usa comúnmente para referirse a la evolución gradual de un nuevo sistema desde el concepto hasta el desarrollo, producción, operación y disposición final. A medida que el tipo de trabajo evoluciona desde el análisis en las primeras fases conceptuales hasta la producción y el uso operativo, el rol de la ingeniería de sistemas cambia en consecuencia. (Kossiakof, Seymour, & Sweet, 2011)

Figura 2. Posible modelo de ciclo de vida de un sistema



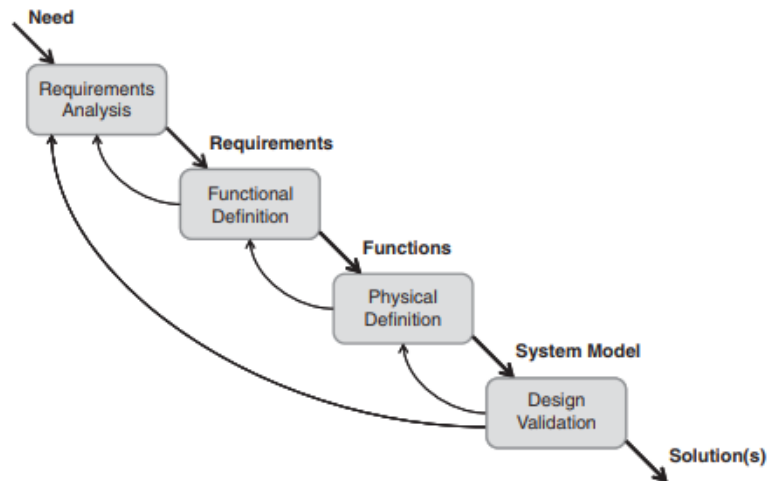
Fuente: (Sage & Rouse, 2009)

Estas fases del ciclo de vida siempre presentan una secuencia iterativa.

### 3. Metodología de ciclo de vida para la Ingeniería de sistemas

La metodología de la Ingeniería de sistemas se puede definir como la aplicación sistemática del método científico para la ingeniería de sistemas complejos. Usualmente está compuesta de cuatro actividades básicas aplicadas sucesivamente: análisis de requerimientos, definición de la funcionalidad del sistema, definición física del sistema y validación del diseño. (Kossiakof, Seymour, & Sweet, 2011)

Figura 3. Metodología de la Ingeniería de sistemas



Fuente: (Kossiakof, Seymour, & Sweet, 2011)

**Análisis de requerimientos (definición del problema):** Para intentar resolver un problema, de primero es necesario comprender exactamente lo que es dado, y en la medida en que parezca incompleto, inconsistente o poco realista; para realizar las correcciones adecuadas. Esto es esencial en el desarrollo de un sistema, en donde el ingeniero de sistema debe verificar las suposiciones importantes del problema antes de ser aceptadas como válidas. En este punto es donde el rol del ingeniero de sistemas es más esencial ya que el entendimiento del ambiente operacional y el conocimiento de las tecnologías disponibles son la más críticas. Algunas de las actividades típicas de esta fase incluyen:

- Montaje y organización de todas las condiciones iniciales; incluyendo requerimientos, planes y modelos del problema.
- Organizar los requerimientos por tipo; los cuales pueden ser: funcionales, operacionales o limitantes.
- Aclarar los requerimientos de que debe hacer el sistema, que tan bien debe hacerlo y que restricciones tiene para hacerlo.
- Corregir errores y medir los requerimientos cada vez que sea posible.

**Definición de funcionalidad del sistema:** En la metodología de la Ingeniería de sistemas, el diseño de la funcionalidad precede al diseño físico del producto para asegurarse de tener un acercamiento adecuado de las funciones y la selección de la implementación que mejor equilibra las características deseadas del sistema. Algunas de las actividades típicas de esta fase incluyen:

- Trasladar los requerimientos en acciones y tareas que el sistema debe satisfacer.
- Fraccionar los requerimientos en bloques más manejables, para facilitar la construcción.
- Definir las interacciones entre los elementos para poder trabajar a base de módulos.

**Definición física del sistema:** Es la traducción del diseño funcional ha componentes físicos, y la integración de esos componentes en la totalidad del sistema. Es importante que durante la selección del diseño

físico no se descarte ninguna de las alternativas que se hayan considerado antes, y para seleccionarlo se debe de establecer un criterio de evaluación, el cual debe ser cuantificable. Algunas de las actividades típicas de esta fase incluyen:

- Sintetizar las diferentes posibilidades de diseño.
- Seleccionar el acercamiento preferido por medio de criterios cuantificables predefinidos (obtener el mejor balance entre rendimiento, riesgo, costo, cronograma, etc.)
- Elaborar el diseño al nivel necesario de detalle.

Validación de diseño: En el desarrollo de un sistema complejo, aunque parezca que los requerimientos se estén cumpliendo en todos los pasos de diseño, es necesario realizar una validación explícita del diseño antes de pasar a la siguiente fase de diseño. Se debe iterar lo necesario hasta que el sistema cumpla con todos los requerimientos. (Kossiakof, Seymour, & Sweet, 2011)

Figura 4. Metodología de la Ingeniería de sistemas.

Step	Phase					
	Concept development			Engineering development		
	Needs analysis	Concept exploration	Concept definition	Advanced development	Engineering design	Integration and evaluation
Requirements analysis	Analyze needs	Analyze operational requirements	Analyze performance requirements	Analyze functional requirements	Analyze design requirements	Analyze tests and evaluation requirements
Functional definition	Define system objectives	Define subsystem functions	Develop functional architecture component functions	Refine functional architecture subcomponent functions <sup>140</sup>	Define part functions	Define functional tests
Physical definition	Define system capabilities; visualize subsystems, ID technology	Define system concepts, visualize components	Develop physical architecture components	Refine physical architecture; specify component construction	Specify subcomponent construction	Define physical tests; specify test equipment and facilities
Design validation	Validate needs and feasibility	Validate operational requirements	Evaluate system capabilities	Test and evaluate critical subsystems	Validate component construction	Test and evaluate system

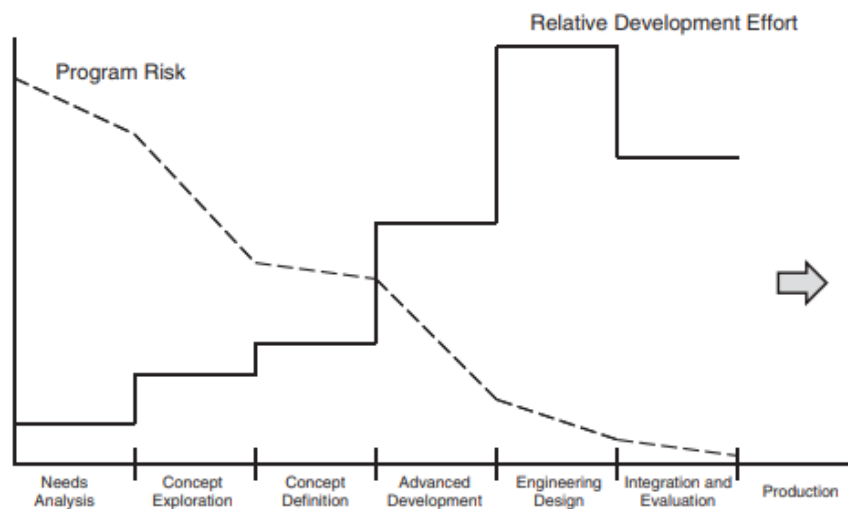
Fuente: (Kossiakof, Seymour, & Sweet, 2011)

#### 4. Manejo de riesgos en la Ingeniería de sistemas

El desarrollo de un nuevo sistema complejo requiere por naturaleza la adquisición de conocimiento acerca de dispositivos y procesos avanzados, pero no completamente desarrollados para guiar el diseño del sistema a un producto que tenga un buen rendimiento a un costo asequible. Sin embargo, en cada paso el proceso se puede encontrar con resultados impredecibles que suponen riesgos en forma de caídas de rendimiento, susceptibilidad ambiental, problemas de producción o cualquier otra consecuencia inaceptable que requiere de un cambio en el curso del sistema que afectará el cronograma y el costo previstos. Uno de los retos más grandes de un Ingeniero de Sistemas es minimizar la cantidad de riesgo mientras obtiene los mejores resultados posibles.

La Figura 5 muestra como el riesgo programado de un sistema disminuye mientras se avanza en las fases del ciclo de vida del sistema.

Figura 5. Variación de riesgo programado del sistema.



Fuente: (Kossiakof, Seymour, & Sweet, 2011)

Probabilidad de riesgo: Hay demasiadas incertidumbres para poder calcular un valor numérico para la probabilidad de que se logre un objetivo específico de un programa, por lo tanto, se intenta de cuantificar los riesgos con una medida relativamente aproximada que permita determinar la priorización relativa de cada riesgo, clasificándolos en: riesgo alto, medio y bajo. Esto nos ayuda a centrarnos en las partes del sistema que son muy arriesgadas o que tienen una alta probabilidad de ocurrir; y en el caso de que haya muchas partes del sistema que presenten estas condiciones, tal vez lo mejor sería reconsiderar el sistema ya que es demasiado ambicioso y difícil de conseguir. (Kossiakof, Seymour, & Sweet, 2011)

Figura 6. Ejemplo de una matriz de probabilidad de riesgo

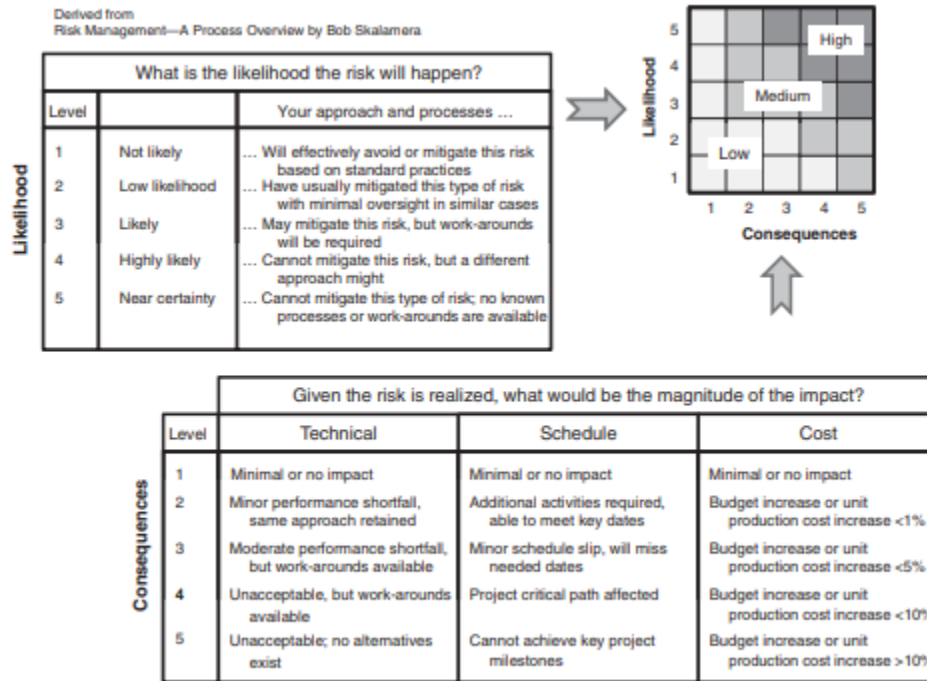


Figure 5.5. An example of a risk cube display.

Fuente: (Kossiakof, Seymour, & Sweet, 2011)

## 5. Requerimientos del sistema

La Ingeniería de sistemas toma como uno de sus principales objetivos la definición y evaluación de los requerimientos del sistema. Luego de que se hayan definido los objetivos del sistema se pueden clasificar en requerimientos y limitantes sobre el desempeño de éste. Los requerimientos tienen como objetivo reflejar de la mejor manera los objetivos del sistema, ya que el cumplimiento de estos indicará que los objetivos del sistema se cumplieron. La clasificación de estas es:

- **Requerimientos funcionales:** Definen el nivel de desempeño que deben alcanzar los sistemas para cumplir con los objetivos de este.
- **Requerimientos operacionales:** Definen como y bajo que parámetros operará el sistema y como interactuarán los usuarios con este para cumplir los objetivos del sistema.
- **Limitantes:** son todos aquellos que limiten al sistema de alguna manera, algunos ejemplos son: costo máximo, tiempo de mantenimiento, tiempo de fabricación, técnicas de manufactura disponibles, espacio físico disponible, entre otros.

Debido a que la definición de los principales requerimientos de una misión es una tarea extremadamente difícil, es una práctica común que estos pasen por varias iteraciones durante el proceso de diseño. Se recomienda realizar una primera aproximación de los requerimientos combinando las metas y los objetivos del sistema con observaciones sobre lo que es posible hacer. (Larson & Wertz, 2005)

## 6. Verificación y validación de requerimientos

La verificación se define como el proceso donde una persona o personas del equipo determinan el grado de cumplimiento entre una parte del sistema y la especificación del requerimiento de esa parte del sistema. Y la validación se definiría como el proceso por el cual una persona o personas del equipo determinan el grado de cumplimiento entre una parte del sistema y el contenido de un documento preparado por el cliente que describe o define los requerimientos necesarios para esa parte del sistema. Dependiendo de la escala a analizar se determina que hay seis niveles de verificación de requerimientos: sistema, proceso, interfaz, parte, material y objeto.

Los cuatro métodos de verificación y validación son:

- Examinación (E): Es un elemento de verificación e inspección que consiste en investigar; generalmente es no destructiva e incluye el uso de la vista, oído, olfato, tacto y gusto; el uso de equipo de laboratorio sencillo, la manipulación manual simple y otros tipos de investigación.
- Análisis (A): Es un elemento de verificación que utiliza modelos matemáticos, simulaciones, algoritmos, cuadros, gráficos, diagramas y otros procedimientos científicos en combinación con la capacidad analítica del ser humano para determinar si se cumplieron los requerimientos del sistema.
- Prueba (P): Es un elemento de verificación e inspección que determina si un requerimiento se cumpla por medio de medios técnicos, e involucra la aplicación de procedimientos científicos establecidos.
- Revisión de diseño (D): Es un elemento que consiste en la revisión de los planos del sistema para determinar si se cumplieron los requerimientos.

(O. Grady, 2016)

## B. Sistema eléctrico

El sistema eléctrico en este contexto es el conjunto de dispositivos que permite transformar la energía eléctrica en otros tipos de energía; como energía térmica, mecánica rotativa, etc. Los sistemas eléctricos pueden separarse según el tipo de voltaje o corriente, o según el tipo de carga que generan.

### 1. Según el tipo de corriente o voltaje

- DC: La corriente directa es el flujo de electrones en un circuito que siempre fluye en la misma dirección. Está ocurre cuando el voltaje se mantiene constante.
- AC: La corriente alterna ocurre cuando las terminales de la fuente de energía potencial alternan entre valores positivos y negativos, por lo tanto, la corriente que fluye en el circuito eléctrico también alterna entre positivo y negativo.

Si ponemos resistencias térmicas como ejemplo para comparar la corriente DC con la AC. La DC proveería una alimentación continua de calor en la carga, en cambio la AC causaría incrementos y decrementos de calor durante la parte positiva y negativa del ciclo. (Blume, 2007)

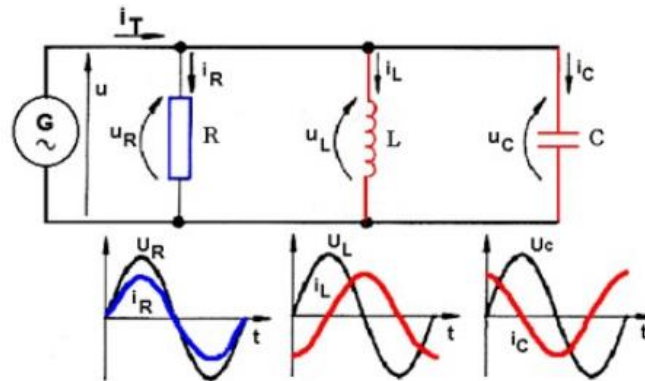
### 2. Los tres tipos de cargas eléctricas

Los dispositivos que están conectados al sistema eléctrico son conocidos como cargas eléctricas. Hay tres tipos de carga que varían dependiendo de su relación entre voltaje y corriente, estos tipos de cargas son;

- Carga resistiva: La resistencia en un conductor causa fricción y reduce el flujo de corriente si el voltaje permanece constante. La unidad de potencia asociada a las cargas resistivas es el Watt
- Carga inductiva: Estas necesitan de un campo magnético para operar, todas las cargas eléctricas que poseen un embobinado de conductores para producir un campo magnético son llamadas cargas inductivas. En esencia, todos los motores son cargas inductivas. El consumo de este tipo de cargas es la sumatoria de la potencia real y la potencia reactiva. Este tipo de potencia es utilizada para producir los campos magnéticos de las cargas inductivas. La unidad eléctrica asociada con estas cargas es el VAR.
- Cargas capacitivas: Un capacitor es un dispositivo llamado dieléctrico hecho de dos metales conductores separados por un aislante. Estos materiales dieléctricos son cargados eléctricamente cuando se aplica voltaje en los conductores, y pueden permanecer cargados mucho tiempo después de haber removido la fuente de potencia. Las cargas capacitivas también están asociados a la unidad eléctrica VAR, pero en el sentido contrario a las cargas inductivas, ya que estas pueden guiar a que la potencia reactiva del sistema se vuelva 0. (Blume, 2007)

En la Figura 7 se puede apreciar cómo afectan los tipos de carga en la corriente eléctrica y la diferencia entre ellas.

Figura 7. Diferencia entre los tres tipos de cargas eléctricas.



Fuente: (Blume, 2007)

### 3. Motores eléctricos

Los motores eléctricos son máquinas electromecánicas de carga inductiva que convierten la energía eléctrica en energía mecánica. La mayoría de los motores eléctricos operan a través, de la interacción entre el campo magnético del motor y la corriente eléctrica en un embobinado, la cual produce energía rotativa en un eje. Los motores eléctricos pueden ser energizados por corrientes directas o alternas. La potencia de salida del motor eléctrico se determina como  $P = T * \omega$  donde P es potencia, T es torque y  $\omega$  es la velocidad angular del eje del motor. (Hughes, 2006)

- Comparación entre motores AC Y DC

Cuadro 1. Comparación entre motores AC Y DC

MOTORES DC	MOTORES AC
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se alimentan de la energía de la corriente directa.</li> <li>• Tienen un voltaje inducido producido por un devanado de armadura.</li> <li>• La velocidad del motor puede ser controlada dentro de la bobina, mediante el cambio de tención.</li> <li>• Par de arranque fuerte.</li> <li>• Costo alto.</li> <li>• Posee un movimiento de alta precisión.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Opera mediante la aplicación de corriente alterna.</li> <li>• Sus partes principales son el estator y el rotor.</li> <li>• El rotor son bobinas que producen un campo magnético giratorio, y el rotor gira dentro de las bobinas produciendo torsión en el campo.</li> <li>• Solo es eficiente en altas velocidades.</li> <li>• Par de arranque bajo.</li> <li>• Bajo costo de fabricación.</li> <li>• Posee un movimiento de baja precisión.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia

#### a. Motor monofásico de inducción

Estos motores son menos eficientes que los motores trifásicos y consumen mucha más corriente que estos. Los motores monofásicos son parecidos a una versión más grande de los motores trifásicos de jaula de ardilla, con la diferencia que los motores monofásicos no poseen un torque inicial, a menos de que tenga algún tipo de arreglo que lo vuelva autoiniciable. El estator de este motor produce un campo magnético que

emite pulsaciones en un arreglo sinusoidal. Por consecuencia, no puede producir rotación por sí mismo; pero si al motor se le rota en una dirección, continuará girando en esa dirección de rotación. (Hughes, 2006)

## b. Motor trifásico

Estos motores poseen típicamente tres embobinados en el estator, y cada uno de ellos provee una fase de voltaje mientras el rotor magnetizado gira sobre él. Las tres fases están balanceadas de una manera sinusoidal y están separadas entre sí por un ángulo de 120°. El motor trifásico es más pequeño que el monofásico para la misma potencia, también es autoinicialable debido a que puede producir un campo magnético rotativo, en comparación a los motores monofásicos no son sensibles a las vibraciones debido a que la energía es transferida de manera uniforme, también son más eficientes y pueden regular mejor el factor de potencia. (Zhang, 2015)

Comparación entre motores monofásicos y trifásicos.

Cuadro 2. Comparación entre motores monofásicos y trifásicos

<b>MOTORES MONOFÁSICOS</b>	<b>MOTORES TRIFÁSICOS</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se alimentan de una fuente de potencia monofásica.</li> <li>• El torque inicial es bajo.</li> <li>• Su eficiencia es menor que el de los trifásicos.</li> <li>• Factor de potencia bajo</li> <li>• Puede ser más ruidos y presentar mayores vibraciones.</li> <li>• Fáciles de reparar y más económicas que las trifásicas.</li> <li>• Demanda de par de arranque alto.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se alimentan de una fuente de potencia trifásica.</li> <li>• El torque inicial es alto.</li> <li>• Su eficiencia es mayor que el de los monofásicos.</li> <li>• Factor de potencia alto</li> <li>• No produce vibraciones altas y es menos ruidoso.</li> <li>• Fáciles de reparar y más económicas que las trifásicas.</li> <li>• Costoso.</li> <li>• Utilizada en el sector industrial.</li> </ul>

Fuente: (Zhang, 2015)

## c. Conectar motor trifásico en red monofásica

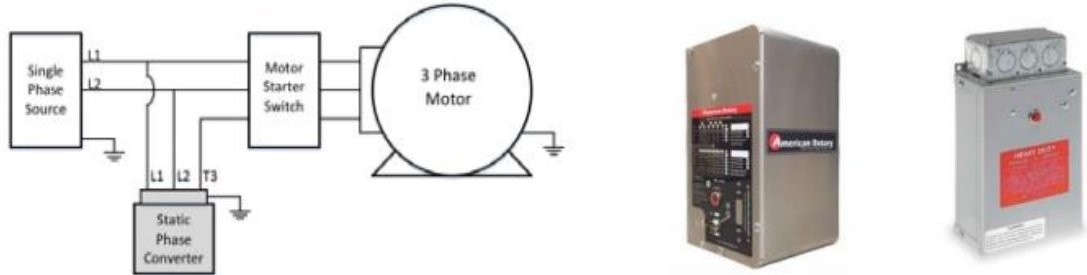
La corriente eléctrica es el flujo de electrones, hay dos tipos principales de corriente eléctrica: directa y alterna. La corriente alterna revierte la dirección de su frecuencia periódicamente y está disponible en corriente monofásica y trifásica. Cuando se usa corriente monofásica, la potencia es el equivalente al producto del voltaje por la corriente por el ángulo de fase entre estas. Y la corriente trifásica es este producto multiplicado por la raíz cuadrada de 3 o 1.73. Como resultado un circuito monofásico requiere 1.73 veces más corriente para alimentar la misma potencia que un circuito trifásico. (USAID, 2016)

La mayoría de la distribución eléctrica en el mundo es monofásica, aunque los dispositivos trifásicos sean más eficientes, consuman menos corriente, no requieran una gran masa rotacional para generar potencia y son generalmente más económicos que los dispositivos monofásicos. Por lo tanto, en algunos casos es necesario utilizar alternativas que permitan conectar equipos trifásicos a redes monofásicas. Estos son:

- En primer lugar, se debe considerar como una de las opciones, el remplazo del motor trifásico por un motor monofásico, ya que muchas veces suele ser más económica. Aunque en algunos casos esto no es posible debido a problemas del tamaño del motor, la potencia requerida o los límites de corriente que el sistema permite.

- Convertidor trifásico estático: es la solución más económica de las alternativas. No tiene partes móviles, pero necesita tener la misma potencia que el motor. La mayor desventaja de este es que reduce la disponibilidad de potencia del motor en un tercio de la real, también tiene problemas en iniciar motores con cargas iniciales altas. Estos no se recomiendan para calentadores, motores de dos velocidades, compresores, bombas, ventiladores, etc. (USAID, 2016)

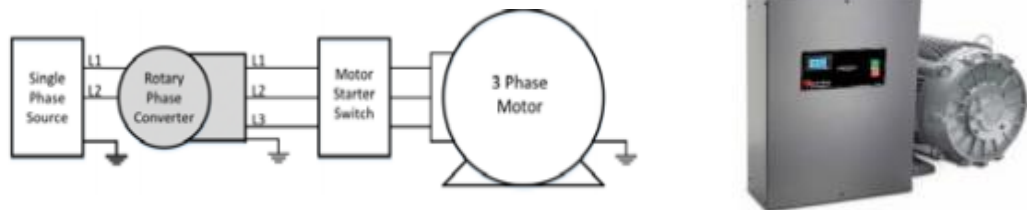
Figura 8. Convertidor trifásico estático.



Fuente: (USAID, 2016)

- Convertidor trifásico rotativo: Este funciona como un motor y un generador, usado un motor monofásico para alimentar al generador y producir potencia trifásica. Es más caro que el estático, pero no tiene el problema del inicio y la potencia reducida del convertidor.

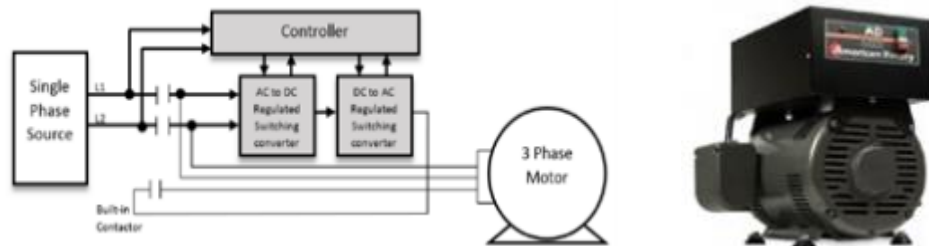
Figura 9. Convertidor trifásico rotativo.



Fuente: (USAID, 2016)

- Convertidor trifásico digital: Utiliza un rectificador y un inversor para crear un solo voltaje. El nuevo voltaje simple puede compaginarse con el voltaje y la frecuencia de la alimentación monofásica, resultando en una salida bien balanceada, no como la del variador de frecuencia (VFD). Son más eficientes que los convertidores rotativos. No puede variar la frecuencia o la velocidad del motor como los VFD, y los costos son parecidos a este.

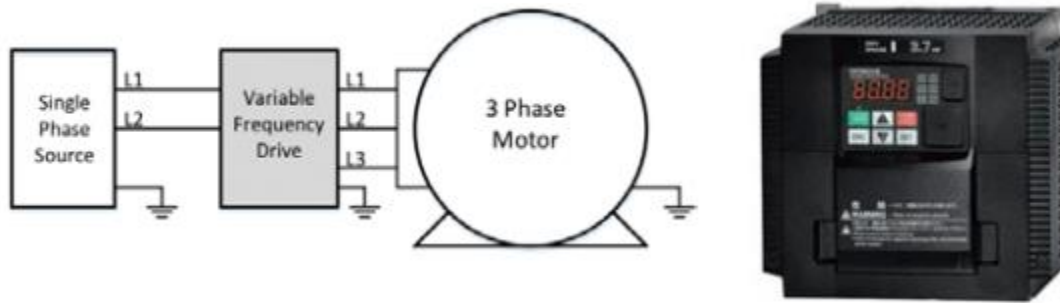
Figura 10. Convertidor trifásico digital.



Fuente: (USAID, 2016)

- Variador de Frecuencia (VFD): Cambia la potencia monofásica en corriente directa y luego la invierte en corriente trifásica. Este se logra utilizando controles electrónicos. Estos electrónicos permiten control de la velocidad, torque y dirección de rotación del motor, así como proporcionar un arranque suave que aumenta la velocidad del motor gradualmente. Puede ser más barato que convertidores rotativos y digitales para motores de baja potencia, pero arriba de 10 HP el precio aumenta. (USAID, 2016)

Figura 11. Variador de Frecuencia VFD.



Fuente: (USAID, 2016)

Los aspectos por considerar al momento de elegir entre un convertidor de fase o un variador de frecuencia. Es que el convertidor de fase es más fácil de instalar, ya que no necesita de tanta programación, puede ser seleccionada según a la potencia del motor y es una opción acertada si no se requiere control sobre la velocidad y el torque. En cambio, los VFD son necesarios cuando se requiere controlar la velocidad y torque del motor, así como cuando se quiere un arranque suave.

La manera en que funcionan los VFD es que de primero se alimenta con equipo de corriente alterna monofásica, para ser convertido a corriente directa por medio de un puente rectificador (diodos o SCR). Luego está corriente es filtrada por un banco de capacitores interno, con el fin de suavizar el voltaje rectificado y reducir la emisión de variaciones en la señal. Después pasa por una etapa de inversión, la cual está compuesta de transistores, los cuáles se encienden y apagan enviando pulsos para generar una forma de onda una frecuencia constante que presente un arreglo sinusoidal, la cual simula una corriente alterna trifásica que es la que se aplica al motor. (USAID, 2016)

#### 4. Tipos de instrumentación de una extrusora

La instrumentación es uno de los elementos más esenciales de una extrusora. Es necesaria la medición de los parámetros de los procesos para saber que está sucediendo en la extrusora y para ser capaz de controlarla. Una de las razones principales de la instrumentación, es que no es posible ver normalmente lo que sucede adentro de la extrusora, por lo que la instrumentación puede ser considerada como “la ventana del proceso”.

Los parámetros del proceso más importantes para conocer son la temperatura y la presión de fusión. Estos son los mejores indicadores para saber que tal funciona la extrusora. Otros parámetros importantes del proceso son: velocidad del husillo, carga del motor, temperatura de la camisa, temperatura de la boquilla, dimensiones del producto extruido, entre otros. (Rauwendaal, 2018)

##### a. Presión de fusión

Medir la presión de fusión es importante por dos razones: monitorear y controlar el proceso, y seguridad. La presión en la cabeza de la boquilla de la extrusora determina la salida de esta, es necesario que la presión

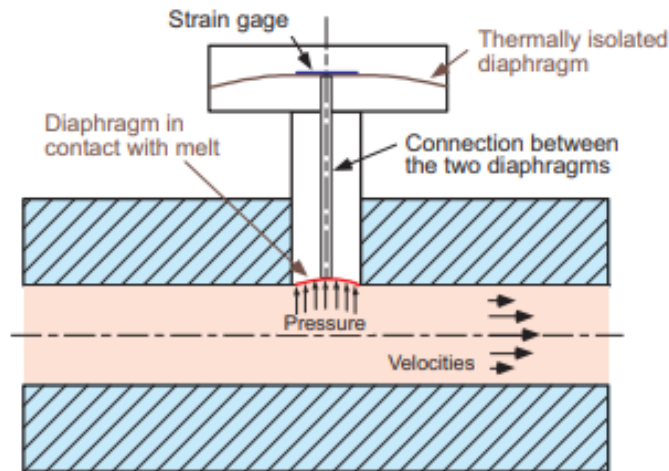
sea mayor que la resistencia de la boquilla. Cuando monitoreamos como varía la presión con el tiempo, podemos observar que tan estable es el proceso de extrusión. Lo mejor sería graficar la variación de la presión con una pantalla digital o análoga.

También es importante medir la presión en la extrusora para prevenir accidentes serios que pueden ocurrir cuando la presión generada es demasiado alta. Altas presiones pueden ocasionarse en la extrusora y causar una explosión, la camisa puede romperse debido a la presión excesiva o la boquilla puede salir expulsada de la extrusora. Todas las extrusoras deben de tener una válvula de alivio como mecanismo de seguridad.

## b. Transductores de presión

Hay varios tipos de transductores de presión, los más comunes en una extrusora son el de medición extensiométrica y el piezoeléctrico. El de medición puede ser un transductor de capilaridad o de empuje; en estos transductores hay dos diafragmas, uno en contacto con el plástico fundido y el otro a cierta distancia del plástico fundido. En el de medición extensiométrica el segundo diafragma mide la deflexión, la cual puede estar relacionada a la presión del primer diafragma. La mayoría de los transductores capilares están llenos de mercurio y son delgados, por lo que pueden llegar a contaminar el espacio de trabajo si no se manejan con precaución. (Rauwendaal, 2018)

Figura 12. Transductor de medición extensiométrica.



Fuente: (Rauwendaal, 2018)

Otro tipo es el transductor de presión hidráulica; el cuál es robusto, pero no es sensible a la temperatura, tiene una dinámica de respuesta pobre y una medición de error no tan buena. Una comparación de los diferentes tipos de transductores se muestra en la Figura 13.

Figura 13. Comparación entre los transductores de presión.

Transducer type	Robustness	Temperature sensitivity	Dynamic response	Total error
Pneumatic	good	poor	poor	about 1.5%
Capillary strain gage	fair	fair	fair	0.5 to 3%
Pushrod strain gage	fair	poor	fair	about 3%
Piezo-resistive	good	good	good	0.2 to 0.5%

Fuente: (Rauwendaal, 2018)

c. Tipos de sensores de temperatura

La temperatura usualmente es medida usando un sensor tipo termocupla TC. El principio de las termocuplas que tiene dos metales diferentes conectados, y cuando existe una diferencia de temperatura entre dos semiconductores diferentes se produce un voltaje, efecto *Seebeck*, el cual aumenta con la temperatura. Otro sensor de temperatura utilizado es el detector de resistencia de temperatura (RTD). El principio del RTD es que la resistencia de los metales cambia con la temperatura, por lo que se puede determinar la temperatura midiendo la resistencia de los metales. Las ventajas de las RTD en comparación de las TC es que tienen una salida de señal mayor, mejor estabilidad y precisión, y no necesitan de cables especiales o una unión de referencia. Desde el otro punto de vista los TC son mejores porque son más baratos y son mejores midiendo la temperatura de un punto en específico.

Existe una gran cantidad de tipo de termocuplas, pero en la industria el 90% de estas son del tipo J o K. las TC de tipo J se utilizan principalmente en la industria de plástico, extrusión e inyección, y en la fundición de metales a bajas temperaturas. En cambio, la termocupla de tipo K se usa típicamente en fundición y hornos a temperaturas menores de 1300 °C, por ejemplo, fundición de cobre y hornos de tratamientos térmicos. En la Figura 14. Se puede observar los rangos de temperatura para diferentes TC. (Rauwendaal, 2018)

Figura 14. Rangos de temperatura para diferentes termocuplas.

Tc	Cable + Aleación	Cable - Aleación	Rango (Min, Max) °C	Volts Max mV
J	Hierro	cobre/nickel	(-180, 750)	42.2
K	Nickel/cromo	Nickel/alumnio	(-180, 1372)	54.8
T	Cobre	cobre/nickel	(-250, 400)	20.8
R	87% Platino 13% Rhodio	100% Platino	(0, 1767)	21.09
S	90% Platino 10% Rhodio	100% Platino	(0, 1767)	18.68
B	70% Platino 30% Rhodio	94% Platino 6% Rhodio	(0, 1820)	13.814

Fuente: (Rauwendaal, 2018)

## 5. Controladores de temperatura

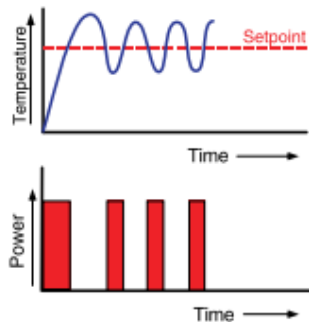
En el proceso de extrusión un buen control de temperatura es importante para adquirir estabilidad en el proceso. Hay dos tipos principales de control de temperatura, el control *on-off* y el control proporcional.

### a. Control *ON-OFF*

En este la potencia o está completamente apagada o encendida. En este se declara un *setpoint* de temperatura; si la temperatura está debajo de este *setpoint*, la potencia está encendida, y la temperatura sube. En cambio, si la temperatura está por encima de este *setpoint*, la potencia se apaga, y la temperatura, aunque aumenta por un momento aún, eventualmente empieza a bajar hasta al *setpoint*, donde la potencia se vuelve a encender. Las ventajas de este tipo de control es que es simple y la temperatura promedio está justo en el *setpoint*. La desventaja es que la temperatura real siempre cicla con una variación que puede ser grande, entre 10 a 20°C.

(Rauwendaal, 2018)

Figura 15. Temperatura y potencia contra el tiempo en control ON-OFF.

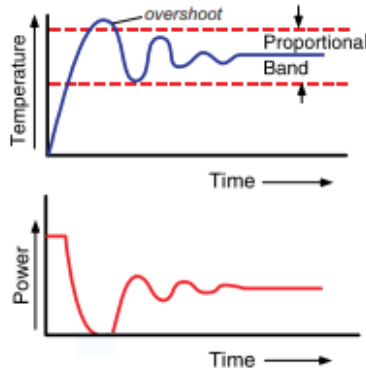


Fuente: (Rauwendaal, 2018)

### b. Control proporcional

En este la potencia es proporcional a la temperatura, y se mantiene la temperatura en una región llamada banda proporcional. Inicialmente cuando la máquina se está calentando, el sistema está encendido hasta que alcanza la temperatura de la banda proporcional. Dentro de la banda proporcional; la potencia disminuye cuando la temperatura aumenta, y la potencia aumenta cuando la temperatura disminuye. Con el tiempo la amplitud de las oscilaciones disminuye y se alcanza una potencia y temperatura estable. La ventaja de este tipo de control es que la temperatura se puede mantener estable, el nivel de potencia se puede ajustar exactamente al nivel necesario para mantener la temperatura correcto. Una de las limitaciones del control proporcional, es que la temperatura se puede mantener estable solo si las condiciones ambientales que rodean la extrusora son constantes. (Rauwendaal, 2018)

Figura 16. Temperatura y potencia contra el tiempo en control proporcional.

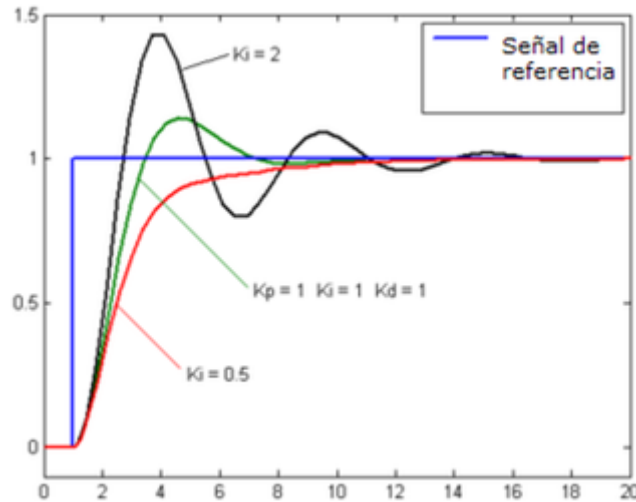


Fuente: (Rauwendaal, 2018)

### c. Control proporcional, integral y derivativo (PID)

La acción integrada del control PID de una máquina extrusora integra la diferencia entre la temperatura real y el *setpoint*, y continúa actuando en el proceso hasta que la diferencia entre estas sea cero. Cuando hay una perturbación en el proceso la acción derivada entra en acción ya que permite que el controlador reaccione a las desviaciones en la tasa de cambio de la temperatura. El control PID es el más comúnmente utilizado en máquinas extrusoras. Para que un controlador funcione correctamente en una extrusora debe de estar sintonizada para las características de la extrusora, esto significa determinar el ancho correcto de la banda proporcional y las constantes de tiempo adecuadas para la acción integral y derivativa, en caso de que el controlador no esté sintonizado correctamente este será muy poco eficiente.

Figura 17. Temperatura y potencia contra el tiempo en control proporcional.



Fuente: (Rauwendaal, 2018)

### d. Resistencias calefactoras de abrazadera

Estas resistencias con forma circular tienen como función calentar cuerpos cilíndricos a través del contacto superficial. Estas resistencias están formadas por un elemento calefactor bobinado sobre una placa y luego se recubre con una abrazadera, de lo que suele ser acero inoxidable o de cuerpo cerámico. (Asturgo, 2013)

Figura 18. Resistencia calefactora de tipo abrazadera.



Fuente: (Martínez, 2012)

## 6. Calibre de cable

Un cable eléctrico es la composición de uno o más conductores, usualmente cobre o aluminio, utilizado para conducir corriente eléctrica. Los cables eléctricos están compuestos por 4 elementos principales estructuralmente: el conductor eléctrico, que es la parte que transporta electricidad; el aislamiento, que recubre el conductor y se encarga de que la corriente eléctrica no encuentre un cuerpo de menor resistencia eléctrica afuera del conductor y permitir transportar la corriente; la capa de relleno, que se encuentra entre los dos elementos anteriores y permite que los conductores mantengan un aspecto circular y homogéneo; y la cubierta que protege al cable de factores externos.

Los cables suelen categorizarse en calibres, si se utiliza el sistema de clasificación de diámetros estándar estadounidense AWG (*American Wire Gauge*). En este sistema, mientras mayor sea el número menor área transversal tendrá el cable. Por lo que, si el calibre del AWG es bajo, eso quiere decir que tiene una menor resistencia interna, y logra soportar mayores corrientes eléctricas. En la siguiente figura se puede observar corriente eléctrica soportada por calibre.

Figura 19. Amperaje soportado por calibre del cable AWG.

Nivel de temperatura:	60°C	75°C	90°C	60°C	
Tipo de aislante:	TW	RHW, THW, THWN	THHN, XHHW-2, THWN-2	SPT	
Medida / calibre del cable	Amperaje soportado			Medida / calibre del cable	Amperaje soportado
14 AWG	15 A	15 A	15 A	20 AWG	2 A
12 AWG	20 A	20 A	20 A	18 AWG	10 A
10 AWG	30 A	30 A	30 A	16 AWG	13 A
8 AWG	40 A	50 A	55 A	14 AWG	18 A
6 AWG	55 A	65 A	75 A	12 AWG	25 A
4 AWG	70 A	85 A	95 A		
3 AWG	85 A	100 A	115 A		
2 AWG	95 A	115 A	130 A		
1 AWG	110 A	130 A	145 A		
1/0 AWG	125 A	150 A	170 A		
2/0 AWG	145 A	175 A	195 A		
3/0 AWG	165 A	200 A	225 A		
4/0 AWG	195 A	230 A	260 A		

Fuente: (AWG. 2012)

## C. Sistema de transmisión de potencia

Los sistemas de transmisión a se componen de mecanismos encargados de transmitir potencia entre un elemento de transmisión y cualquier otro elemento mecánico, para lograr esto necesitan de elementos de sujeción que permitan unir estos dos componentes. Generalmente los elementos de transmisión de potencia corrigen una rotación no deseada, por ejemplo, en un impulsor con una alta velocidad de giro y bajo torque estos elementos pueden bajar la velocidad y proporcionar un torque mayor, o a la inversa. Esta transmisión de potencia puede ser lograda por equipos hidráulicos, neumáticos o mecánicos.

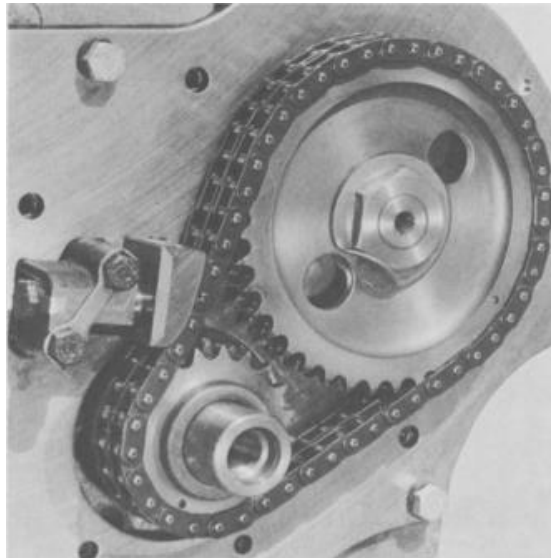
### 1. Sistemas de transmisión por cadenas

Las ventajas de este tipo de transmisión mecánica en comparación con otras formas de transmisión son:

- Alta eficiencia: Las cadenas son muy eficientes y sus componentes están hechos con tolerancias cerradas. Esto genera cierta libertad entre las articulaciones de las cadenas, lo que permite una relación de potencia eficiente. Esto es debido a la poca fricción que existe entre las cadenas y los *sprocket*.
- Las cadenas permiten una relación de potencia constante debido a que no permiten deslizamiento o arrastre.
- Son relativamente baratas.
- Tienen la capacidad de impulsar varios ejes a partir de una sola fuente.
- Son fiables, ya que las cadenas no suelen deteriorarse con el tiempo. Suponiendo que la cadena se seleccionó, instalo y se le proporciono mantenimiento correctamente se puede esperar a que tenga una vida de 15000 horas, sin fallar por fatiga o desgaste.

Algunas de las desventajas principales de la transmisión por cadenas son: pueden ser muy ruidosas, el mantenimiento de las cadenas es complicado debido a que deben de tensarse y lubricarse periódicamente, sino se lubrica bien es muy fácil que se presente desgaste, y por último son menos flexibles y más costosas que las bandas. (Budynas & Nisbett, 2012)

Figura 20. Sistema de transmisión por cadenas.



Fuente: (Bell, 1971)

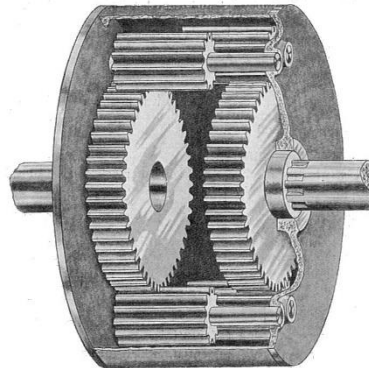
## 2. Sistemas de transmisión por caja reductora

Las cajas reductoras son elementos de transmisión compuestos por un tren de engranajes que se encuentra entre un motor y cualquier otro elemento mecánico. El propósito de este es reducir las revoluciones del motor para multiplicar el torque de este. Para seleccionar el tipo de caja reductora adecuada se debe tomar en cuenta la eficiencia de estas, las implicaciones geométricas de los ejes, las limitaciones de transmisión, entre otras cosas. Los tipos de cajas reductoras se clasifican por el tipo de engranaje:

### a. Cajas reductoras de tornillo

Son utilizados para conectar ejes en paralelo, y son las cajas reductoras más comunes. Los dientes de estos engranajes son relativamente simples, por lo que son baratos de producir. Estas cajas operan bien, aunque la distancia entre centros no tenga tolerancias cerradas, por lo tanto, son tolerantes a cierta desalineación axial. La eficiencia de esta caja reductora está entre el 94 – 98%. En condiciones de vibraciones altas, se puede generar desgaste entre los dientes de los engranajes por lo que se recomienda endurecerlos. (Stokes, 1992)

Figura 21. Caja reductora de tornillos



Fuente: (Stokes, 1992)

### b. Cajas reductoras helicoidales

Estos representan una alternativa a los reductores de tornillo para transmitir potencia en ejes paralelos, pero en este caso los dientes de engranes presentan un ángulo en comparación a los dientes rectos de los de tornillo. Debido al ángulo de los dientes la carga se distribuye gradualmente, por lo tanto, estas cajas suelen ser más silenciosas que las otras. Las cajas helicoidales son superiores a las cajas de tornillo en menor ruido de operación y en capacidad de carga. La eficiencia de estas cajas reductoras también se encuentra entre el 94-98%. (Stokes, 1992)

Figura 22. Caja reductora helicoidal



Fuente: (Bonfiglioli. 2015)

#### c. Cajas reductoras cónicas

Son usados para transmitir potencias entre dos ejes que tienen un ángulo entre ellos, siendo  $90^\circ$  el más común, pero que se presentan en el mismo plano de trabajo. Estos engranes son difíciles de manufacturar debido a las variables en la geometría, por lo tanto, suelen ser más caros que otros tipos de engranajes. Cuando se requiere una transmisión precisa estos engranes deben de ser evitados, debido a los errores frecuentes en su manufactura y en que el proceso de montaje de estos es crítico y debe de ser muy preciso. La eficiencia de esta caja reductora es comparable a las de tornillo o helicoidales. (Bell, 1971)

#### d. Cajas reductoras de gusano

Los engranajes de tornillos son utilizados para transmitir potencias entre ejes con ángulos, usualmente de  $90^\circ$ , que no se encuentran en el mismo plano. Este es el engrane más versátil ya que puede conectar ejes en distintos ángulos, en distintos planos, y posee un rango de relación amplio, que puede ir de 5:1 hasta 70:1. La precisión de transmisión o la eficiencia de estos engranes no puede ser comparada con los de las demás cajas reductoras, pero lo compensa con ser el más barato de todos los tipos de cajas reductoras. El ensamblaje de las cajas reductoras con engranes de gusano es crítica y requiere de un alineamiento preciso para generar resultados satisfactorios. Aparte de esto el desgaste es mayor en este engranaje debido al deslizamiento de los dientes, y por lo tanto la lubricación de este tipo de cajas reductoras es clave. (Bell, 1971)

En la Figura 23. Se puede observar las relaciones de velocidad normales para cada tipo de caja reductora y su rango de eficiencia.

Figura 23. Rango de relaciones y rango de eficiencias de cajas reductoras.

No	Type	Normal Ratio Range	Efficiency Range
1	Spur	1:1 to 6:1	94-98%
2	Straight Bevel	3:2 to 5:1	93-97%
3	Spiral Bevel	3:2 to 4:1	95-99%
4	Worm	5:1 to 75:1	90-50%
5	Hypoid	10:1 to 200:1	80-95%
6	Helical	3:2 to 10:1	94-98%
7	Cycloid	10:1 to 100:1	75% to 85%

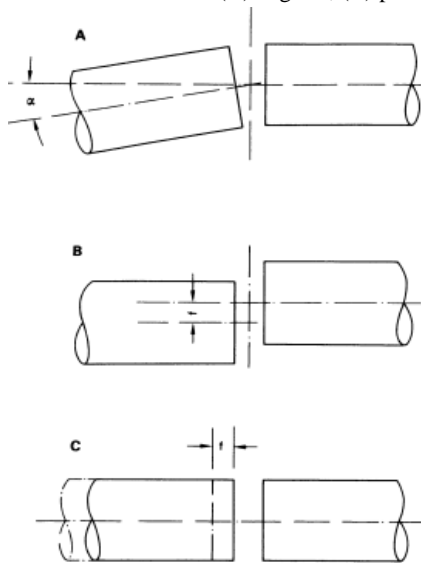
Fuente: (Bell, 1971)

### 3. Acoples

Los acoples son dispositivos que permiten conectar dos ejes entre sí con la función de transmitir potencia. Su propósito es la de ser un elemento flexible, entre los dos ejes, para absorber o minimizar las fluctuaciones torsionales y ayudar a los cojinetes de las cargas generadas por desalineamientos. Las características más importantes de los acoples son:

- Todos los acoples son resilientes y flexibles. La flexibilidad le permite tolerar las desalineaciones mencionadas anteriormente. Y la resiliencia le permite soportar deformaciones torsionales en el rango de  $1^\circ$  hasta  $15^\circ$ .
- Permiten transmitir torque en cualquier dirección, aunque deben hacerse consideraciones especiales en acoples que cambian su dirección frecuentemente o cuyo torque se revierte, pero su dirección de rotación no.
- Aunque son un componente que requiere de poco mantenimiento, es recomendable lubricar los acoples metálicos, y revisar periódicamente los acoples de caucho para ver si no hay señales de deterioración.
- Reducir los errores producidos por los desalineamientos entre ejes. Aun así, se debe de alinear los acoples lo mejor posible, ya que mientras mejor el alineamiento más largo el tiempo de vida del acople. Los tres tipos de desalineamiento se muestran en la Figura 24. Los cuales son: angular, paralelos y eje flotante. (Bell, 1971)

Figura 24. Tipos de desalineamiento: (A) angular, (B) paralelo, (C) eje flotante.



Fuente: (Bell, 1971)

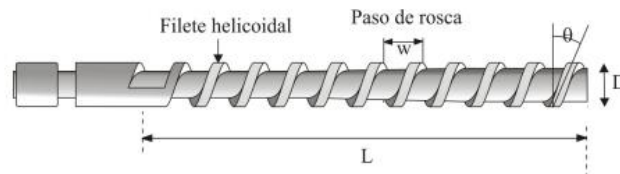
## D. Componentes principales de una extrusora de plástico.

Una extrusora de plástico es un elemento el cual con lleva múltiples procesos, como lo son la alimentación de máquina, transporte de material y fundición de material. Para llevar a cabo estos diferentes procesos se necesitan componentes esenciales con diferentes características que puedan tratar con un fluido no newtoniano como lo son los polímeros.

### 1. Husillo extrusor

El husillo o tornillo extrusor consiste en un cilindro rodeado por un filete helicoidal (M. Beltran y A. Marcilla, 2015). Este es uno de los elementos más importantes de una extrusora de plástico ya que tiene las funciones de transportar, calentar y mezclar el material. Los parámetros más importantes que se deben tomar en cuenta de un tornillo extrusor son: Longitud, diámetro, el ángulo del filete y el paso de rosca. Un buen diseño de un tornillo extrusor proporciona estabilidad del proceso y calidad del producto.

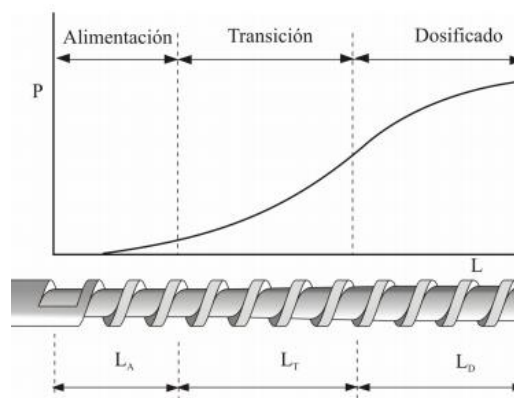
Figura 25. Husillo extrusor de plástico.



(M. Beltran y A. Marcilla, 2015)

El polímero se va presurizando a medida que avanza el tornillo, comenzado con presión atmosférica en la tolva y aumentando hasta la salida de la boquilla (M. Beltran y A. Marcilla, 2015). El paso del tornillo no es constante, es mayor en la zona de alimentación y va disminuyendo hasta llegar a la zona de dosificado. Se considera tres etapas por las que los polímeros transcurren dentro del husillo extrusor (Figura 25). La primera etapa es la zona de alimentación, en donde su objetivo es compactar el plástico triturado y transportarlo a la siguiente etapa. A continuación, el polímero entra a la zona de transición o compresión, en esta zona el material continúa compactándose y ocurre la fundición de polímeros además que se libera aire atrapado por la tolva de alimentación. En esta zona la profundidad del canal va disminuyendo de forma gradual. Por último, la zona de dosificado, en esta zona se tiene una profundidad de boquilla constante, menor de todas las zonas. El fin de esta zona es homogenizar y presurizar el plástico fundido y así forzarlo a salir expulsado por la boquilla, por medio de presión. Como se puede observar en la Figura 26 el tornillo extrusor aumenta la presión según avanza en longitud.

Figura 16. Etapas de tornillo extrusor

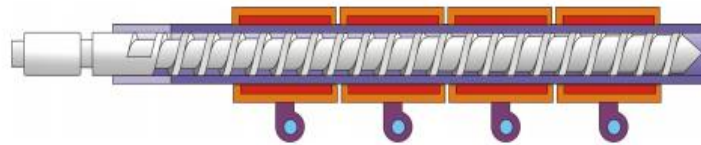


(M. Beltran y A. Marcilla, 2015)

## 2. Cilindro de calefacción

El cilindro de calefacción o camisa es aquel elemento que alberga el husillo de extrusión (Figura 27). Este elemento no debe de contener ninguna clase de cordón de soldadura u otra clase de sujeción por dentro ya que esto puede retener plástico causando obstrucción de flujo. Este elemento suele construirse con materiales resistentes capaz de soportar altas temperaturas, aunque menos resistentes al husillo de extrusor ya que dicho cilindro es más sencillo de remplazar por su geometría simple.

Figura 27. Husillo extrusor con cilindro de calefacción



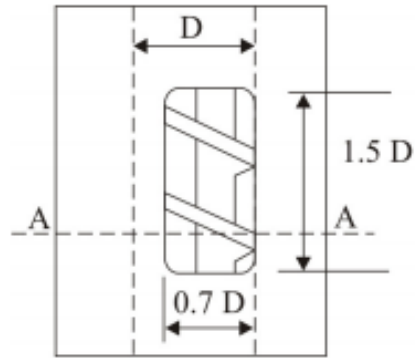
(M. Beltran y A. Marcilla, 2015)

A lo largo de la camisa se generan dos tipos de fuerza de fricción principales que actúan sobre la masa sólida. Una en la superficie del cilindro y otra en la superficie del tornillo (Darnell y Mol, 1956). La fuerza de fricción generada en el cilindro es aquella que genera el movimiento de masa sólida hacia la salida (M. Beltran y A. Marcilla, 2015), si dicha fuerza de fricción fuese cero el movimiento del polímero sólido solo giraría con el husillo. Mientras que la fuerza de fricción generada entre el tornillo y el polímero es la fuerza retardante. La fuerza de fricción no solo ayuda al movimiento del polímero sino también en aumentar la temperatura de este y demás componentes del sistema. Esto permite que el sistema de transferencia de calor proporcionado por resistencias eléctricas o fluidos calefactores sea reducido por la transformación de energía de fricción a calor que aumenta la temperatura del polímero. Con respecto a las resistencias eléctricas, estas deben manejarse a diferentes temperaturas para conseguir un gradiente de temperatura razonable desde la tolva hacia la boquilla. Para el control de las diferentes temperaturas en el controlador se utilizan sensores de temperatura llamadas termopares. Estas preferiblemente son colocadas en el cilindro y no en las resistencias eléctricas, como comúnmente se hace. Ya que se tienen temperaturas más cercanas a las del polímero.

## 3. Garganta de alimentación y tolva

La garganta de alimentación es el agujero por el cual el polímero ingresa al interior de la camisa. Esta debe estar a una distancia considerable de la zona de transición para evitar que el polímero se adhiera a las paredes de la camisa. Esta está conectada a la tolva y una forma estándar de dimensionar tanto la parte inferior de la tolva y la garganta de alimentación es tener 1.5 veces el diámetro de la camisa de longitud y 0.7 veces el mismo diámetro de ancho, como se puede observar en la Figura 28. Este agujero normalmente está desplazado del eje del tornillo para facilitar la caída del material.

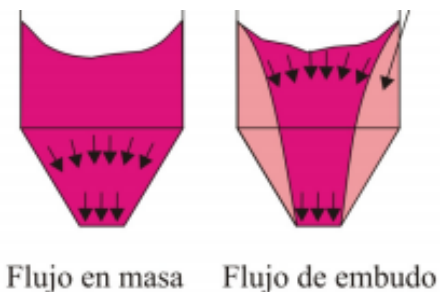
Figura 28. Garganta de alimentación



(M. Beltran y A. Marcilla, 2015)

La tolva por su parte es el contenedor que se utiliza para introducir el material en la máquina (M. Beltran y A. Marcilla, 2015). Esta debe estar ensamblada y alineada correctamente con la garganta de alimentación para proporcionar un flujo constante de material, sin pérdidas de polímero. Hay dos clases de tolvas para extrusora de plástico, tolvas de sección circular y tolvas de sección rectangular. Las tolvas de sección circular permiten un flujo regular sin retención de plástico triturado pero este tipo de tolva es más complicado de diseñar por lo que generalmente se utilizan tolvas rectangulares. El transporte de sólidos en las tolvas se da por la gravedad de las partículas. En dicha acción se puede dar dos tipos de flujos (Figura 29): flujo en masa en donde no hay regiones estancadas y flujo tipo embudo en donde el material cercano a las paredes es estancado. Las características del material como: densidad y coeficiente de fricción son las principales causas de un flujo tipo embudo por lo que se debe tener las precauciones necesarias.

Figura 29. Flujo del material sólido en una tolva



(M. Beltran y A. Marcilla, 2015)

Para el diseño de una tolva, se debe considerar el tiempo (t) de operación de la máquina extrusora ya que dicho elemento debe ser capaz de almacenar material durante el tiempo de operación de la máquina. Para el desarrollo de la tolva se debe considerar a la densidad aparente ( $D_{ap}$ ) del material a extruir, además del flujo másico ( $\dot{m}$ ) necesario para el funcionamiento correcto de la máquina. Dichos valores se utilizarán para conocer el volumen (V) necesario para operar el tiempo necesario por medio de las ecuaciones 1 y 2.

$$m = \dot{m} \cdot t \quad (EC.1)$$

$$V = \frac{m}{D_{ap}} \quad (EC.2)$$

Donde m es la masa. Luego de conocer el volumen necesario, se debe iterar las dimensiones de la base mayor y altura (h) que tendrá la tolva para poder llegar al volumen obtenido en la ecuación 2. Con respecto a la base menor, debe tener las mismas dimensiones que la garganta de alimentación. Se deben definir valores como la apotema tronca ( $A_p$ ) y el área total ( $A_{total}$ ) para el dimensionamiento de la tolva (Figura 30), mediante las ecuaciones 3 a 6 se puede obtener el volumen de las dimensiones propuestas.

$$A_p^2 = (ap - ap')^2 + h^2 \quad (EC.3)$$

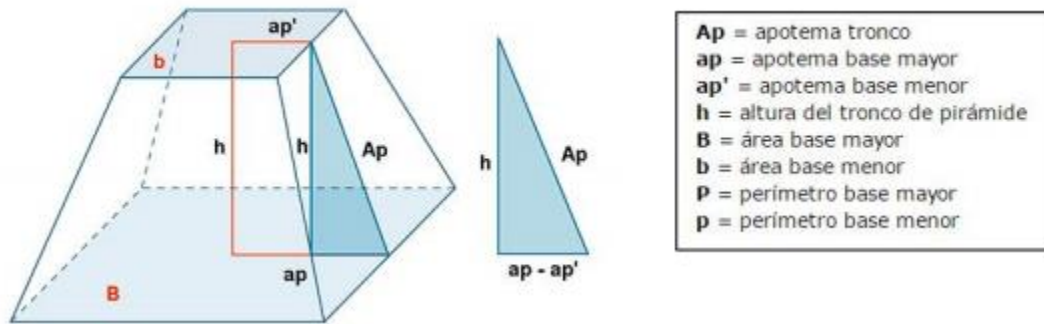
$$A_{lateral} = \frac{(P+p) \cdot A_p}{2} \quad (EC.4)$$

$$A_{total} = A_{lateral} + A_B + A_b \quad (EC.5)$$

$$V = \frac{1}{3} (A_B + A_b + \sqrt{A_B \cdot A_b}) \cdot h \quad (EC.6)$$

Donde ap y P son la apotema y perímetro de base mayor respectivamente. ap' y p son la apotema y perímetro de base menor.  $A_{lateral}$ ,  $A_B$ ,  $A_b$  son el área lateral, área de base mayor y menor.

Figura 30. Medidas para dimensionamiento de tolva



(J. Esquivel y J. Jiménez ,2018)

## E. Vibraciones

Las vibraciones, pueden causar problemas en el funcionamiento de las máquinas. Algunas de las fallas o daños que puede causar un elemento sometido a vibraciones son: fatiga del material producida por vibración incluyendo el esfuerzo al que está sometido, así como producir un desgaste más rápido de partes como cojinetes, engranajes, además de aflojar elementos de sujeción como tuercas. Encima puede causar deficiencias en el producto final de la máquina.

La frecuencia natural también es una de las consecuencias de fallas por vibraciones en elementos mecánicos. Un elemento de las máquinas puede tener una o varias frecuencias naturales por lo que conocer las frecuencias naturales de cada elemento es una práctica común en el diseño de máquinas modernas.

### 1. Equipo de análisis de vibraciones

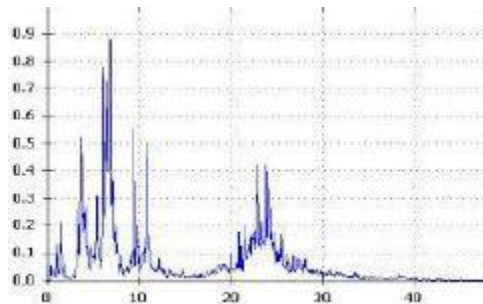
Una de las formas de realizar un análisis de vibraciones es por medio de equipos de mantenimiento preventivo (Figura 31). Estos equipos se encargan en realizar espectros (Figura 32) los cuales muestran un patrón que luego son analizados en tablas que muestran dicho el espectro y así conocer la fuente del problema. Como se puede observar en la figura 33 estos equipos poseen diferentes accesorios que lo conforman. En este tipo de equipos hay tres tipos de sensores, sensores de desplazamiento, sensores de velocidad y sensores de aceleración.

Figura 31. Equipo de medición de vibraciones



(Fluke, 2018)

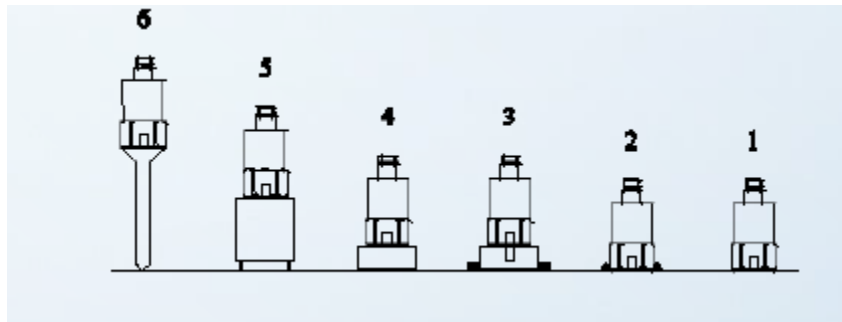
Figura 32. Ejemplo de espectro de vibraciones



(Fluke, 2018)

Los sensores de desplazamiento son de especialidad utilidad en maquinaria rígida donde se transmite muy poca vibración a la carcasa de la maquinaria (Simon R W Mills, 2010), este tipo de sensores tiene la desventaja de instalarse permanentemente y su rango de frecuencia está limitado. Los sensores de velocidad se aplican a máquinas donde el eje transmite la vibración a la carcasa con poca amortiguación (Simon R W Mills, 2010). Los sensores de velocidad son dependientes de la temperatura y un rango de lectura de frecuencias de: 10-1000 Hz. Los sensores de aceleración, se basa en que, cuando se comprime un retículo cristalino piezoeléctrico, se produce una carga eléctrica proporcional a la fuerza aplicada (Simon R W Mills, 2010). Estos tipos de sensores tienen diferentes tipos de montaje como se puede observar en la Figura 33. La diferencia entre estos tipos de montajes es la frecuencia que son capaces de percibir (Cuadro 3).

Figura 33. Tipos de montajes de sensores de aceleración



(Simon R W Mills, 2010)

Cuadro 3. Frecuencia máxima según montaje.

Forma de sujeción	Frecuencia máxima (Hz)
Sujeción manual	2000
Montaje con imán	5000
Montaje con adhesivo	6000
Montaje atornillado	7000

(Simon R W Mills, 2010)

En las gráficas entregadas como resultado de las lecturas del sensor en el punto de análisis, se puede observar en el eje “y” valores numéricos de velocidad en mm/s. Mientras que en el eje “x” se puede observar el número de armónico, el cual es un múltiplo de la frecuencia natural de un objeto. En el cual se encuentra la lectura del análisis. Una buena práctica de análisis de vibraciones es realizar múltiples mediciones y comparar dichas mediciones entre sí para conocer las desviaciones que se puede dar en el tiempo entre mediciones.

## 2. Tablas de Charlotte

Las tablas de Charlotte presentan los diferentes casos de fallos por vibraciones. En dichas tablas se presentan la fuente del problema, el espectro típico el cual es la gráfica obtenida del análisis de vibraciones, relación de fase y observaciones. En las observaciones se puede encontrar datos de comportamiento del sistema, explicación del espectro y en la mayoría de los casos una forma de solucionar el problema.

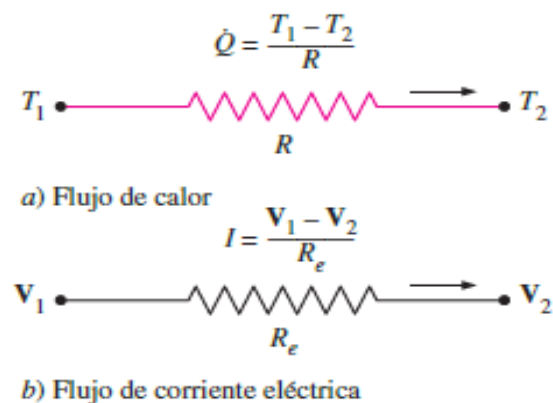
En el espectro típico se presentan números seguidos por “x”. Estos representan los armónicos o frecuencias fundamentales, estas frecuencias son aquellas a las cuales el punto analizado trabaja. Los armónicos cambian según el elemento que se está analizando. La forma de detectar la fuente del problema es comparar el espectro obtenido del equipo de análisis de vibraciones y los espectros típicos que se presentan en la tabla de Charlotte. Se debe comparar tanto la forma del espectro y la diferencia entre valores numéricos de pico o picos del espectro con los presentados en dichas tablas.

## F. Transferencia de calor

### 1. Cálculo por resistencias térmicas

Una de las formas de calcular las pérdidas de calor en un sistema es por medio de resistencias térmicas. En dicho método se debe considerar las diferentes formas de transferencia de calor que pueden afectar el sistema analizado, ya sea conducción, convección o radiación. Este método simula dichos tipos de transferencia de calor como resistencias eléctricas (Figura 34). Las resistencias térmicas dependen tanto de la geometría, propiedades térmicas de cada componente y el medio en el que está expuesto.

Figura 34. Analogía entre los conceptos de resistencias térmicas y eléctricas



(Yunus A. Cengel, 2007)

La resistencia térmica por conducción es la resistencia térmica de la pared en contra de la conducción de calor (Yunus A. Cengel, 2007). Para conocer la resistencia térmica para una transferencia de calor por medio de conducción en una superficie cilíndrica hueca se debe utilizar la ecuación 7.

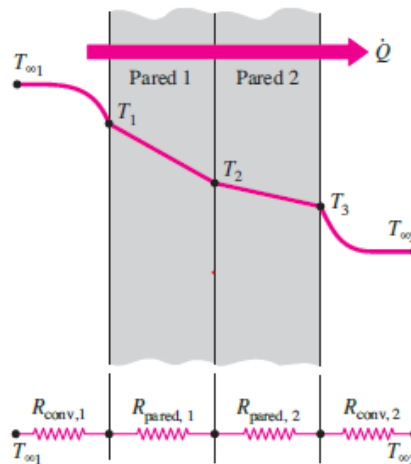
$$R_{cond} = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi * L * k} \quad (\text{EC. 7})$$

Donde  $r_2$  y  $r_1$  son el radio externo e interno del cilindro respectivamente.  $L$  el largo del cilindro y  $K$  es el coeficiente de transferencia de calor por conducción. Mientras que la resistencia térmica de una transferencia de calor por convección se da por la ecuación 8.

$$R_{conv} = \frac{1}{h * A} \quad (\text{EC. 8})$$

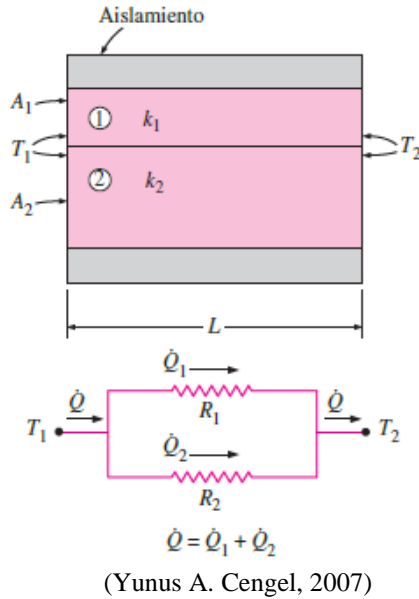
Donde  $h$  es el coeficiente de transferencia de calor por convección y  $A$  es el área de la geometría que se está analizando. Cuando el coeficiente de transferencia de calor tiende al infinito la superficie no ofrece resistencia a la convección y por lo tanto no desacelera el proceso de transferencia de calor. Al igual que las resistencias eléctricas las resistencias térmicas pueden sumarse tanto en paralelo o en serie como se puede observar en las Figuras 35 y 36.

Figura 35. Red de resistencias térmicas para dos capas



(Yunus A. Cengel, 2007)

Figura 36. Red de resistencias térmicas para capas paralelas



La forma de calcular la resistencia resultante tanto en paralelo como en serie se puede observar en las ecuaciones 9 y 10 respectivamente. La geometría del elemento que se está analizando es el cual dicta la forma de obtener la resistencia resultante. Como se puede ver en la Figura 35 las capas conectadas una con otra por lo que se debe utilizar la ecuación 9. Mientras que en la Figura 36 existen dos capas pares que corresponde a la ecuación 10.

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_i} + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_o} \quad (\text{EC. 9})$$

$$R_{TOT} = R_i + R_1 + R_2 + R_o \quad (\text{EC. 10})$$

En un medio con diferentes tipos de transferencia de calor, la forma de calcular la pérdida de calor se puede observar en la ecuación 11.

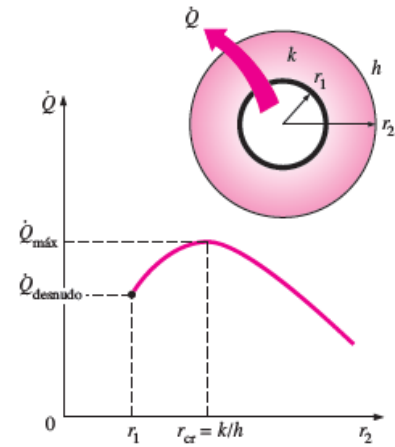
$$Q = \frac{T_2 - T_1}{R_{TOT}} \quad (\text{EC.11})$$

Donde  $Q$  es la transferencia de calor,  $T_2$  es la temperatura del medio,  $T_1$  es la temperatura de la superficie y  $R_{TOT}$  es la resistencia térmica de los diferentes métodos de transferencia de calor

## 2. Radio crítico de aislamiento

Una de las formas para disminuir la transferencia de calor en un tubo cilíndrico es agregar aislamiento. A diferencia de aislamiento en una pared, el aislamiento en un tubo cilíndrico no reduce la transferencia de calor según se aumente el grosor. El aislamiento adicional incrementa la resistencia a la conducción de la capa de aislamiento, pero disminuye la resistencia a la convección de la superficie debido al incremento del área exterior (Yunus A. Cengel, 2007).

Figura 37. Variación de transferencia de calor



(Yunus A. Cengel, 2007)

El radio crítico es el radio exterior de un aislante donde la razón de transferencia de calor es máxima (Figura 37). La razón de transferencia de calor del cilindro aumenta con la adición de aislamiento si el radio crítico de aislamiento es mayor al radio exterior del aislante, decrece si el radio crítico es menor al radio exterior de aislante y es el máximo que puede utilizarse cuando el radio crítico es igual a radio exterior del aislante. El cálculo de radio crítico (EC. 12) depende tanto del coeficiente de transferencia de calor por conducción ( $k$ ) como el coeficiente de transferencia de calor por convección ( $h$ ) por lo que las propiedades térmicas del material del aislante y en el medio que trabaja influyen en el valor del radio crítico. Al tener un coeficiente de transferencia de calor por conducción alto el grosor será menor y al estar en un medio con un valor de coeficiente de transferencia de calor por convección bajo se necesitará un aislante de menor grosor.

$$r_{cr} = \frac{k}{h} \quad (\text{EC. 12})$$

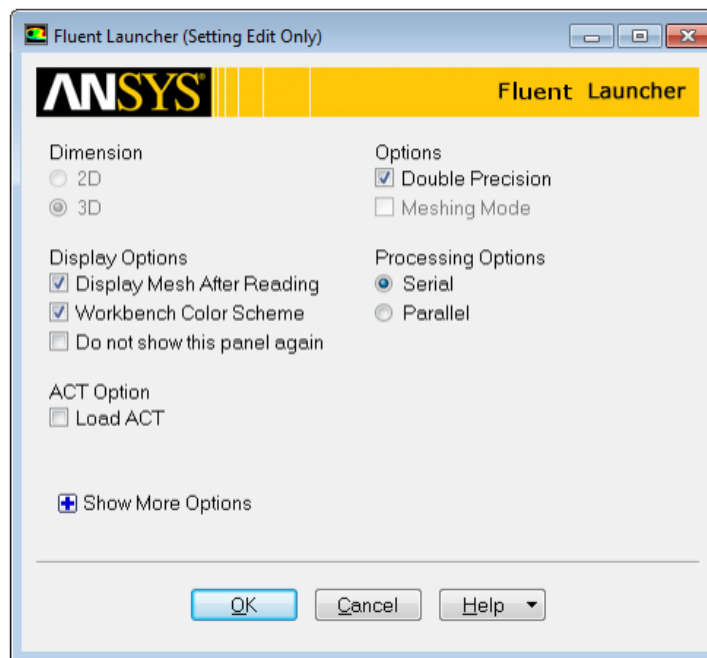
## G. ANSYS: fluent flow y fluidos no newtonianos

### 1. Análisis Ansys: *fluent flow*

El análisis en *fluent flow* es una aplicación del programa ANSYS. En esta aplicación se busca desarrollar un estudio de análisis de fluidos por medio el cálculo de elementos finitos. En este estudio tiene opciones como geometría en donde se puede tanto crear la geometría como importarla de programas de diseño. Luego en el modelo se realiza el mallado adecuado para el análisis que se realizará. Se recomienda en este apartado nombrar las partes de cada elemento del sistema ya que al establecer los parámetros se podrá conocer cada una de las diferentes partes.

La siguiente opción es *set up* en donde se establecen los parámetros para la simulación de CFD (dinámica de fluidos computacional) Al comenzar dicho análisis se presenta un menú de configuración preanálisis en el cual se puede configurar algunas opciones de inicio (Figura 38).

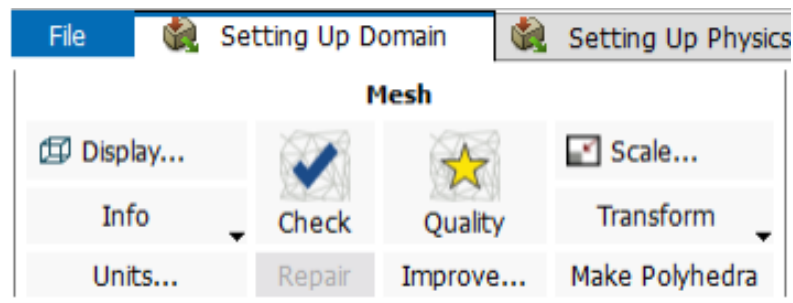
Figura 38. Menú de configuración preanálisis



(Elaboración propia, 2019)

Hay opciones que se tomaron en geometría o en mallado que el programa no permite cambiar en el momento de realizar dicha configuración, como es el caso de Dimension. Hay dos opciones de procesamiento, como lo son serial y paralelo. La diferencia entre las formas de procesamiento recae en que serial soluciona cada elemento del mallado uno por uno. Mientras que paralelo resuelve diferentes elementos a la vez. El procesamiento serial puede dar un resultado más acertado y mayor resolución, pero para sistemas con geometría complicada o con gran cantidad de partes el tiempo de resolución puede durar días. Luego se inicia el programa, *setting up domain* (Figura 39) se utiliza para especificar las unidades con las que se desea trabajar, debe coincidir con las unidades utilizadas en las anteriores configuraciones ya que los elementos del mallado pueden ser modificados alterando los resultados finales.

Figura 39. Setting up domain



(ANSYS, 2018)

En este mismo apartado, se puede revisar la calidad del mallado en *mesh check*, instantáneamente ANSYS responde con estadísticas del mallado además de enviar un mensaje dictando si el mallado es el adecuado o no (Figura 40).

Figura 40. Revisión de mallado

---

```

Domain Extents:
  x-coordinate: min (m) = -2.000000e-01, max (m) = 2.000000e-01
  y-coordinate: min (m) = -2.250000e-01, max (m) = 2.000000e-01
  z-coordinate: min (m) = 0.000000e+00, max (m) = 5.000000e-02
Volume statistics:
  minimum volume (m3): 1.144763e-10
  maximum volume (m3): 5.871098e-08
  total volume (m3): 2.511309e-03
Face area statistics:
  minimum face area (m2): 2.051494e-07
  maximum face area (m2): 3.429518e-05
Checking mesh.....
Done.

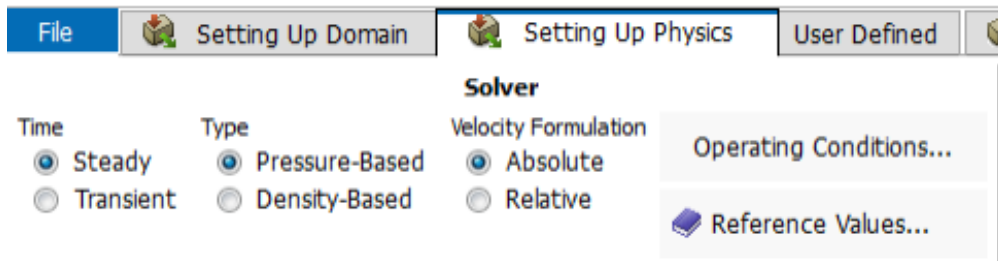
```

---

(Elaboración propia, 2019)

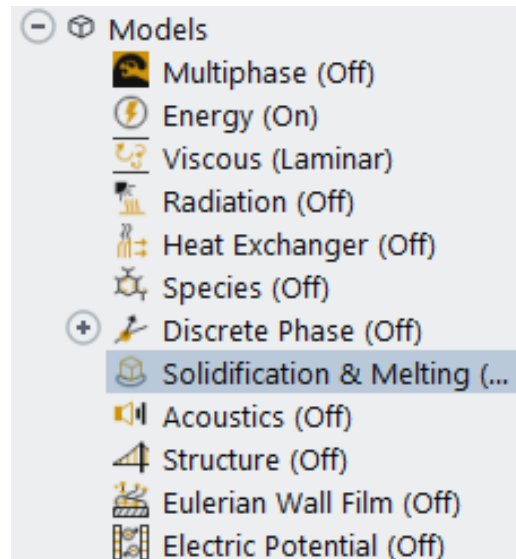
El siguiente apartado es *setting up physics* (Figura 41) en este caso se selecciona el modelo solucionador o solucionadores necesarios para realizar el análisis correctamente (Figura 42). Dependiendo de los solucionadores seleccionados son los datos requeridos que el programa solicitará en los siguientes apartados. El modelo de solidificación y fundición se utiliza cuando hay un cambio de fase dentro del análisis llevado a cabo. Este tipo de modelo utiliza una constante llamada *Mushy zone constant* ( $A_{mush}$ ) (Figura 43). Dicha constante mide la amplitud de la amortiguación; cuanto mayor sea el valor, más pronunciada es la transición de la velocidad del material a cero a medida que se solidifica. Este valor puede calcularse con la ecuación 13. Los datos de dicha ecuación son experimentales por lo que ANSYS recomienda valores de  $10^4$ - $10^7$  según las temperaturas de solidificación y fundición.

Figura 41. Setting up physics



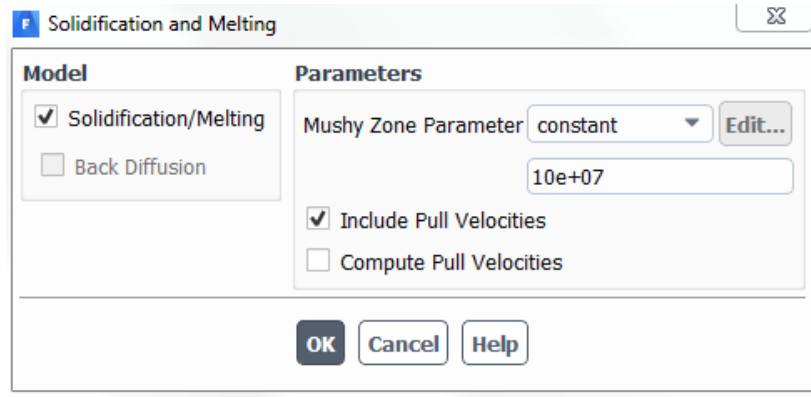
(ANSYS, 2018)

Figura 42. Tipos de modelos de solución



(Elaboración propia, 2019)

Figura 43. Configuración de solidificación y fundición

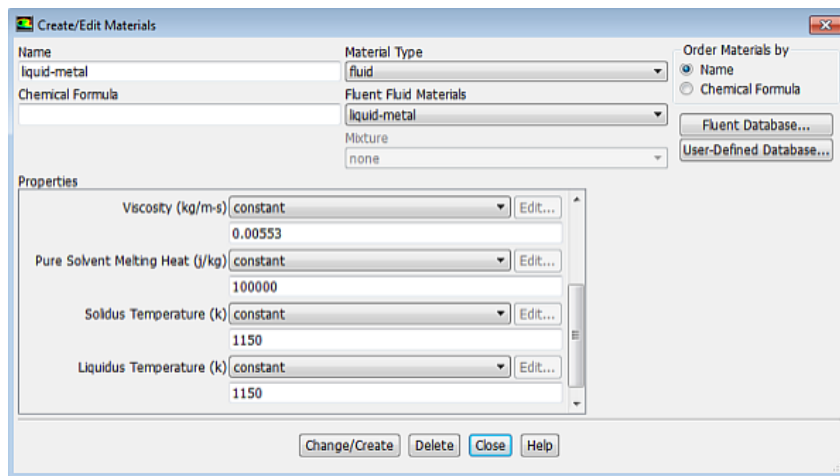


(Elaboración propia, 2019)

$$A_{mush} = \frac{S*(\beta^3 + \epsilon)}{(1-\beta)^2*(v-v_p)} \quad (EC. 13)$$

Donde  $\beta$  es la fracción de volumen líquido,  $\epsilon$  es una constante de 0.001,  $v_p$  es la velocidad de solidificación del fluido y  $v$  es la velocidad del fluido. El modelo de energía permite establecer parámetros relacionados a transferencia de calor en el modelo. Los materiales con los que está compuesto el modelo pueden definirse en el apartado de *materials*. En esta sección pueden definirse tanto materiales líquidos y sólidos. ANSYS posee una librería de materiales tanto sólidos y líquidos, además de tener la opción de crear materiales que no se encuentren en dichas librerías. Como se mencionó con anterioridad, dependiendo el modelo de solución seleccionado, son los datos que necesita ingresar para cada una de las partes del sistema analizado. En el caso de líquidos, el modelo de solidificación y fundición precisa de datos como la temperatura de solidificación y de fundición del fluido (Figura 44). Mientras que para un modelo de energía son necesarios datos como: densidad, calor específico, conductividad térmica y viscosidad.

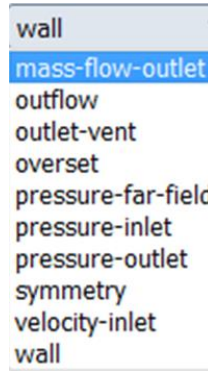
Figura 44. Configuración de materiales



(Elaboración propia, 2019)

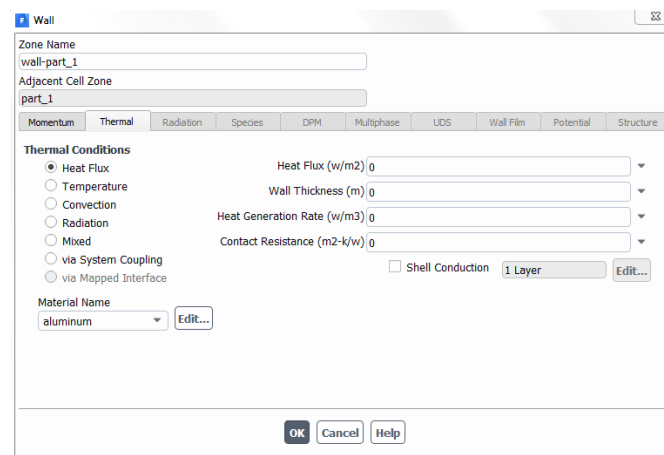
Las condiciones del sistema son una parte importante del análisis ya que dictan el comportamiento que tendrá cada uno de los componentes (Figura 45). Se debe elegir el tipo de condición necesaria para cada componente correspondiente del sistema. Algunas de las condiciones como *Mass flow inlet* o *mass flow outlet*, los cuales son utilizados para flujos que ingresan o salen del sistema. Estos se configuran al seleccionar el flujo y seleccionar la dirección que deben llevar dichos flujos. Otro tipo de condición es *wall*, este puede utilizarse para cualquier geometría. Según los modelos que se habiliten se disponen de diferentes opciones de configuración. Por ejemplo, la opción termal se habilita al seleccionar el modelo de energía. En la pestaña de termal se puede encontrar las diferentes formas de transferencia de calor como se puede observar en la Figura 46. Se debe tomar en cuenta que al no definir ninguno de dichos tipos de transferencia de calor, ANSYS automáticamente analizará el componente como transferencia de calor por conducción (razón por la que no existe la opción de conducción). Además de las condiciones antes mencionadas existen otros tipos de condiciones como lo son *pressure inlet* y *pressure outlet* los cuales son utilizados para determinar la presión tanto en la entrada como salida del fluido; *Symmetry* el cual dicta simetría entre dos cuerpos; *inlet vent* y *outlet vent* el cual puede utilizarse en el caso de sistema que incluya ventiladores.

Figura 45. Tipos de condiciones



(Elaboración propia, 2019)

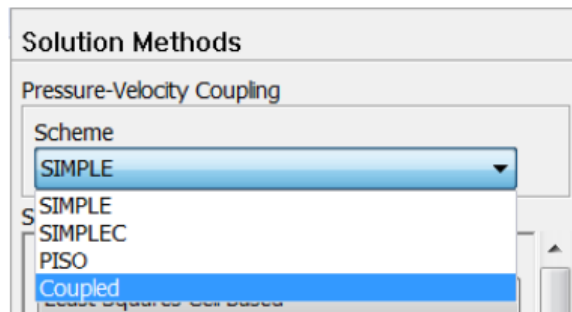
Figura 46. Configuración termal de *Wall*



(Elaboración propia, 2019)

ANSYS propone diferentes métodos de solución cada uno con diferentes características para solución de diferentes problemas. Se pueden encontrar métodos como lo son: SIMPLE (*semi-implicit method for pressure*), SIMPLEC, PISO (*Pressure-implicit with splitting operators*) o *coupled*. SIMPLE es el esquema por defecto, consume más memoria que los demás métodos de solución y no es muy eficiente. SIMPLEC, permite una mayor convergencia que SIMPLE para problemas menos complejos, permite baja división de factores por ejemplo flujo laminar sin modelos físicos implicados. PISO es útil para flujos inestables, el problema de este tipo de método de solución es la complejidad de convergencia ya que, si el mallado sobrepasa la unidad en el promedio de skewness, la solución no se acercará a lo que ocurrirá a la realidad. Por último, *coupled* el cual es el más rápido en converger de todos los métodos, pero puede alejarse del resultado real.

Figura 47. Métodos de solución



(Elaboración propia, 2019)

Otro parámetro importante al solucionar un problema de CFD es la inicialización de la solución ya sea por inicialización híbrida o standard. La inicialización standard el usuario selecciona las condiciones iniciales del problema y si se cree necesario colocar en alguna región variables individuales. Por ejemplo, en un problema de combustión colocar la región de alta temperatura para comenzar la reacción. El método híbrido, el cual es por defecto utilizado calcula los valores iniciales. Los valores de velocidad y presión los calcula por medio de la ecuación de la place. Los demás valores como temperatura, turbulencia, etc. Se calculan por medio de promedios por un particular método de interpolación. Este método en la mayoría de los casos converge en menor tiempo que el standard.

## 2. Fluidos no newtonianos

Se denomina así a los flujos los cuales no se comportan siguiendo la ley de Newton de la viscosidad. Existen tres tipos de estos fluidos, fluidos no newtonianos independientes del tiempo, fluidos no newtonianos dependientes del tiempo y fluidos no newtonianos viscoelásticos. Los fluidos newtonianos independientes del tiempo se caracterizan porque las tensiones tangenciales dependen únicamente de la velocidad de deformación (E. Ibarrola). Los polímeros entran en las características de dichos fluidos, dividiendo en dos características, plástico ideal o Bingham y plástico real. Las sustancias de plástico ideal se comportan elásticamente al tener tensiones tangenciales inferiores a un valor característico de tensión de fluencia y al superar este valor se comportan similar a un flujo newtoniano.

En cambio, el plástico real, son sustancias que no fluyen hasta la tensión de fluencia y se presentan una zona de viscosidad variable que disminuye con el incremento de la velocidad de deformación. Para este tipo de fluidos se presentan diferentes modelos de solución. Uno de estos modelos que describen la viscosidad de plásticos reales es el modelo *Power law*. Este modelo puede describirse como la ecuación 14.

$$\eta = m(T)\dot{\gamma}^{n-1} \quad (\text{EC.14})$$

Donde  $m(T)$  es el índice de consistencia (*consistency index*),  $n$  es el índice de fluido, el cual representa el comportamiento de adelgazamiento por cizalladura. Este es el comportamiento de un fluido no newtoniano de fluidos cuya viscosidad disminuye bajo esfuerzo cortante. El índice de consistencia puede modelarse como dependiente de la temperatura y (EC. 15)

$$m(T) = m_0 * \exp[-a(T - T_0)] \quad (\text{EC.15})$$

Donde  $m_0$  es la densidad inicial,  $a$  es un parámetro de sensibilidad,  $T$  y  $T_0$  son la temperatura final e inicial respectivamente. Se han obtenido datos experimentales de dichos parámetros para plásticos comunes como se puede observar en el Cuadro 4.

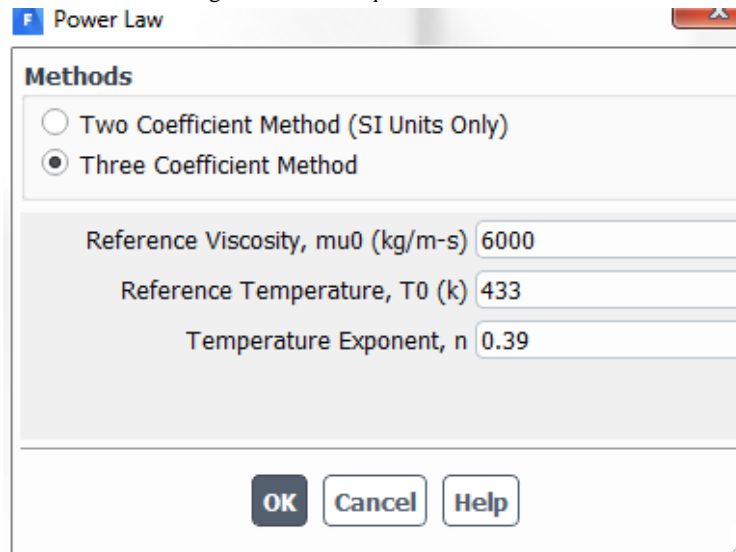
Cuadro 4. Datos experimentales para el modelo *Power law*

Polymer	$m \text{ (Pa} \cdot \text{s}^n)$	$n$	$a \text{ (}^\circ\text{C}^{-1})$	$T \text{ (}^\circ\text{C)}$
Polystyrene	$2.80 \times 10^4$	0.28	-0.025	170
High density polyethylene	$2.00 \times 10^4$	0.41	-0.002	180
Low density polyethylene	$6.00 \times 10^3$	0.39	-0.013	160
Polypropylene	$7.50 \times 10^3$	0.38	-0.004	200
Polyamide 66	$6.00 \times 10^2$	0.66	-0.016	290
Polycarbonate	$6.00 \times 10^2$	0.98	-0.015	300
Polyvinyl chloride	$1.70 \times 10^4$	0.26	-0.019	180

(T. Oswald, 2015)

Estos datos experimentales son útiles ya que con ellos se puede modelar de manera más sencilla un plástico real. Además, en muchos programas de análisis de elementos finitos se pueden utilizar dichos parámetros para describir al fluido como es el caso de ANSYS. Como se puede observar en la Figura 48, hay opciones de modelado del fluido por medio de *power law*, los cuales describen el comportamiento del fluido para una respuesta más acertada.

Figura 28. Modelo *power law* ANSYS



(Elaboración propia, 2019)

## V. METODOLOGÍA

### A. Elaboración de matriz de requerimientos

La matriz de requerimientos se elaboró de forma grupal con la información recopilada por cada módulo durante las reuniones con el grupo PPGT acerca de la construcción de la extrusora. La información reunida trataba acerca del tipo de instalación eléctrica, la disponibilidad de espacio, la limitación de conseguir materiales locales, tipos de plástico a trabajar, posibilidades económicas de la organización, limitaciones operacionales, tipos de productos deseados, etc. Los requerimientos se dividieron en: funcionales, operacionales y limitantes.

Para facilitar la identificación de los requerimientos se le asignó un código a cada uno de los requerimientos donde se identificaría el tipo de requerimiento que es y a que módulo pertenece, ejemplo: (FSE-01 que indica ser el requerimiento tipo funcional, del módulo de sistema de extrusión número 1).

- SE para el módulo de sistema de extrusión.
- ISE para el módulo de ingeniería de sistemas y sistema eléctrico.
- EET para el módulo de estructura de extrusora y análisis de transferencia de calor.
- MM para el módulo de matrices y moldes.

La matriz de requerimientos resultante se incluyó en la sección de resultados.

### B. Análisis financiero

Previo a la fase de diseño se planteó un análisis financiero, en el cual se obtuvo el tiempo que se tardaría la organización en recuperar la inversión de la máquina extrusora e inyectora. Se realizaron los cálculos tomando en cuenta el dinero necesario para la elaboración o reparación de las máquinas, el precio de la electricidad, el costo del material reciclado, la inflación, el salario mínimo para dos empleados, el costo de mantenimiento y el equipo de seguridad que la organización debía de comprar. El modelo que quiere adoptar la organización PPGT es la de alquilar las máquinas, por lo que realizó la suposición para la elaboración del análisis de que la empresa alquilaría la máquina extrusora por Q100.00 la hora. Se realizó el análisis de un caso favorable donde las máquinas se alquilaban durante 20 días al mes y un caso menos favorable donde las máquinas se alquilaban durante 14 días del mes.

El precio por kWh utilizado fue el del mes de julio del año 2019 registrado por EEGSA, la cuál es la empresa encargada de la distribución de energía en la ciudad capital de Guatemala. Para la tarifa de baja tensión no social (BTS) el precio que corresponde es de Q1.17. Para el material se cotizó el precio del plástico en la empresa Recicladoras de Centroamérica del grupo INGUAT, que corresponde a Q150.00 por cada 20 kg de plástico. Se consideró que se necesitaban por lo menos 400 kg de plástico para la operación mensual de las máquinas, lo que representa un gasto de Q 3000.00.

La tasa de inflación utilizada es de 4.37% que se obtuvo utilizando el promedio de las tasas de ritmo inflacionario durante el año 2019 según el Instituto Nacional de Estadística (INE). El salario mínimo para actividades no agrícolas es de Q 2,992.37 por persona según el Ministerio de Trabajo y Previsión Social de Guatemala en 2019. Para determinar el valor presente se utiliza la siguiente ecuación:

Para determinar el valor presente se utiliza la siguiente ecuación:

$$VP = \frac{VF}{(1 + i)^n}$$

Donde:

VP = Valor Presente, VF = Valor Futuro, i = Tasa de interés (inflación), n = Número de períodos analizados.

Cuadro 5. Costo de energía mensual

	<b>Extrusora (20 días)</b>	<b>Extrusora (14 días)</b>
Potencia requerida (kW)	5.5	5.5
Tiempo de uso al día (h)	8	8
Energía utilizada al día (kWh)	44	44
Energía utilizada al mes (kWh)	880	616
Cargo por energía (Q/kWh)	1.17	1.17
Costo de energía por hora (Q)	10.3	10.3
Costo de energía diario (Q)	51.48	51.48
<b>Costo de energía mensual (Q)</b>	<b>1,029.6</b>	<b>720.7</b>

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 6. Listado de costos máquina extrusora

<b>Costos</b>	<b>Cantidad (Q)</b>	<b>Períodos de Pago</b>
Costo de energía (20 días)	1,029.60	Mensual
Costo de energía (14 días)	720.70	Mensual
Costo de salarios del personal	5,984.74	Mensual
Costo de plástico	3,000.00	Mensual
<b>Costo de operación (20 días)</b>	<b>10,014.30</b>	<b>Mensual</b>
<b>Costo de operación (14 días)</b>	<b>9,705.50</b>	<b>Mensual</b>
<b>Costo de mantenimiento</b>	<b>500.00</b>	<b>Anual</b>
<b>Costos de equipo de seguridad</b>	<b>400.00</b>	<b>Semestral</b>
<b>Costos de maquinaria</b>	<b>17,952.06</b>	<b>Único</b>

Fuente: Elaboración propia

En el Cuadro 5 y Cuadro 6 se encuentran los costos que se utilizaron para el análisis financiero presentado en resultados. El costo de la maquinaria se muestra detalladamente en el Anexo 1.

### c. Elaboración de matriz de verificación y validación

La matriz de verificación y validación se elaboró asignando a cada requerimiento con uno de los tipos de verificación que se dividieron en 4 gracias a la literatura de O. Grady. Los métodos de verificación son:

- Examinación (E): Generalmente es no destructiva e incluye el uso de la vista, oído, olfato, tacto y gusto; el uso de equipo de laboratorio sencillo, la manipulación manual simple, etc.
- Análisis (A): Utiliza modelos matemáticos, simulaciones, algoritmos, gráficos, diagramas, etc.
- Prueba (P): Es un elemento de verificación e inspección comprobado por medio de medios técnicos.
- Revisión de diseño (D): Es un elemento que consiste en la revisión de los planos del sistema.

Se debe tomar en cuenta que los métodos de verificación deben de realizarse durante todo el proceso, y no realizarse una única vez al final, sino que cada vez que se termina una fase del sistema se debe de verificar y validar para continuar con la siguiente fase. Se elaborarán una matriz que combine los métodos de diseño y examinación (E y D), y cuadros para los métodos de análisis y pruebas (A y P), Estas matrices y cuadros se presentan en resultados.

## D. Requerimientos de sistema eléctrico

En primer lugar, se tomaron en cuenta los requerimientos de potencia y velocidad angular del sistema de extrusión proporcionado por el módulo “Implementación del sistema de extrusión”, así como los requerimientos de transferencia de calor necesarios para fundir el plástico proporcionado por el módulo “Estructura y análisis de transferencia de calor de una máquina extrusora”. Aparte se consideraron algunas limitantes y requerimientos para la elaboración del sistema eléctrico de la máquina extrusora que se encuentran listados en la matriz de requerimientos en resultados, estos son:

- Limitante de espacio. (no exceder 2m de largo, 1m de ancho y 1.2m de alto).
- El sistema eléctrico de la máquina extrusora debe de operar con una corriente monofásica y un voltaje de 220V, debido a que esa alimentación es la que se encuentra en las oficinas de PPGT.
- La corriente del sistema no puede exceder los 60 amperios, ya que esa es la capacidad instalada de los flipones de las oficinas de PPGT.
- Todos los elementos deben de poder comprarse en Guatemala.
- Todos los componentes del sistema eléctrico deben de estar sujetos con elementos no permanentes para asegurarse de que sean fáciles de montar y desmontar.
- La instalación eléctrica debe de ser ordenada y fácil de entender.
- Debe de contar con dispositivos de seguridad que permitan proteger al usuario durante la operación o mantenimiento del sistema eléctrico.
- Tener la capacidad de transmitir una potencia de 2 hp.
- Lograr una velocidad angular variable para los diferentes tipos de plástico. (Debido a sus diferentes densidades se necesitan diferentes rpm)
- Tener la capacidad de transmitir 1200 Watts de potencia térmica en la camisa de la extrusora (Diámetro de 45 mm). Y de transmitir 500 Watts de potencia térmica en la boquilla de extrusión.
- Estos requerimientos se encuentran expuestos en la matriz de requerimientos en resultados.

## E. Requerimientos de sistema de transmisión de potencia

En primer lugar, se tomaron en cuenta los requerimientos de potencia y velocidad angular del sistema de extrusión proporcionado por el módulo “Implementación del sistema de extrusión”. Aparte se consideraron algunos limitantes y requerimientos para la selección del sistema de transmisión de potencia de la máquina extrusora que se encuentran listados en la matriz de requerimientos en resultados, estos son:

- Limitante de espacio. (no exceder 2m de largo, 1m de ancho y 1.2m de alto).
- Todos los elementos deben de poder comprarse en Guatemala.

- Todos los componentes del sistema de transmisión de potencia deben de estar sujetos con elementos no permanentes para asegurarse de que sean fáciles de montar y desmontar.
- Debe de contar con dispositivos de seguridad que permitan proteger al usuario durante la operación o mantenimiento del sistema eléctrico.
- Transmitir una potencia mínima de 2 hp.
- Lograr una velocidad angular variable para los diferentes tipos de plástico. (Debido a sus diferentes densidades se necesitan diferentes rpm).
- Permitir un rango de velocidad angular de entre 45-56 rpm.
- Estos requerimientos se encuentran expuestos en la matriz de requerimientos en resultados.

## F. Diseño de componentes estructurales

### 1. Diseño y selección de materiales para estructura

Al comienzo del proyecto de una extrusora de plástico, se definieron los requisitos necesarios para la operación correcta de la máquina extrusora. Los requerimientos principales para el módulo de estructura se pueden observar en el Cuadro 7. Los códigos del siguiente cuadro fueron elaborados por el módulo: Ingeniería en sistemas.

Cuadro 7. Requisitos módulo estructura

<b>Código</b>	<b>Requerimiento</b>
FEET-01	La estructura de la extrusora debe ser capaz de soportar un peso máximo de 300 lb (1334 N)
FEET-02	La estructura debe soportar las vibraciones generadas por el sistema extrusor.
FEET-03	La sujeción de la estructura con el sistema de extrusión y el sistema de transmisión de potencia debe de ser con elementos de sujeción no permanentes.
FEET -04	El análisis de transferencia de calor debe asegurarse que podrá fundir los distintos tipos de plástico.
OEET-01	El sistema de extrusión debe contar con una tolva que sirva como mecanismo de seguridad para garantizar que los usuarios no estén en contacto con el husillo extrusor.
OEET -02	Garantizar la seguridad del usuario evitando que estos puedan entrar en contacto con el aislante, que será fibra de vidrio.
LEET-01	La estructura debe tener un factor de seguridad mínimo de 5 en capacidad de carga.

(Elaboración propia, 2019)

Al definir los requerimientos de operación necesarios para la elaboración de la máquina extrusora, se comenzó a realizar el diseño de la estructura. La estructura fue donada por el departamento de ingeniería Mecánica de la Universidad del Valle de Guatemala, con dimensiones máximas de 2 metros de largo, 1 metro de ancho por 1.2 metros de alto que eran parte de los requerimientos solicitados por parte de *Precious plastic* Guatemala. Con el fin de realizar dichos análisis se utilizó el *software Autodesk Inventor 2018* versión estudiantil en donde se realizó la estructura. A continuación, se elabora un espacio de diseño en donde se realizó el boceto en dos dimensiones de la estructura la cual tiene dimensiones de 1.280 metros de largo, 0.645 metros de ancho y 0.875 metros de alto (Figura 49). El perfil con dimensiones 34.10mm x 34.10 mm con grosor de 2mm con el que cuenta la estructura no se encuentra en la librería de perfiles de *Inventor*, esta librería posee diferentes normas como ISO y ANSI. Al no encontrar los perfiles en la Librería de *Inventor* se optó por diseñar dicho perfil. Para ello se debe crear una nueva librería en el proyecto y en dicha Librería diseñar en un boceto de dos dimensiones el perfil con las dimensiones antes descritas. Luego, se utilizó una herramienta de *Inventor* llamada *i part*. Esta función permite crear el diseño básico, pero con diferentes dimensiones las veces que sea necesario. En este caso la única dimensión que se desea cambiar es la longitud, por lo que se elige la *opción custom parameter column* en la columna de longitud. A continuación, se utiliza la herramienta *IDF Component* para publicar la nueva librería y esté disponible en las librerías de *Inventor*. Por último, se prosiguió a insertar los perfiles creados a la estructura en el espacio de trabajo de *Assembly*. Se tenía previsto utilizar una estructura de acero 1018 ya que este material es común en el mercado local por lo que facilita replicar la estructura, además de tener un precio bajo y alta resistencia a la fluencia.

Figura 49. Estructura



(Elaboración propia, 2019)

Se prosiguió a realizar el diseño del soporte del tornillo de potencia y componentes derivativos (Figura 50). Al inicio se optó por tres chumaceras las cuales debían soportar la camisa como se puede observar en anexos en la figura 100. Este diseño fue cambiado por el actual debido a que no se contaba con el espacio suficiente en el cilindro no tanto para las chumaceras como para las resistencias eléctricas por lo que se optó por cambiar de diseño. El soporte actual consta de una chumacera de serie PJ300 de diámetro interno de 44 mm, un perfil de aluminio de 90 mm x 90 mm. La chumacera fue elegida con base en la camisa seleccionada por el módulo de diseño y manufactura de un tornillo de potencia para máquina extrusora de plástico. Ya que su propósito es contener la camisa (44.45mm de diámetro externo) por medio de su diámetro

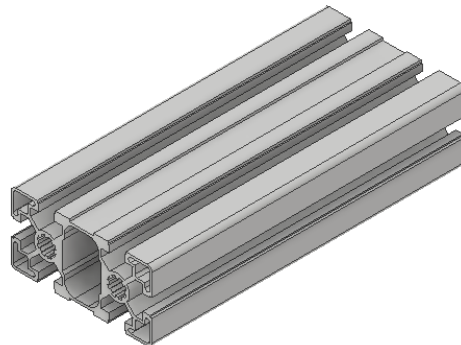
interno. Los perfiles de aluminio serie 6063 tienen el propósito de sostener las chumaceras y a la vez equiparar la altura del motor y así facilitar una alineación en el eje correspondiente. Este perfil fue seleccionado por su facilidad de alinearse por las correderas que posee, además de su facilidad de ensamble. Luego se diseñó el soporte del acople del tornillo de potencia, el cual fue elaborado con acero 1045, se seleccionó dicho material debido a su facilidad de maquinado, ya que es un diseño complejo se prefería un material que no presentará complicaciones al ser maquinado. El soporte del acople posee un agujero con diámetro de 95mm ya que es el mismo diámetro del acople. Para diseñar las piezas que componen el soporte se utilizó nuevamente el programa *Autodesk Inventor*.

Figura 50. Sistema de soporte



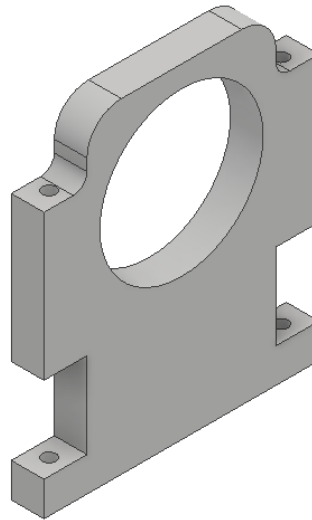
(Elaboración propia, 2019)

Figura 51. Perfil de aluminio



(Elaboración propia, 2019)

Figura 52. Soporte de acople



(Elaboración propia, 2019)

## 2. Diseño de tolva y selección de material

Para el diseño de la tolva se debe considerar el tiempo de funcionamiento de la máquina ya que es el tiempo que la tolva debe albergar el plástico durante el funcionamiento de la extrusora. Se determinó en el módulo de moldes de inyección y matrices de extrusión que el tiempo necesario para obtener un perfil de plástico de la máquina extrusora es de una hora por lo que se determinó el volumen necesario para que la tolva pudiese retener material por el tiempo antes mencionado. Para ello se debe obtener la densidad aparente, la cual se obtiene mediante la medición de volumen que ocupa el plástico en una taza medidora (Figura 53) y el peso de la misma cantidad de plástico en una balanza (Figura 54).

Figura 53. Volumen de plástico



(Elaboración propia, 2019)

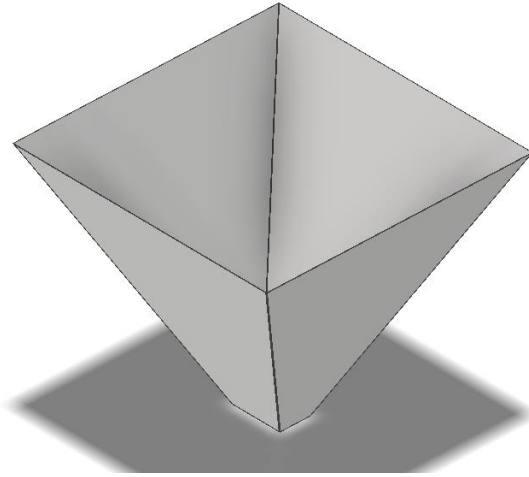
Figura 54. Peso de plástico



(Elaboración propia, 2019)

Luego se dividió el peso dentro del volumen para determinar la densidad aparente. El flujo másico fue obtenido del módulo de diseño y manufactura de un tornillo de potencia para máquina extrusora de plástico. Teniendo dichos valores se utilizó las ecuaciones 1 y 2 para obtener el volumen que debe tener la tolva para operar por una hora, los resultados se pueden observar en el Anexo 5. Por medio de iteraciones de las dimensiones principales de la tolva se obtuvo el mismo volumen y las dimensiones necesarias para conservar el polímero por una hora. Para ello se utilizaron las ecuaciones de 3 a 6. Se puede observar los resultados en el Anexo 5. La tolva fue realizada con acero ASTM -36 (lamina negra) de 1/16 de pulgada de espesor, debido que es sencillo de soldar y el material permite por su espesor puede ser doblado fácilmente.

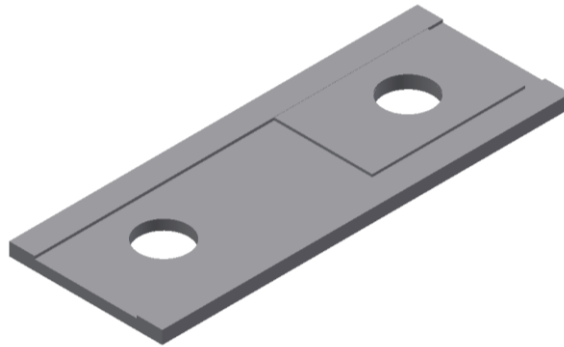
Figura 55. Diseño de tolva



(Elaboración propia, 2019)

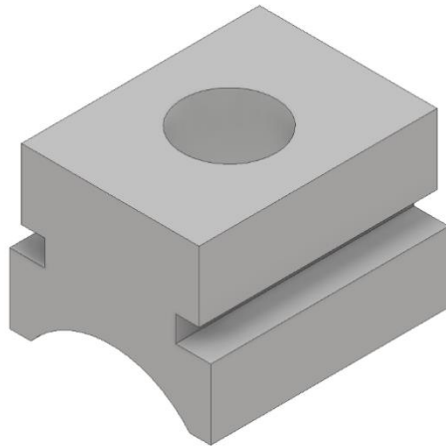
Luego se diseñó un mecanismo el cual pudiese reducir el flujo de plástico que entra en la máquina extrusora desde la tolva y además facilitara el cambio de polímero en uso (Figura 56). Esto para evitar que los polímeros se mezclen entre sí. La idea de este mecanismo se tomó de los rieles utilizados en tornos convencionales. Dichos rieles son fabricados con hierro fundido y al agregar una placa de acero 1018 dentro del riel con un agujero del mismo diámetro, permite el movimiento de la tolva para reducir el diámetro de entrada de plástico o cambiar de agujero para desechar el material que ya no es necesario para el proceso. Luego se diseñó una pieza la cual conecta la tolva con el cilindro de calefacción (Figura 57). Dicha pieza tendrá un agujero por el cual pasará el plástico triturado y se conectará a la garganta de alimentación.

Figura 56. Mecanismo corredero para reducción de flujo



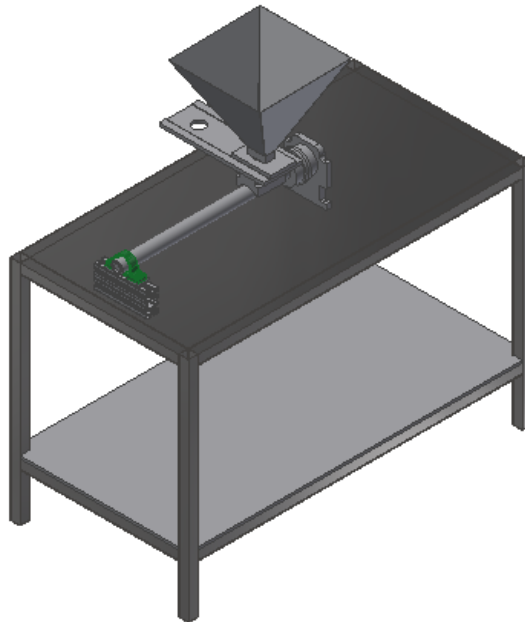
(Elaboración propia, 2019)

Figura 57. Pieza de soporte de tolva



(Elaboración propia. 2019)

Figura 58. Estructura con soporte y mecanismo de tolva



(Elaboración propia, 2019)

## G. Análisis en programa

### 1. Análisis estructural

Al realizar el diseño de la estructura de la extrusora, se llevó a cabo un diagrama de cuerpo libre (Figura 59) donde se tomaron como fuerzas el peso del motor y reductor ( $W_1$ ) y el peso de los demás elementos que conforman la extrusora ( $W_2$ ). Además de las reacciones obtenidas debido al peso de dichos componentes  $R_1$  y  $R_2$  las cuales tienen un valor de la suma de los pesos de todos los componentes dividido cuatro, ya que son cuatro soportes, los datos obtenidos se pueden observar en el Cuadro 8. Al conocer la cantidad de fuerzas y la distancia entre cada una de ellas, se llevó a cabo un análisis estructural en el programa

ANSYS *Workbench* 2018. El *software* realiza simulaciones con base en elementos finitos donde se puede tener resultados muy cercanos a la realidad. El módulo seleccionado para comenzar la simulación es análisis estructural estático en el cual se interactuó con sus diferentes modalidades.

- Datos de ingeniería
- Geometría
- Modelo
- *Setup*
- Solución
- Resultados

En los datos de ingeniería se seleccionaron los materiales con los cuales se va a interactuar durante la simulación. El acero 1018 se utilizará para la estructura, la placa del mecanismo de corredera (Figura 56) y pieza de soporte de tolva (Figura 57). Para las chumaceras y riel del mecanismo de corredera se seleccionó el material de hierro fundido. La camisa y el tornillo de potencia son de material acero 1020 *cold rolled* y acero 4041 respectivamente, dichos materiales se definieron en el módulo de diseño y manufactura de un tornillo de potencia para máquina extrusora de plástico. Mientras que para la tolva se seleccionó acero ASTM A-36 (lamina negra). Para el sistema de acople se seleccionó hierro fundido gris, ASTM A-48 clase 40 y para el perfil que sostiene la chumacera aluminio 6063. Algunos de estos materiales no se encuentran en las librerías de materiales de ANSYS por lo que se crea el material colocado características como densidad, módulo de Young, coeficiente de *Poisson* ya que dichos datos son necesarios para resolver el problema de elementos finitos. Teniendo ya el material seleccionado, se prosigue a utilizar la opción de geometría la cual se tiene la opción de poder importar geometrías de otros programas, en este caso se utiliza para seleccionar el diseño ya realizado en el *software Inventor*.

Luego el diseño se traslada a la opción de modelo, donde se ejecuta a la misma vez el *setup* del programa. Se selecciona la opción de materiales y se colocan los materiales anteriormente definidos para cada uno de los elementos compuestos. Como siguiente paso, se cambió el contacto entre el husillo y camisa a *frictionless* ya que el husillo no estará unido a la camisa y durante el funcionamiento tendrá movimiento, no se seleccionó el contacto *frictional* ya que no se conocía el coeficiente de fricción entre el polímero y camisa ni el polímero y el tornillo de potencia. Se colocó la fuerza que representa el peso que tendría el motor y la caja reductora. Estos elementos no fueron colocados en el diseño por la dificultad de encontrar un mallado adecuado por el tamaño y la complejidad de las figuras además del tiempo de demora del *software* para resolver el análisis incluyendo estos elementos por lo que se optó colocar una fuerza de misma magnitud que dichos componentes. Para calcular dicho peso se utilizó el archivo *CAD* de los fabricantes del motor y reductor seleccionados por el módulo: ingeniería en sistemas. En el *software Autodesk Inventor* se encuentra la opción llamada *iproperties* la cual brinda la opción *Physical* donde realiza cálculos como volumen, área y masa de la pieza. Al conocer la masa la cual es de 180 lbs (804 N) se agrega el apartado de fuerza en estructura estática. En dicho apartado, se selecciona el elemento en donde esta estará aplicada en este caso la plancha de la estructura. Luego, se selecciona el tipo de soporte con el cual va a interactuar la estructura. En este caso se seleccionó el soporte fijo en la base de la estructura. Se eligió dicho soporte ya que la estructura no rotará o tendrá otro movimiento durante su funcionamiento. Además, se seleccionó un soporte cilíndrico dentro de la camisa ya que sin ese soporte el husillo giraría indefinidamente y el programa no encontraría solución. Luego se agrega el apartado de gravedad el cual además del peso ya agregado, se coloca para tomar en cuenta en la simulación dicha fuerza y tener resultados más cercanos a la realidad. Este componente se agrega automáticamente en el eje Y con un valor de  $-9806.6\text{mm/s}^2$  por lo que no se realizaron ningún cambio. Además, dentro de la camisa se insertó una presión de 54 kpa y una velocidad angular de 70 RPM (7.33 rad/s) en el tornillo de potencia.

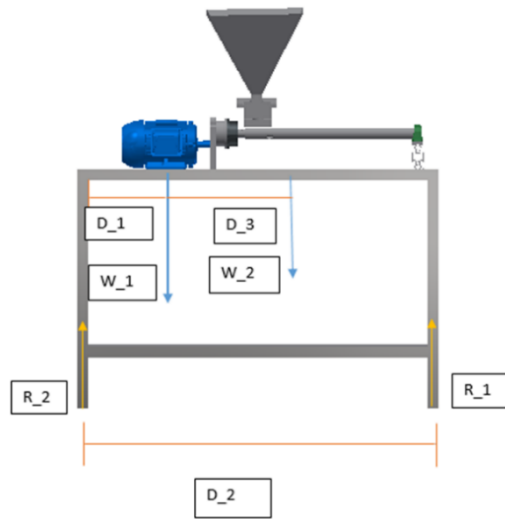
A continuación, se debe seleccionar el mallado para la estructura y el soporte del tornillo de potencia. Al contar con diferentes componentes se recomienda realizar un mallado para cada uno de ellos. Para el tornillo de potencia y camisa se seleccionó el método de *Patch conforming* este tipo de mallado se divide en tetraedros a lo largo del tornillo de potencia, *Patch conforming* no permite mucha interacción por lo que se utiliza la opción de *body sizing* la cual permite manipular el mallado, en ese caso se interactuó con el tamaño del elemento el cual se definió de 8 mm. Luego se utilizó el método *Multizone* para la estructura, riel y tolva. *Multizone* utiliza hexaedros para resolver el análisis de elementos finitos. Las demás partes fueron resueltas por medio del mallado automático de ANSYS.

Cuadro 8. Valores de diagrama de cuerpo libre

<b>Fuerzas y distancias</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
Peso de motor y reductor ( $W_1$ )	804.4	N
Peso de elementos de extrusora ( $W_2$ )	262.6	N
Reacciones ( $R_1$ y $R_2$ )	266.75	N
Distancia uno ( $D_1$ )	439	mm
Distancia dos ( $D_2$ )	1038	mm
Distancia tres ( $D_3$ )	599	mm

(Elaboración, propia, 2019)

Figura 59. Diagrama de cuerpo libre



(Elaboración propia, 2019)

Pasos de configuración	Cuadro 9. Configuración <i>static structural</i> Instrucción
<i>Engineering Data</i>	Importar materiales o crear materiales no existentes para el modelo. <i>Structural Steel</i> para estructura y corredera de tolva, aluminio 6063 para soporte frontal, acero 1045 soporte trasero, para chumacera, riel y acople hierro fundido. Acero ASTM A-36 para tolva y extensión de tolva.
<i>Geometry</i>	Crear o importar geometría.
<i>Model</i>	Crear mallado, se utilizó <i>patch conforming</i> y <i>body sizing</i> con tamaño de elemento de 8 mm para camisa y tornillo de potencia. <i>Multizone</i> para estructura, riel y tolva. Utilizar <i>mesh metric</i> para corroborar el mallado.
<i>Setup</i>	Configurar fuerza de 804 N, velocidad angular de 70 RPM y presión de 45 Kilopascasles. Además de colocar <i>fixed support</i> en los soportes de la

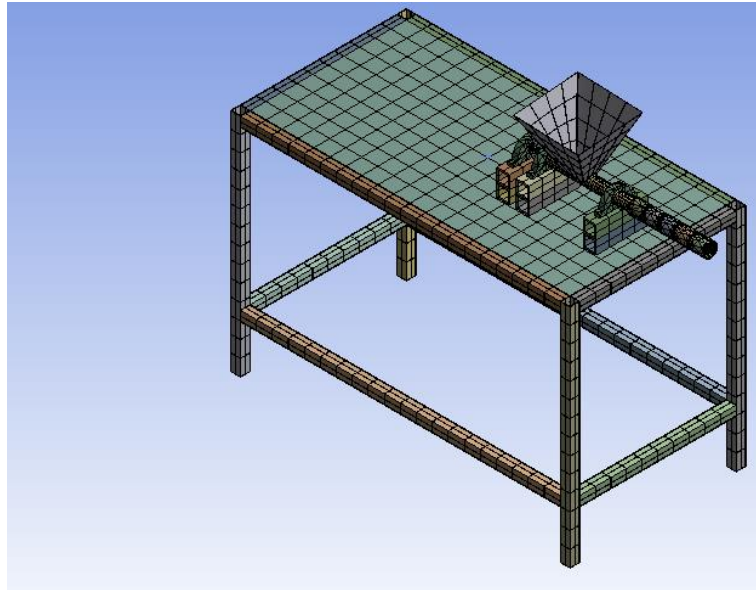
estructura, así como *cilindrical support* en el interior de la camisa.

*Solution*

Seleccionar soluciones como *total deformation*, *stress tool* para factor de seguridad y *strain equivalent (von-mises)*.

(Elaboración propia)

Figura 60. Mallado de extrusora



(Elaboración propia, 2019)

Para conocer si la calidad de un mallado es la correcta se debe verificar en el apartado de *quality* y corroborar que en *mesh metric* el promedio no sobrepase la unidad y sea lo menor posible, además este apartado muestra gráficas las cuales muestran el promedio de elementos utilizados por cada pieza por lo que se puede conocer con mayor exactitud cuál de las piezas posee un mallado de menor calidad

Figura 61. Calidad del mallado análisis estructural y modal

Mesh Metric	Skewness
<input type="checkbox"/> Min	1.3057e-010
<input type="checkbox"/> Max	0.99716
<input type="checkbox"/> Average	0.37822
<input type="checkbox"/> Standard Devi...	0.22376

(Elaboración propia, 2019)

En los resultados se puede obtener diferentes soluciones como deformación, tensión e incluso el factor de seguridad de la estructura realizada. En este caso se obtuvieron resultados como la deformación total, factor de seguridad y tensión equivalente.

## 2. Análisis de vibraciones

El siguiente análisis realizado fue el análisis de vibraciones. Dicho análisis se realizó de igual manera en el programa ANSYS. Para este análisis se debe seleccionar un análisis modal y colocarlo sobre la solución obtenida en el análisis estructural estacionario. De esa manera se realizará un análisis de vibraciones con precarga. Se recomienda realizar el análisis de vibraciones con precarga ya que de esa manera la simulación tomará en cuenta los pesos involucrados en el análisis anterior como ocurrirá en la realidad. Al unirlo con el análisis anterior, no solo las fuerzas configuradas con anterioridad serán reutilizadas, sino también el mallado, geometría. Se utilizó la opción de modelo para solucionar dicho análisis y tener las frecuencias naturales de los diferentes partes de la estructura.

Al obtener los datos del programa *Ansys Workbench*, se comparó los valores obtenidos con la frecuencia a la cual el motor opera ya que, al operar a la misma frecuencia, podría causar el fenómeno de resonancia. En el caso de la extrusora de plástico, esta opera con un variador de frecuencia, así como su nombre lo indica este varía su frecuencia del motor y así poder variar la velocidad angular del tornillo de potencia. Al variar las frecuencias de operación se debe tener la precaución de no operar por las frecuencias obtenidas por mucho tiempo o podría causar resonancia en algún equipo.

## 3. Análisis térmico

Posteriormente se realizó el análisis térmico, en el cual su objetivo es calcular la cantidad de resistencias eléctricas necesarias para fundir plásticos como polipropileno (PP) y polietileno (HDPE). Para realizar dicho cálculo se utilizó un análisis de resistencias térmicas, el cual se basa en los diferentes métodos en los que se transfiere el calor como lo son radiación, convección y conducción. Este análisis se basa en el cálculo de resistencias eléctricas, en donde dependiendo del esquema eléctrico es la forma en que se calcula la magnitud total de las resistencias. En el caso de transferencia de calor se utiliza el mismo cálculo, pero en este caso existen diferentes resistencias tanto para conducción (EC. 7) y convección (EC. 8). La suma de las resistencias depende del tipo de geometría, ya que puede ser en paralelo (EC. 9) o en serie (EC. 10).

Los elementos que formaron parte de este análisis son los que conforman el sistema de extrusión, es decir, aislante, resistencias eléctricas, camisa, polímero y tornillo de potencia. Estos elementos se clasificaron según el tipo de transferencia que ocurre en cada elemento. Para aislante, resistencia, camisa y tornillo se clasificaron en conducción mientras que en convección el flujo de plástico y el fluido del exterior el cual fue considerado como aire a una temperatura de 25 grados Celsius con presión de 101.25 kPa. Al clasificar por tipo de transferencia de calor, se calcularon las resistencias térmicas según las ecuaciones antes mencionadas. En el caso de la transferencia de calor por convección se calculó el coeficiente de transferencia de calor por convección ( $h$ ), para ello se necesita calcular el número de Nusselt el cual depende del tipo de flujo ya sea turbulento o laminar por lo que se debe calcular el número de Reynolds (EC. 16). Conociendo el tipo de fluido de este análisis se utiliza EC. 17 para flujo laminar y tubo circular. Para luego utilizar la ecuación del número de Nusselt (EC. 18) y calcular el coeficiente de transferencia de calor por convección. Con el coeficiente de transferencia de calor por convección, se utilizó la ecuación 12 para conocer el radio crítico y colocar dimensiones adecuadas al aislante. Al calcular cada una de las resistencias térmicas, se utilizó la ecuación 10 para conocer el total de resistencia térmica y con ello se utilizó la ecuación 11 para conocer la pérdida por transferencia de calor, la cual es la necesaria para fundir los diferentes tipos de plástico.

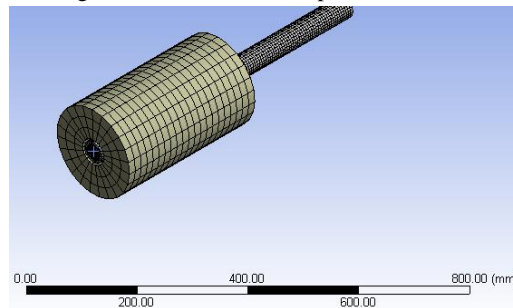
$$Re = \frac{\rho * V * L_c}{\nu} \quad (EC. 16)$$

$$Nu = 3.66 + \frac{0.065 \left(\frac{D}{L}\right) Re Pr}{[1 + 0.04 \left(\frac{D}{L}\right) Re Pr]^{2/3}} \quad (EC.17)$$

$$Nu = \frac{hD}{k} \quad (EC.18)$$

Al obtener los resultados anteriores que pueden encontrarse en anexo 6. transferencia de calor, se utilizó el programa ANSYS para simular lo que ocurriría al seleccionar la cantidad de resistencias obtenidas con el ejercicio anterior. Luego se desea verificar si la potencia obtenida en los cálculos anteriores es la suficiente para fundir los polímeros. Para dicho análisis se utilizó el análisis *fluid flow*, ya que el plástico se tomará como un fluido y este tipo de análisis permite transferencia de calor por los diferentes métodos de transferencia de calor antedicho. Para ello se utilizan los elementos antes mencionados en este análisis para colocar el mallado correcto a cada uno de ellos. En el caso de aislante, resistencias y camisa, se colocó 360 mm para el tamaño de elemento sin utilizar ningún método en especial. Mientras que para el flujo de plástico se colocó un método de tetraedros con un algoritmo llamado *patch independent* con un tamaño máximo de elemento de 960mm con un ángulo entre elementos de 85°. Al igual que el análisis estructural se utilizó la herramienta de *mesh metric* para conocer la calidad del mallado utilizado.

Figura 62. Mallado de componentes térmicos



(Elaboración propia, 2019)

Figura 63. Calidad de mallado de componentes térmicos

Mesh Metric	Skewness
<input type="checkbox"/> Min	1.4022e-003
<input type="checkbox"/> Max	0.87103
<input type="checkbox"/> Average	0.30266
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0.14538

(Elaboración propia, 2019)

Al finalizar el mallado, se comienza a establecer las condiciones de frontera, así como las ecuaciones necesarias para resolver el problema. Para definir las ecuaciones necesarias se utiliza el apartado de modelo en donde en este caso se utiliza la ecuación de energía, así como solidificación y fundición. Luego de definir las ecuaciones necesarias se define los materiales los cuales están elaborados para ello se debe separar los

elementos dentro de fluidos y sólidos. En este caso el único fluido es el flujo de plástico y como sólidos el aislante el cual es fibra de vidrio, resistencias las cuales poseen propiedades de aluminio y la camisa la cual es de acero AISI 1026.

Al definir los diferentes materiales se selecciona el apartado de *cell zone coditions* donde se coloca el material correspondiente a cada una de las partes. Además, en dicho apartado se debe definir el estado de los componentes entre sólido y líquido. Luego, en *Boundary coditions* se debe colocar las condiciones iniciales, para este problema se colocó una temperatura de 22° C, presión de 101kpa y gravedad de -9.81m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup> se coloca las condiciones a las cual estará cada elemento. En la admisión de plástico se coloca el flujo de masa calculado en el módulo de diseño y manufactura de un tornillo de potencia para máquina extrusora de plástico. Luego, en el flujo de plástico se seleccionó una transferencia de calor por convección además de la resistencia térmica calculada con anterioridad, además del coeficiente de transferencia de calor por convección. En el caso de la camisa se colocó solamente la resistencia térmica que fue calculada en este caso no se coloca el tipo de transferencia de calor ya que el programa por defecto supone que la transferencia de calor es por conducción. El aislante al igual que la camisa se colocó solamente la resistencia correspondiente. En el caso de las resistencias se colocó el flujo de calor calculado con anterioridad y temperatura a la cual debería conservarse para fundir el plástico. Por último, se selecciona *solution initalization* para inicial la solución y luego en *run calculation* se selecciona la cantidad de iteraciones que se necesite para la solución, entre mayor sea la cantidad de iteraciones la solución será más exacta pero el tiempo de solución será de mayor tiempo.

Cuadro 10. Configuración *fluent flow*

Pasos de configuración	Instrucción
<i>Geometry</i>	Importar o crear geometría.
<i>Mesh</i>	<p>Se realiza el mallado correspondiente a los elementos. Aislante, resistencias y camisa, se colocó 360 mm para el tamaño de elemento sin utilizar ningún método en especial.</p> <p>Para el flujo de plástico se colocó un método de tetraedros con un algoritmo llamado <i>patch independent</i> con un tamaño máximo de elemento de 960mm con un ángulo entre elementos de 85°.</p> <p>Corroborar la calidad del mallado en <i>mesh metric</i>.            Crear <i>named selection</i> tanto para cada componente como para la entrada y salida de plástico.</p>
<i>setup</i>	<p>En general colocar gravitatal acceleration en eje y con un valor de -9.81 m/s<sup>2</sup>. <i>Models</i> encender los modelos <i>solidification and melting</i> y <i>energy</i> en <i>solidification and melting</i> colocar <i>mushy zone parameter</i> en 10<sup>7</sup>. Luego, en <i>materials</i> seleccionar <i>create and edit</i> sobre líquidos. Colocar los datos correspondientes en las propiedades a excepción de la viscosidad que se selecciona el modelo <i>power</i></p>

*law*, colocar los parámetros correspondientes del cuadro 2. Utilizar nuevamente *create and edit*, en este caso para los materiales sólidos. Los materiales utilizados son: acero *cold roll* 1026 para la camisa, fibra de vidrio para el aislante, aluminio para resistencias. Posteriormente se utiliza *cell zone conditions* para colocar los materiales correspondientes a cada elemento. Luego, en *Boundary conditon* colocar en cada sólido el valor correspondiente de resistencia térmica calculado con anterioridad y que puede observarse en anexos. En el caso de resistencias, colocar un flujo másico

#### **Pasos de configuración**

#### **Instrucción**

*solution*

de 300 w/m<sup>2</sup>. Al fluido se debe colocar el flujo másico inicial el cual es 5 kg/h.

En métodos seleccionar *Scheme SIMPLEC*. En inicialización seleccionar *standard initialization* y pulsar *initialize*. En *run calculation* colocar el número de iteraciones necesario, en este caso se seleccionó 1000. Por último, activar *calculate*.

*Results*

En resultados colocar *contour* la variable temperatura e ir variando en *locations* los elementos de análisis para conocer sus temperaturas.

(Elaboración propia, 2019)

## H. Construcción de estructura y selección de uniones

### 1. Construcción de tolva

Luego de realizar los análisis correspondientes, se inició la construcción de la tolva de alimentación., Se realizaron los trazos en dicha lámina de modo que esta pudiese doblarse. Estos trazos fueron obtenidos del programa *Autodesk Inventor* con *flat pattern* en *sheet metal*. Al tener los trazos de la tolva se prosiguió a cortar la figura con cortadora plasma. Luego con ayuda de una prensa hidráulica y un mecanismo basado en

perfiles angulares (figura 66) se dobló cada cara de la tolva a un ángulo de 90°. Por último, se unieron las dos pestañas de la tolva por medio de soldadura eléctrica. Los planos de los componentes de tolva se pueden encontrar en anexo 9.

Figura 64. Corte con plasma de tolva



(Elaboración propia, 2019)

Figura 65. Reducción de filos



(Elaboración propia, 2019)

Figura 66. Mecanismo de doblado de tolva



(Elaboración propia, 2019)

Figura 67. Tolva



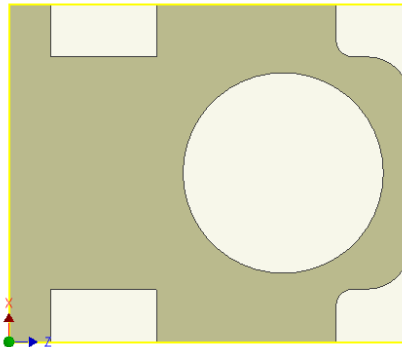
(Elaboración propia, 2019)

## 2. Construcción de soporte de cilindro de calefacción

Para el soporte de cilindro de calefacción se utilizó un perfil de aluminio de 90 x 90 mm. Con una sierra de banda se cortó el perfil de aluminio a 200mm para tener un largo parecido al de las chumaceras. Los perfiles de aluminio no fueron suficientes para lograr igualar la altura de la camisa con la chumacera. Por lo que se utilizó platinas de aluminio con aproximadamente 9.7 mm de alto y un agujero de 3/8 para alcanzar la altura deseada. Para dichos perfiles se utilizó tornillos hexagonales de 3/8 x 1 1/2 de pulgada para sujetar la chumacera, platinas de aluminio y el perfil de aluminio. Se utilizó el mismo diámetro tornillos para sujetar los perfiles a la estructura. Para poder sostener la camisa se aumentó el diámetro de las chumaceras por medio de uso de torno convencional.

En el caso del soporte del acople, se utilizó la herramienta Inventor *HSM* 2018 para realizar una estrategia de maquinado que luego se utilizaría en una fresadora CNC. Se puede apreciar en anexo 9 las estrategias, así como herramientas utilizadas para este proceso además de los planos de todos los elementos de soporte. Para ello se utilizó un bloque de acero 1045 de medidas de 200 mm x 160 mm x 19.05mm el cual fue rectificadado. Se centró el origen en la esquina inferior izquierda como se puede observar en la Figura 68. En esta primera operación se busca maquinar el diámetro del acople de 95mm. Para esto se utilizó una estrategia *pocket* en 2D, con fresa de 7/16 de pulgada. Con una profundidad de corte en el eje Z de 1 mm en 1 mm y profundidad de corte lateral (empaño) de 5mm

Figura 68. Colocación inicial de pieza



(Elaboración propia, 2019)

Luego, utilizando el mismo centro de origen, se realizó una estrategia 2D *adaptive* para maquinar la región superior del acople. Se utilizó esta estrategia ya que es la única estrategia que permitía maquinar la sección antes mencionada sin dañar la prensa que sujetaba la pieza. La pieza fue colocada a 90° de su posición anterior en la mesa y se centró el origen en la esquina inferior izquierda. En esta operación se maquinó la sección de la Figura 69. Se realizó con un *pocket* 2D con los mismos parámetros de corte y herramienta que la primera y segunda operación. Se replicó las mismas operaciones para el lado contrario.

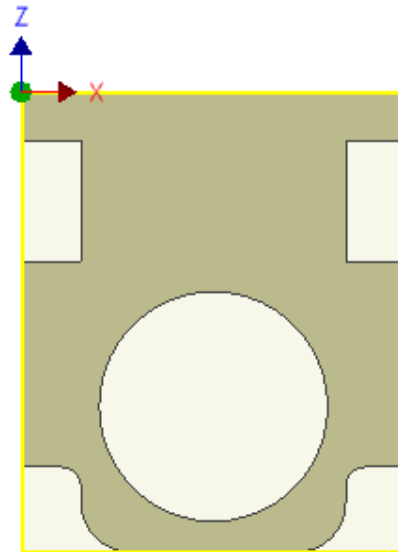
Figura 69. Segunda sección maquinada



(Elaboración propia, 2019)

En el siguiente paso la pieza se montó en la mesa como en la Figura 70, centrandose en la esquina inferior izquierda. Se utilizó una estrategia de perforación para realizar las perforaciones para los tornillos en la base del acople. Para ello se utilizó una broca de centro a 5mm de profundidad y luego se completó la perforación con broca 25/64 pulgadas con profundidad de picoteo de 1 mm en 1mm.

Figura 70. Segunda colocación de pieza

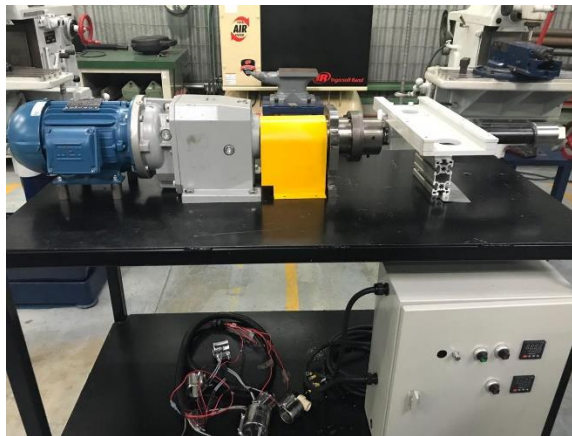


(Elaboración propia, 2019)

### 3. Selección de elementos de sujeción

Para el sistema de soporte de cilindro de calefacción se optó por utilizar tornillos como elemento de sujeción. Se eligió este método de sujeción ya que facilita la alineación de la máquina extrusora, permitiendo el movimiento gradual de los elementos. También permite la separación de los elementos de la extrusora, por lo que al dañarse un componente o se necesite realizar mantenimiento será más sencillo el manejo de cada componente por separado. Con respecto a la tolva y componentes, el soporte del mecanismo de la tolva (Figura 57) fue soldado hacia la camisa debido a que al utilizar tornillos se podrá dañar la camisa, permitiendo que se perdiera tanto producto como presión, lo cual afecta el producto final. La tolva también fue soldada a la extensión de tolva y este a la corredera, ya que de otra forma se podrá dañar la tolva permitiendo escape de producto. La corredera por su parte está sujeta al soporte de la tolva por tornillos, para facilidad de limpieza tanto del mecanismo como del cilindro.

Figura 71. Soporte de cilindro de calefacción



(Elaboración propia, 2019)

## VI. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### A. Matriz de requerimientos

Se dividieron los requerimientos por el tipo de requerimiento que pueden ser según la literatura de Larson & Wertz (2005), por el módulo encargado de cumplir el requerimiento y por el tipo de verificación de requerimiento que debe cumplir según la literatura de O. Grady (2016). Algunos de los requerimientos deben de ser cumplidos por más de un módulo, por lo que es tarea del Ingeniero en Sistemas, concretar reuniones cada 2 semanas para que todos los integrantes se encuentren alineados en el cumplimiento de los objetivos del proyecto en la búsqueda de hacer cumplir los requerimientos.

#### 1. Requerimientos funcionales

Cuadro 11. Requerimientos funcionales de la máquina extrusora

<i>Código</i>	<i>Requerimiento</i>	<i>Módulo</i>	<i>Verificación</i>
<i>FSE-01</i>	El sistema de extrusión debe de ser construido con materiales resistentes a la corrosión y a las altas temperaturas	SE	E
<i>FSE-02</i>	Debe ser capaz de extruir 50 libras diarias de plástico	SE	A y P
<i>FSE-03</i>	El acople entre el sistema de extrusión y el sistema de transmisión de potencia debe de estar sujeto con elementos de sujeción no permanentes.	SE	D y E
<i>FSE-04</i>	El husillo extrusor debe de tener una vida útil de 4000 horas	SE	A
<i>FISE-01</i>	Se debe de trabajar con corriente monofásica (220 V)	ISE	E
<i>FISE-02</i>	El sistema de transmisión debe ser capaz de transmitir 2 hp hacia el husillo extrusor a 56 RPM.	ISE	E y P
<i>FEET-01</i>	La estructura de la extrusora debe ser capaz de soportar un peso máximo de 300 libras.	EET	A
<i>FEET-02</i>	La estructura debe soportar las vibraciones generadas por el sistema extrusor.	EET	A y P
<i>FEET-03</i>	La sujeción de la estructura con el sistema de extrusión y el sistema de transmisión de potencia debe de ser con elementos de sujeción no permanentes.	EET	R y E
<i>FEET-04</i>	El análisis de transferencia de calor debe de asegurarse que se podrá fundir los distintos tipos de plástico.	EET	A y P
<i>FMM-01</i>	Definir las condiciones de operación de la máquina extrusora	MM	P

Fuente: Elaboración propia

## 2. Requerimientos operacionales

Cuadro 12. Requerimientos operacionales de la máquina extrusora

<i>Código</i>	<i>Requerimiento</i>	<i>Módulo</i>	<i>Verificación</i>
<i>OT-01</i>	Mantenimiento de la máquina extrusora debe de poder realizarse en las oficinas del grupo PPGT	Todos	E
<i>OT-02</i>	Todas las partes móviles deben de estar cubiertas y debidamente señaladas para que el usuario no pueda entrar en contacto con ellas.	Todos	E
<i>OSE-01</i>	Cámara de extrusión debe de ser fácil de desmontar para facilitar su limpieza y mantenimiento.	SE	D
<i>OISE-01</i>	En los manuales se debe encontrar las posibles causas de error de la máquina y que hacer para comprobarlas y repararlas.	ISE	E
<i>OISE-02</i>	En los manuales se debe encontrar el equipo de protección necesario para la utilización de la máquina.	ISE	E
<i>OISE-03</i>	Asegurarse que las conexiones del sistema eléctrico sean ordenadas, fáciles de entender y que no se encuentren expuestas al usuario.	ISE	D y E
<i>OISE-04</i>	Garantizar la seguridad del usuario evitando que estos puedan entrar en contacto con el aislante, que será de fibra de vidrio.	ISE	E
<i>OEE-01</i>	El sistema de extrusión debe contar con una tolva que sirva como mecanismo de seguridad para garantizar que los usuarios no estén en contacto con el husillo extrusor	EET	D y E
<i>OMM-01</i>	Permitir un montaje y desmontaje sencillo de las matrices de extrusión para que el proceso sea más eficiente y seguro para el usuario.	MM	D y P

Fuente: Elaboración propia

### 3. Limitantes

Cuadro 13. Limitantes de la máquina extrusora

<i>Código</i>	<i>Requerimiento</i>	<i>Módulo</i>	<i>Verificación</i>
<i>LT-01</i>	El espacio de la maquinaria no debe exceder 2m de largo, 1m de ancho y 1.2m de alto.	Todos	D
<i>LT-02</i>	El área de operación no debe de exceder los 3*3*2.2 (m)	Todos	D
<i>LT-03</i>	Debe de ser transportable en un pick up con palangana de 2.2m de largo y 1.6m de ancho	Todos	E
<i>LT-04</i>	La inversión debe de poder ser recuperada en menos de 2 años.	Todos	A
<i>LT-05</i>	Los elementos para construir la extrusora deben de adquirirse de proveedores de Guatemala.	Todos	E
<i>LSE-01</i>	Todos los elementos del sistema de extrusión deben de tener como mínimo un factor de seguridad de 2.	SE	A
<i>LISE-01</i>	Se debe poder trabajar todos los equipos con corriente monofásica (220V)	ISE	D y E
<i>LEET-01</i>	La estructura debe tener un factor de seguridad mínimo de 5 en su capacidad de carga.	EET	A

Fuente: Elaboración propia

## B. Análisis financiero

En el Cuadro 14 se puede observar la proyección de gastos y ganancias en un caso favorable, durante 12 meses de operación. Con estos cálculos se encontró que en el mes 4 se recuperará la inversión de las máquinas, suponiendo que la empresa alquilaría la máquina extrusora 20 días del mes por Q100.00 la hora durante 8 horas diarias.

Cuadro 14. Análisis financiero máquina extrusora (caso favorable)

	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
<b>Maquinaria</b>	-Q17.952,06					
<b>Costo de operación</b>	-Q10.014,34	-Q10.014,34	-Q10.014,34	-Q10.014,34	-Q10.014,34	-Q10.014,34
<b>Equipo de seguridad</b>	-Q400,00	Q0,00	Q0,00	Q0,00	Q0,00	Q0,00
<b>Venta extrusora</b>	Q16.000,00	Q16.000,00	Q16.000,00	Q16.000,00	Q16.000,00	Q16.000,00
<b>Flujo mensual</b>	-Q12.366,40	Q5.985,66	Q5.985,66	Q5.985,66	Q5.985,66	Q5.985,66
<b>Valor presente</b>		Q5.963,94	Q5.942,30	Q5.920,74	Q5.899,26	Q5.877,85
<b>Ganancias totales en VP</b>		-Q6.402,46	-Q460,16	Q5.460,58	Q11.359,84	Q17.237,69

Fuente: Elaboración propia

En el Cuadro 15 se puede observar la proyección de gastos y ganancias en un caso desfavorable, durante 24 meses de operación. Con estos cálculos se encontró que en el mes 14 se recuperará la inversión de las máquinas, suponiendo que la empresa alquilaría la máquina extrusora 14 días del mes por Q100.00 la hora durante 8 horas diaria. Este es el peor caso donde la empresa podría recuperar la inversión, si se bajan de estos estándares los costos superarán a las ganancias mensualmente y se deberán modificar las condiciones de operación para recuperar la inversión de las máquinas.

Cuadro 15. Análisis financiero máquina extrusora (caso desfavorable)

	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
<b>Maquinaria</b>	-Q17.952,06					
<b>Costo de operación</b>	-Q9.705,46	-Q9.705,46	-Q9.705,46	-Q9.705,46	-Q9.705,46	-Q9.705,46
<b>Mantenimiento</b>	Q0,00	Q0,00	Q0,00	Q0,00	Q0,00	Q0,00
<b>Equipo de seguridad</b>	-Q400,00	Q0,00	Q0,00	Q0,00	Q0,00	Q0,00
<b>Venta extrusora</b>	Q11.200,00	Q11.200,00	Q11.200,00	Q11.200,00	Q11.200,00	Q11.200,00
<b>Flujo mensual</b>	-Q16.857,52	Q1.494,54	Q1.494,54	Q1.494,54	Q1.494,54	Q1.494,54
<b>Valor presente</b>		Q1.489,12	Q1.483,71	Q1.478,33	Q1.472,97	Q1.467,62
<b>Ganancias totales en VP</b>		-Q15.368,40	-Q13.884,69	-Q12.406,36	-Q10.933,39	-Q9.465,77

	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12
<b>Costo de operación</b>	-Q9.705,46	-Q9.705,46	-Q9.705,46	-Q9.705,46	-Q9.705,46	-Q9.705,46
<b>Mantenimiento</b>	Q0,00	Q0,00	Q0,00	Q0,00	Q0,00	-Q500,00
<b>Equipo de seguridad</b>	-Q400,00	Q0,00	Q0,00	Q0,00	Q0,00	Q0,00
<b>Venta extrusora</b>	Q11.200,00	Q11.200,00	Q11.200,00	Q11.200,00	Q11.200,00	Q11.200,00
<b>Flujo mensual</b>	Q1.094,54	Q1.494,54	Q1.494,54	Q1.494,54	Q1.494,54	Q994,54
<b>Valor presente</b>	Q1.070,93	Q1.456,99	Q1.451,70	Q1.446,44	Q1.441,19	Q955,56
<b>Ganancias totales en VP</b>	-Q8.394,84	-Q6.937,85	-Q5.486,15	-Q4.039,71	-Q2.598,52	-Q1.642,97

	Mes 13	Mes 14	Mes 15	Mes 16	Mes 17	Mes 18
<b>Costo de operación</b>	-Q9.705,46	-Q9.705,46	-Q9.705,46	-Q9.705,46	-Q9.705,46	-Q9.705,46
<b>Mantenimiento</b>	Q0,00	Q0,00	Q0,00	Q0,00	Q0,00	Q0,00
<b>Equipo de seguridad</b>	-Q400,00	Q0,00	Q0,00	Q0,00	Q0,00	Q0,00
<b>Venta extrusora</b>	Q11.200,00	Q11.200,00	Q11.200,00	Q11.200,00	Q11.200,00	Q11.200,00
<b>Flujo mensual</b>	Q1.094,54	Q1.494,54	Q1.494,54	Q1.494,54	Q1.494,54	Q1.494,54
<b>Valor presente</b>	Q1.047,82	Q1.425,56	Q1.420,38	Q1.415,23	Q1.410,10	Q1.404,98
<b>Ganancias totales en VP</b>	-Q595,15	Q830,41	Q2.250,80	Q3.666,03	Q5.076,12	Q6.481,10

Fuente: Elaboración propia

## A. Matriz de verificación y validación

### 1. Verificación y validación de revisión de diseño y examinación

En el Cuadro 16 se presentan la verificación de los requerimientos de diseño y examinación, esta matriz cuenta con el código del requerimiento, el método que se utilizó para verificarlo, la fecha en la que se elaboró la revisión de verificación y la actividad correspondiente a cada requerimiento para su validación.

Cuadro 16. Matriz de verificación y validación de diseño y examinación

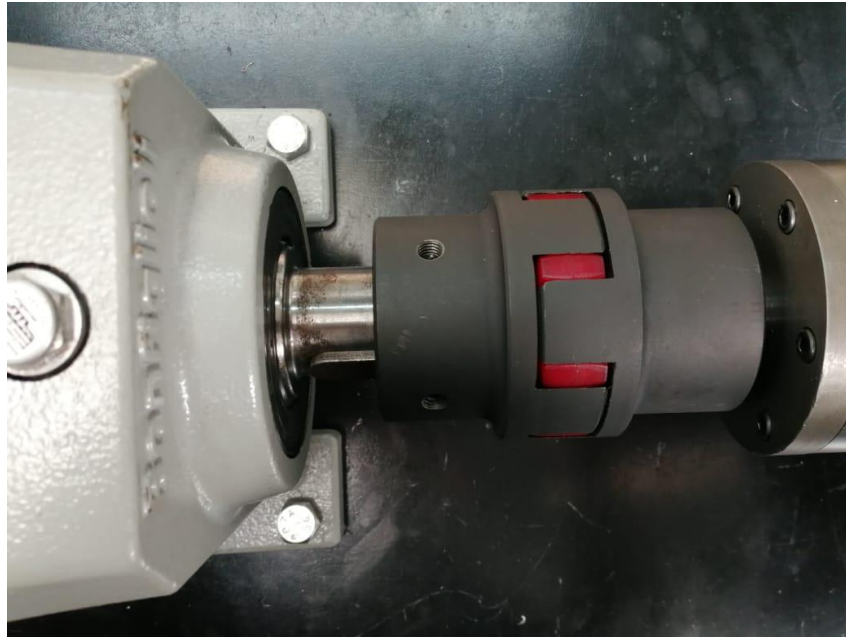
<i>Fecha de revisión</i>	<i>Código</i>	<i>Método de verificación</i>	<i>Actividad de validación</i>
12/08/19	FSE-01	E	Examinación en que el acero comprado para el husillo extrusor (4140T) resista la corrosión y las altas temperaturas.
25/07/19	FSE-03	D y E	Revisión de diseño en Inventor Autodesk. Examinación de que la sujeción del acople entre el sistema de extrusión y el sistema de transmisión de potencia sea con elementos de sujeción no permanentes.
04/09/19	FISE-01	E	Examinación de que todos los equipos de la máquina extrusora funcionan con corriente monofásica (110-220V). El motor trifásico funciona con un variador de frecuencia.
<i>Fecha de revisión</i>	<i>Código</i>	<i>Método de verificación</i>	<i>Actividad de validación</i>

<b>Fecha de revisión</b>	<b>Código</b>	<b>Método de verificación</b>	<b>Actividad de validación</b>
04/09/19	FISE-02	E	El motor trifásico WEG según especificaciones es capaz de transmitir 2 hp de potencia y con la caja reductora entregar 56 RPM al husillo extrusor. (la velocidad angular puede disminuir a 56RPM con el variador de frecuencia)
25/07/19	FEET-03	D y E	Revisión de diseño en Autodesk Inventor. Examinación de que la sujeción entre la estructura y los sistemas de extrusión y transmisión de potencia sean con elementos de sujeción no permanentes.
15/10/19	FMM-02	D	Revisión de diseño de cuanto plástico en peso es necesario utilizar para cada uno de los moldes de la inyectora
	OTE-03	E	Examinación de que todas las partes móviles de la extrusora se encuentren cubiertas y señalizadas para evitar accidentes con el usuario.
25/07/19	OSE-01	D	Revisión de diseño en Autodesk Inventor de sistema de extrusión para verificar si su montaje y desmontaje será sencillo, por razones de limpieza y mantenimiento.
	OISE-01	E	Revisión del listado de posibles causas y verificar si no hace falta agregar alguna.
	OISE-02	E	Revisión del listado y forma de utilización del equipo de seguridad.
15/09/19	OISE-03	D y E	Revisión de diseño del sistema eléctrico para verificar que sea un diseño fácil de entender. Y examinación física del sistema eléctrico para verificar si está ordenado y no hay cables expuestos que dañen la integridad del usuario.
15/11/19	OISE-04	E	Examinación de la camisa extrusora en el área donde se encuentran las resistencias eléctricas, para verificar si están apropiadamente aisladas con fibra de vidrio. Y verificando que los usuarios no puedan entrar en contacto con la fibra de vidrio.
15/11/19	OEET-01	D y E	Revisión de diseño de la tolva para verificar el caudal que entregará al sistema de extrusión. Examinación de la tolva que determinó si evita que los usuarios puedan dañarse al entrar en contacto con el sistema extrusor.
15/10/19	OMM-01	D	Revisión de diseño en Autodesk Inventor para verificar que el montaje y desmontaje de las matrices de extrusión serán sencillas y seguras de realizar para el usuario.
25/07/19	LT-01	D	Revisión de diseño en Autodesk Inventor para verificar que las especificaciones de espacio no sean excedidas en el diseño de la estructura.
25/07/19	LT-02	D	Revisión de diseño en Autodesk Inventor para verificar que el área de operación no será excedida. Basándose en el diseño de la estructura, al menos 1 metro de operación en todas las direcciones.
01/11/19	LT-05	E	Examinación de las facturas de la compra de todos los elementos para verificar que todos fueron comprados a proveedores de Guatemala.

Fuente: Elaboración propia

En las figuras 72, 73, 74 y 75 se pueden observar algunos ejemplos de la verificación de los requerimientos listados en el Cuadro 16.

Figura 72. Verificación de requerimiento FSE-03



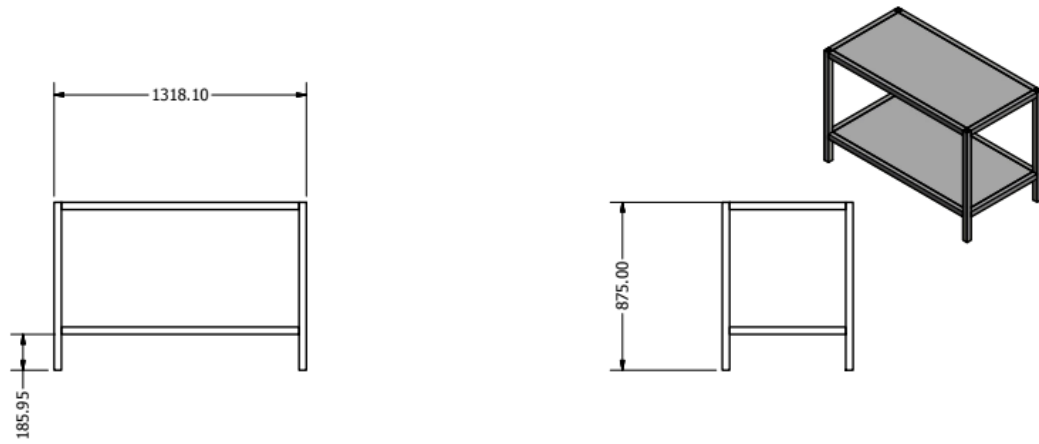
Fuente: Elaboración propia

Figura 73. Verificación de requerimiento OISE-04



Fuente: Elaboración propia

Figura 74. Verificación de requerimientos LT-01 y LT-02.



Fuente: Elaboración propia

Figura 75. Verificación de requerimiento OTE-03.



Fuente: Elaboración propia

## 2. Verificación y validación de análisis

En los cuadros del 17-22 se presentan las verificaciones de los requerimientos por medio del método de análisis, estos cuadros incluyen: el nombre, y el código del requerimiento, el objetivo de la verificación, que método utilizaron para el análisis de resultados, la fecha en la que se realizó la validación y el resultado de la verificación.

Cuadro 17. Capacidad de extrusión FSE-02

Nombre de análisis	Capacidad de extrusión
Método de análisis	Cálculos y Excel
componente comprobado	Matriz de extrusión
objetivo	Verificar que el sistema de extrusión tendrá la capacidad de extruir 50 libras de (PP) diarias, en un turno de 8 horas.
Código	FSE-02
Fecha de revisión	15/10/2019
Resultado	Según los cálculos realizados por el módulo SE, la máquina tendrá la capacidad de extruir 8.5 lb/h. Lo que sería equivalente a 68 libras en un turno diario de 8 horas.

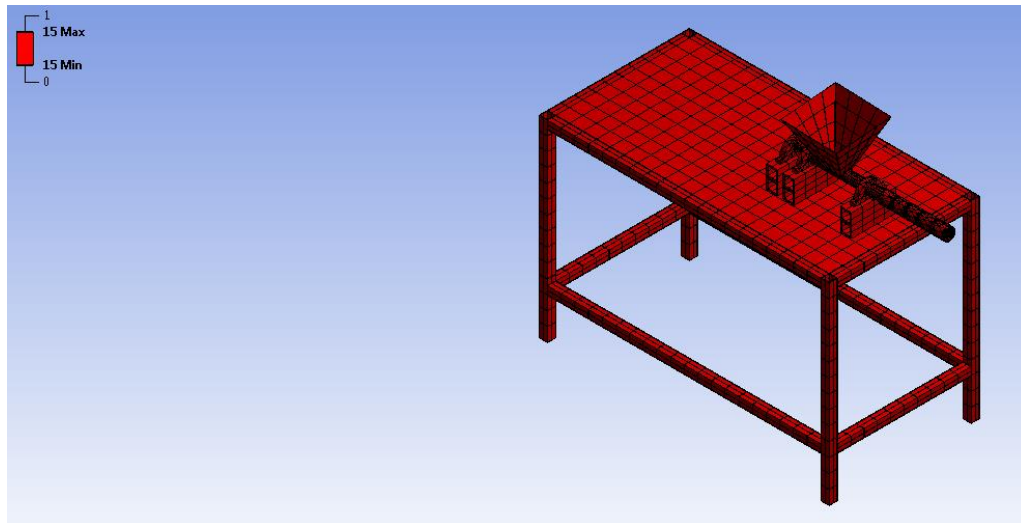
Fuente: Elaboración propia

Cuadro 18. Capacidad de carga de la estructura FEET-01 y LEET-01

Nombre de análisis	Capacidad de carga de la estructura
Método de análisis	Análisis en ANSYS <i>Workbench</i>
componente comprobado	Estructura
objetivo	Garantizar que la estructura de la máquina extrusora soportará una carga de 300 lb distribuidas uniformemente sobre la parte superior de la estructura, con un factor de seguridad mínimo de 5.
Código	FEET-01 y LEET-01
Fecha de revisión	30/08/2019
Resultado	Como se puede observar en la Figura 76. La capacidad de carga de la estructura tiene un factor de seguridad mínimo de 15.

Fuente: Elaboración propia

Figura 76. Análisis de ANSYS de la capacidad de carga de la estructura.



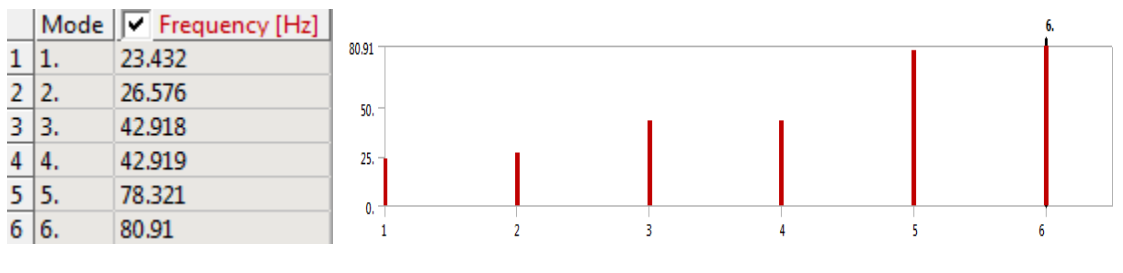
Fuente: Elaboración propia

Cuadro 19. Análisis de vibraciones de la estructura FEET-02

Nombre de análisis	Análisis de vibraciones
Método de análisis	Análisis en ANSYS <i>Workbench</i>
componente comprobado	Estructura
objetivo	Garantizar que la estructura soportara las vibraciones generadas por los elementos rotativos (motor WEG 3 hp) de la máquina extrusora.
Código	FEET-02
Fecha de revisión	30/08/2019
Resultado	Como se puede observar en la figura 77. Se realizó el análisis modal de la estructura, con lo que se determinó las frecuencias que entran en resonancia con la estructura. Se llegó a la conclusión que ninguno de los elementos rotativos entrará en resonancia con la estructura.

Fuente: Elaboración propia

Figura 77. Análisis de vibraciones de la estructura.



Fuente: Elaboración propia

Cuadro 20. Recuperación de inversión LT-04.

--	--

Nombre de análisis	Recuperación de inversión
Método de análisis	Cálculos y Excel
componente comprobado	Viabilidad de la máquina extrusora
objetivo	Verificar que la máquina extrusora entregada al grupo PPGT pueda recuperar la inversión realizada para construirla en un tiempo máximo de 2 años. (Esto depende de si siguieron las recomendaciones del análisis y del nivel de compromiso del grupo PPGT). Los estudiantes de la UVG, así como la UVG, no garantizan la recuperación de la inversión.
Código	LT-04
Fecha de revisión	25/07/2019
Resultado	Como se puede observar en los Cuadros 14 y 15. La inversión se recuperaría en 14 meses en el caso desfavorable. Pero si las condiciones de trabajo fueran más bajas, no se recuperaría la inversión con los supuestos tomados en el análisis financiero.

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 21. Cargas en sistema de extrusión LSE-01

Nombre de análisis	Cargas en husillo extrusor y camisa
Método de análisis	Cálculos y Excel
componente comprobado	Sistema de extrusión
objetivo	Garantizar que los elementos que componen el sistema de extrusión tengan un factor de seguridad mínimo de 2. Los elementos que componen el sistema extrusor son: husillo extrusor, camisa del husillo, cojinetes, sistema de sujeción de cojinetes y el acople entre el husillo extrusor y la caja reductora.
Código	LSE-01
Fecha de revisión	15/09/2019
Resultado	En los cálculos del módulo de Sistema de extrusión de una máquina extrusora se puede encontrar que estos elementos tienen un factor de seguridad mayor a 2.

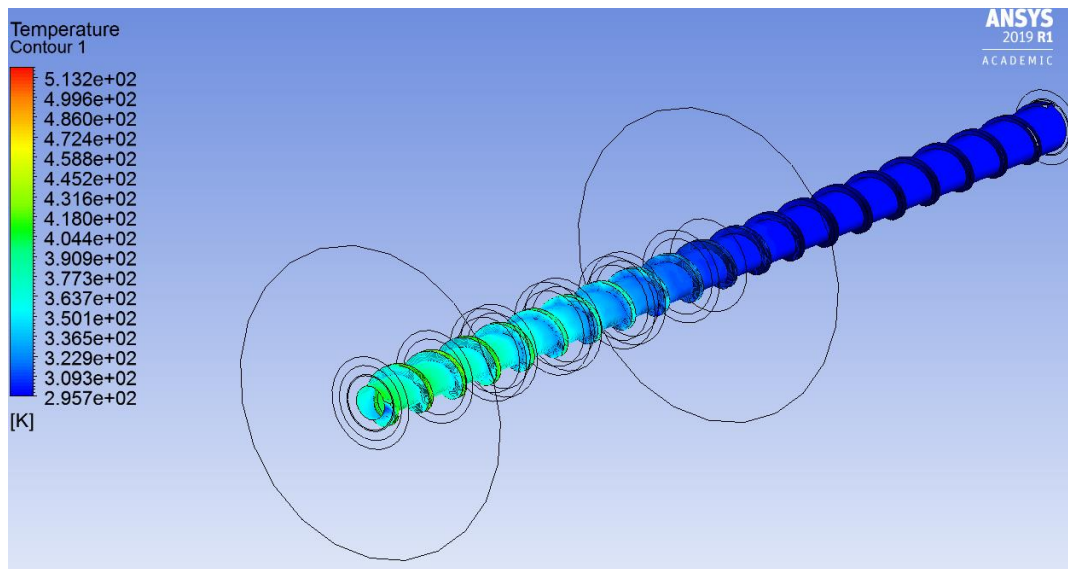
Fuente: Elaboración propia

Cuadro 22. Análisis de transferencia de calor FEET-04

Nombre de análisis	Análisis de transferencia de calor
Método de análisis	Cálculos y análisis en ANSYS <i>Workbench</i>
componente comprobado	Husillo extrusor y resistencias eléctricas
objetivo	Garantizar que la potencia de las resistencias eléctricas será suficiente para fundir el polipropileno (PP).
Código	FEET-04
Fecha de revisión	30/08/2019
Resultado	Según los análisis de Ansys la potencia requerida para fundir el plástico es de 1200 Watts en la camisa del husillo extrusor y 500 Watts en la boquilla de extrusión, por lo que las resistencias eléctricas satisfacen estos requerimientos.

Fuente: Elaboración propia

Figura 78. Espectro de temperatura para el flujo de plástico



Fuente: Elaboración propia

## B. Sistema eléctrico

Después de obtener los requerimientos de potencia, velocidad angular y transferencia de calor necesarios, además de seguir los lineamientos se elaboró el diseño del sistema eléctrico, el cual se puede encontrar en Anexo 2. En el diseño del sistema eléctrico se seleccionó:


Cuadro 23. Elementos del sistema eléctrico

Elemento seleccionado	Función del Elemento
Motor trifásico WEG 3 hp	Impulsor del sistema
Variador de frecuencia Schneider	Permite variar la velocidad angular del sistema y conectar el motor trifásico a una corriente monofásica.
Resistencias eléctricas (300 y 500) W	Transfiere calor al sistema de extrusión.
Controlador de temperatura AX-4 y sensores de temperatura tipo J	Permite medir y controlar la temperatura del sistema
<i>Breakers, relay</i> , guarda cable y aislante de fibra de vidrio	Su propósito es proteger los elementos eléctricos y asegurarse de que el usuario no se va a lastimar con estos.
Gabinete metálico con riel; borneras de distribución, de tierra y de terminales	Logran que el sistema eléctrico sea más ordenado, presentable y más fácil de realizar mantenimiento.
Conectores, selectores de 3 posiciones y potenciómetro	Permite la conexión con la corriente eléctrica y la puesta en marcha y operación de los elementos.
Cable #10 y Cable # 16	Conectan a los elementos entre sí.

Fuente: Elaboración propia

En cuanto al impulsor del sistema se evaluaron dos equipos: un motor monofásico y un motor trifásico de 3hp. Debido a que los requerimientos señalan que se debe trabajar con corriente monofásica, la primera opción evaluada fue el motor trifásico, pero debido a que necesitaba una corriente de arranque de por lo menos 120 amperios en un voltaje de 220 V y un sistema de cadenas con *sprocket* para permitir variar a velocidades predefinidas.

Figura 79. Motor monofásico WEG W22 de 3 HP

HOJA DE DATOS			
Motor Monofásico de Inducción - Rotor de Jaula			
Cliente	:		
Línea del producto	: W22 Monofásico	Código del producto	: 13797391
Carcasa	: 112M	Tiempo de rotor bloqueado	: 14s (frío) 8s (caliente)
Potencia	: 2.2 kW (3 HP-cv)	Elevación de temperatura	: 80 K
Polos	: 4	Régimen de servicio	: S1
Frecuencia	: 60 Hz	Temperatura ambiente	: -20°C hasta +40°C
Tensión nominal	: 220/440 V	Altitud	: 1000 m
Corriente nominal	: 14.4/7.22 A	Grado de protección	: IP55
Corriente de arranque	: 111/55.6 A	Método de refrigeración	: IC411 - TFVE
Ip/In	: 7.7	Forma constructiva	: B3D
Corriente en vacío	: 7.40/3.70 A	Sentido de giro <sup>1</sup>	: Ambos
Rotación nominal	: 1745 rpm	Nivel de ruido <sup>2</sup>	: 60.0 dB(A)
Resbalamiento	: 3.06 %	Método de Arranque	: Partida directa
Torque nominal	: 1.23 kgfm	Masa aproximada <sup>3</sup>	: 47.2 kg
Torque de arranque	: 290 %		
Torque máximo	: 270 %		
Clase de aislamiento	: F		
Factor de servicio	: 1.15		
Momento de inercia (J)	: 0.0156 kgm <sup>2</sup>		

Fuente: (WEG.2012)

Y aunque se podía incorporar un arrancador suave al motor para solucionar este problema, se consideró que esa solución sería demasiado cara y no permitiría variar la velocidad angular a cualquier valor, que es uno de los requerimientos del módulo del husillo extrusor. Por lo tanto, se consideró el motor trifásico de 3 hp el cuál se investigó que se podía conectar a la corriente monofásica mediante un convertidor o un variador de frecuencia.

Se decidió utilizar la combinación de un motor WEG trifásico 3 hp, el cuál puede trabajar bajo una corriente menor a 60 amperios, con un variador de frecuencia. El variador de frecuencia Schneider permite controlar la salida de velocidad angular del eje del motor, conectarlo en una corriente monofásica y también reduce la corriente de arranque del motor a 16.5 amperios. En anexos se puede encontrar la ficha técnica de ambos componentes.

Para cumplir con los requerimientos de transferencia de calor que permita que el plástico se funda, se compraron 4 resistencias eléctricas de banda de 300 Watts cada una y una resistencia de 500 Watts. Hay dos juegos de resistencias, uno de 3 resistencias de 300 Watts y el otro juego que cuenta con una resistencia de 300 Watts y una de 500 Watts, cada uno cuenta con un controlador de temperatura, con un sistema de control tipo PID, un *relay* de estado sólido y una termo copla tipo J para medir la temperatura de las bandas eléctricas.

Para garantizar la seguridad, limpieza y facilidad de operación y mantenimiento del sistema eléctrico se utilizaron elementos como: distribuidores de alimentación, *breakers*, borneras, borneras de tierra, *switches* de tipo selector, botón de seguridad, panel eléctrico, rieles, identificadores de cable, terminales para cable, cubiertas para cable, etc.

Por último, se eligió un cable # 10 para las conexiones que brindarán alimentación al motor y al variador de frecuencia, los cuáles pueden tener corrientes de hasta 20 amperios con un voltaje de 220 V. Y a los componentes digitales que funcionaban con una alimentación de 24 V y una corriente que no sobrepasaba los 5 amperios, se decidió conectarlos con un cable # 16. Estos cables se eligieron tomando en cuenta la tabla de amperaje soportado por calibre de cable tipo AWG.

Después se procedió a cotizar y comprar los elementos seleccionados para elaborar el sistema eléctrico basándose en el diseño. Por último, se realizaron pruebas de operación, que se pueden encontrar en Anexo 8., para verificar si se cumplieron los requerimientos pedidos por los otros módulos, y pruebas de examinación para verificar si se tomaron en cuenta las limitantes del sistema.

Figura 80. Resistencias eléctricas



Fuente: Elaboración propia

Figura 81. Motor trifásico 3hp WEG



Fuente: Elaboración propia

Figura 82. Variador de frecuencia



Fuente: Elaboración propia

Figura 83. Panel eléctrico



Fuente: Elaboración propia

Figura 84. Señalización panel eléctrico



Fuente: Elaboración propia

## C. Sistema de transmisión de potencia

Para satisfacer los requerimientos establecidos se tomaron en consideración tres tipos de transmisión de potencia: unidad de potencia hidráulica, cadenas de transmisión y una caja reductora. La unidad de potencia hidráulica fue rápidamente descartada, ya que cuando se cotizó con el Ingeniero Cesar Rosales se consideró que su precio era demasiado elevado (Q 13,000 sin contar válvulas, mangueras y otros elementos).



La opción de cadenas de transmisión se consideró cuando se estaba proponiendo un motor monofásico para la operación. El principal problema que presentó esta opción es el hecho de que, para transmitir la potencia requerida, se necesitaban dos fases de cadenas de transmisión, y el largo de estas cadenas sobrepasaba el limitante de espacio de 1 metro de ancho para el montaje de la máquina extrusora. Otro de los problemas que existían con este tipo de transmisión eran: pocas opciones para variar la velocidad angular del motor, un programa de mantenimiento más complicado y una generación de ruido mayor.

Se consideró que la opción de caja reductora era la más acertada para el sistema de transmisión de potencia, y se tomaron en consideración tres tipos de cajas reductoras: de gusano, cicloidal y helicoidal. La caja de gusano fue descartada, debido a que para reducciones muy grandes su eficiencia disminuye bastante, y otra de las razones es que era preferible que los ejes se encontraran en el mismo plano y con los ejes en paralelo. La caja reductora cicloidal fue descartada debido a que necesitaban inscribir una empresa para realizar el pedido, y pedían documentos que la organización PPGT no tenía o no estaba dispuesta a proporcionar.

Finalmente se decidió seleccionar una caja reductora helicoidal *Bonfiglioli* con una relación de 31.4:1. Para el rango de velocidades angulares en los que se desea trabajar la máquina extrusora se sabe que

una relación de 25:1 sería mejor, pero la empresa que nos estaba vendiendo el motor reductor nos estaba ofreciendo la caja reductora con una carcasa P80 que según la ficha técnica del fabricante no iba a soportar la potencia instalada para la máquina extrusora. Y nos ofrecían una caja reductora con la carcasa correcta P100, pero solo en la relación de 31.4:1, por lo que debido al mercado guatemalteco se tuvo que comprar esta caja reductora sobredimensionada. Se decidió que se podía trabajar con esta caja reductora debido a que la eficiencia de transmisión de potencia es entre el 94-98%; la potencia del motor estaba sobredimensionada en 3 hp, lo cual es necesario ya que un efecto de reducir la velocidad angular del motor con el variador de frecuencia para llegar a un rango de (45 - 56) RPM es la disminución del torque transmitido por la caja reductora; aparte la caja reductora cumple con los requerimientos de espacio de la estructura de la extrusora.

Figura 85. Máxima potencia instalable por número de carcasa.

		IEC_  (IM B5) - n <sub>1</sub> = 1400 min <sup>-1</sup>											
P <sub>n1</sub> [kW]		0.12	0.18	0.25	0.37	0.55	0.75	1.10	1.50	1.85	2.20	3.00	
		P63	P63	P71	P71	P80	P80	P90	P90	P90	P100	P100	
C 12 2	i =	7.6_66.2	7.6_42.3	7.6_29.5	7.6_17.2	7.6_8.8							
C 22 2		9.6_63.3	9.6_63.3	9.6_63.3	9.6_48.6	7.1_36.8	7.1_21.5	7.1_12.4	7.1			7.1	
C 22 3		60.0_200.7	60.0_122.2	60.0_88.5	60.0								
C 32 2		12.3_66.8	12.3_66.8	12.3_66.8	12.3_59.4	7.2_52.4	7.2_40.7	7.2_25.1	7.2_15.6	7.2_9.3	7.2_15.6	7.2_9.3	
C 32 3		74.7_274.7	74.7_186.0	74.7_148.4	74.7_82.6								
C 36 2		11.7_19.0	11.7_19.0	11.7_19.0	11.7_19.0	6.8_19.0	6.8_19.0	6.8_19.0	6.8_19.0	6.8_19.0	6.8_19.0	6.8_19.0	6.8_19.0
C 36 3		38.1_206.4	38.1_206.4	38.1_206.4	38.1_183.5	22.1_111.5	22.1_83.1	22.1_43.5	22.1_26.2			22.1_26.2	
C 36 4		230.9_574.7	230.9_377.9	230.9_255.0									
C 41 2		14.2_44.8	14.2_44.8	14.2_44.8	14.2_44.8	6.4_44.8	6.4_44.8	6.4_44.8	6.4_33.4	6.4_22.6	6.4_33.4	6.4_22.6	
C 41 3		51.5_209.1	51.5_209.1	51.5_209.1	28.5_209.1	28.5_164.1 ⊕ (145.6)	28.5_110.1 ⊕ (102.3)	28.5_58.7	28.5_40.3	28.5	28.5_40.3	28.5	

Fuente: (Bonfiglioli S.A., 2016)

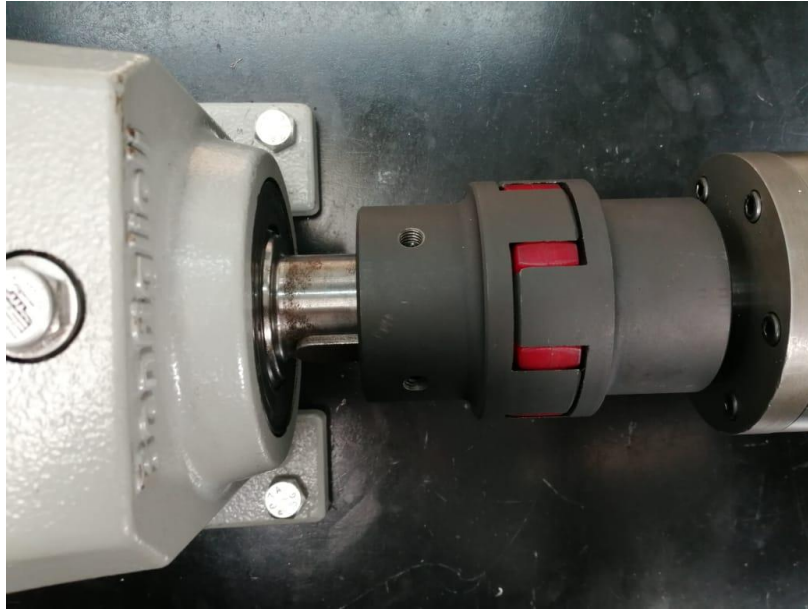
Tomando en cuenta esto se cotizó, seleccionó, compró y ensambló el sistema de transmisión de potencia que mejor se adapte a estos requerimientos, el acople que una este sistema con el sistema de extrusión y los elementos que servirán para proteger al usuario de elementos giratorios.

Figura 86. Caja reductora *Bonfiglioli*, relación 31.4:1



Fuente: Elaboración propia

Figura 87. Acople reductor-husillo de extrusión



Fuente: Elaboración propia

## D. Elementos de sujeción

En el Cuadro 24 se pueden observar los elementos unidos y los elementos de sujeción utilizados en la extrusora. Como se puede observar en dicho cuadro, para los elementos unidos a la estructura se utilizaron tornillos ya que es más sencillo alinear los componentes que conforman la extrusora con elementos de sujeción no permanentes ya que estos pueden trasladar. Se utilizaron tornillos de 3/8 de pulgada de diámetro y 3/4 de pulgada de alto para la estructura y el perfil de aluminio de ranura T ya que así los tornillos pueden sujetar la estructura con los demás elementos sin que los tornillos puedan ser vistos. Para el perfil de aluminio de ranura T con chumacera se utilizaron tornillos de 3/8 de pulgada de diámetro y 1 1/2 de largo, se utilizaron estos tornillos ya que las chumaceras poseen ese diámetro y es la altura necesaria para sujetar ambos elementos. Estos tornillos también se utilizaron para la unión de estructura con soporte del acople. Para el mecanismo de la tolva, el elemento de sujeción utilizado fue soldadura. Se utilizó dicho elemento ya que tanto la tolva con el mecanismo de corredera y el soporte de tolva con camisa no necesitan ser alineados o trasladados del elemento al cual se unió. Además, permite una mejor sujeción que los elementos antes mencionados.

Cuadro 24. Elementos de sujeción utilizados

<b>Elementos unidos</b>	<b>Elemento de sujeción</b>
Estructura con perfil de aluminio de ranura T	Tornillos

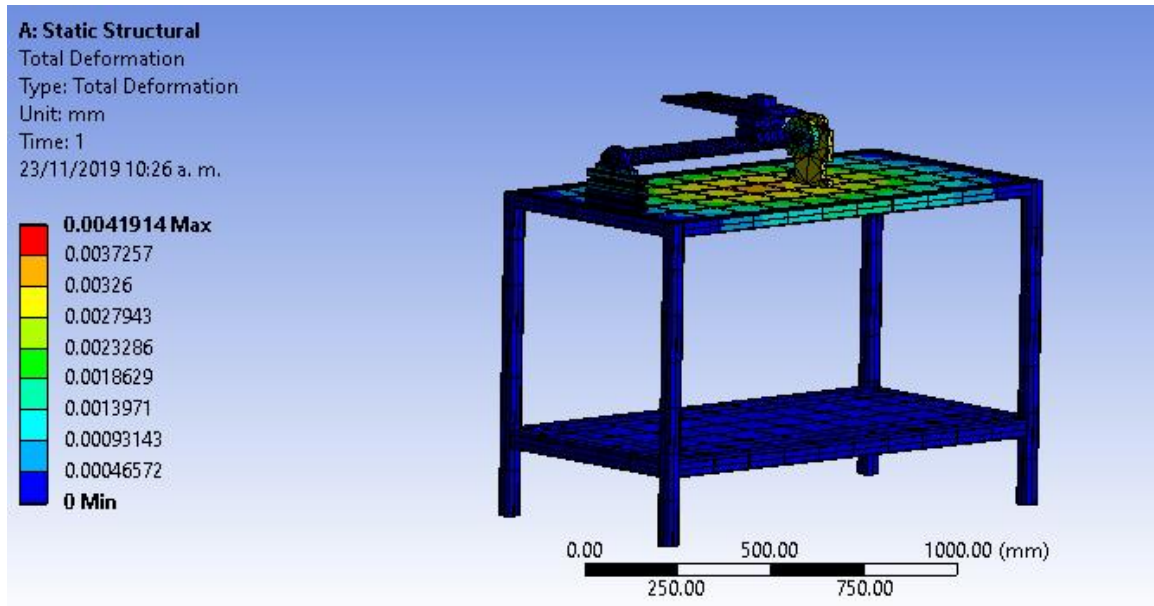
Perfil de aluminio de ranura T con chumacera	Tornillos
Estructura con soporte de acople	Tornillos
Tolva con mecanismo de corredera	Soldado
Soporte de tolva con camisa	Soldado

(Elaboración propia, 2019)

## E. Esfuerzo, deformación y factor de seguridad

En la Figura 88 se puede observar la deformación total causada por el peso de elementos conformados y la fuerza que aplicaría el peso del motor y el reductor la cual se consideró de 180 libras (800 N), además de una presión de 45 kilopascales dentro de la camisa y 70 RPM que es la velocidad angular máxima que el torillo operará.

Figura 88. Deformación total en estructura

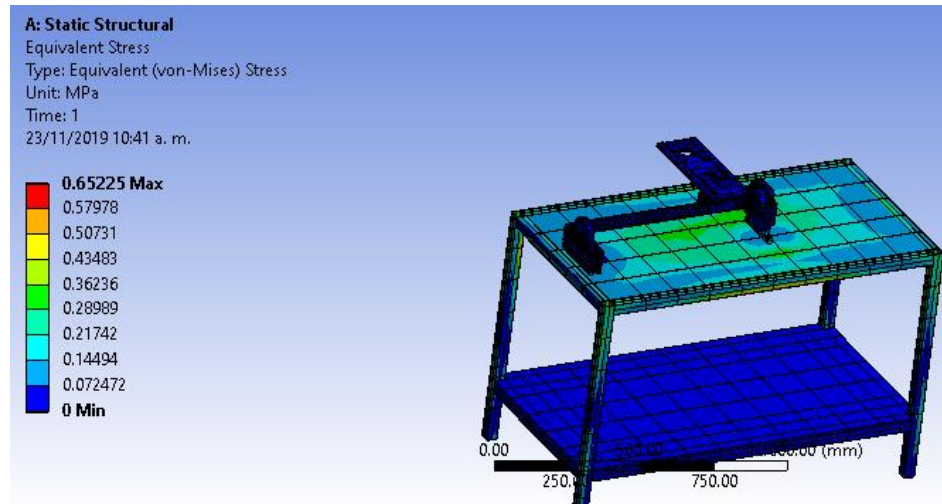


(Elaboración propia, 2019)

El valor máximo de deformación 0.0041914 mm en la posición cercana en donde se encuentra el motor y reductor, que son los elementos más pesados. Al analizar los valores obtenidos se puede llegar a la conclusión que la estructura o alguno de sus componentes no se verá afectada por la carga ya que su valor es menor a 1 mm que para las dimensiones de la estructura, este valor no es significativo y en consecuencia ningún componente se verá afectado.

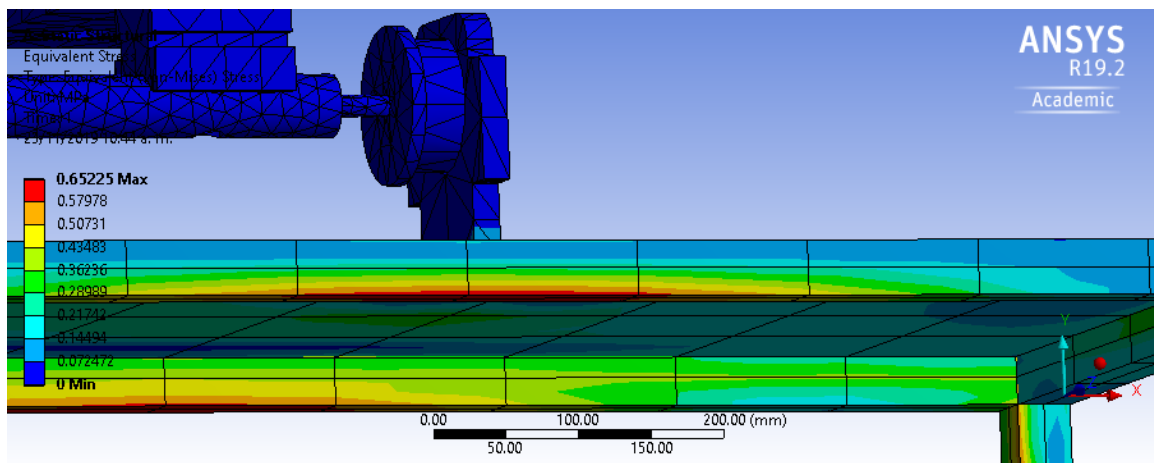
Con respecto al esfuerzo de von Mises obtenido en la simulación es de 0.65225 Mpa como se puede observar en la Figura 89. Teniendo este esfuerzo máximo en los perfiles de acero 1018 como se puede observar en la Figura 90. Al observar los valores de esfuerzo de fluencia de los componentes según el material como lo son acero estructural para estructura y “plancha” de 320Mpa, acero SAE 4140 para camisa 588.399 Mpa y acero 1026 *cold roll* para el tornillo de potencia posee un valor de 196 Mpa. Se puede descartar un fallo por fluencia ya que los componentes soportan esfuerzos mayores a las presentadas en la simulación. Los demás componentes y parte de la estructura están sujetos a esfuerzos mínimos de 1.37 Mpa por lo que descarta una falla por fatiga.

Figura 89. Esfuerzo von Mises en estructura



(Elaboración propia, 2019)

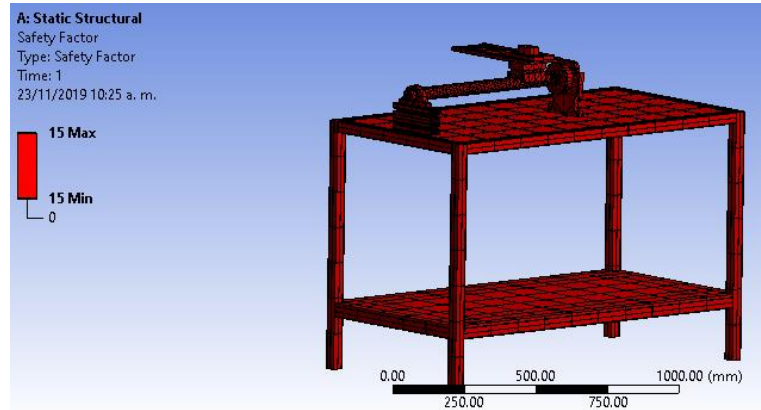
Figura 90. Esfuerzo máximo von Mises



(Elaboración propia, 2019)

Por último, se obtuvo el factor de seguridad de la estructura total como se puede observar en la figura 91. El factor de seguridad en la estructura total es mayor o igual a 15, esto debió a que *Ansys Workbench* puede calcular hasta factores de seguridad de 15 por lo que el valor del factor de seguridad de algunos elementos podría ser mayor a dicho valor. Esto indica que la estructura puede soportar la fuerza, presión, esfuerzos y velocidad angular que están involucrados en el proseo de extracción de plástico. Además, muestra que la estructura puede soportar esfuerzos mayores a los que está involucrada, por lo que no se corre riesgo de alguna falla tanto en su funcionamiento o en estado estacionario.

Figura 91. Factor de seguridad de estructura



(Elaboración propia, 2019)

## F. Frecuencia natural y análisis de vibraciones

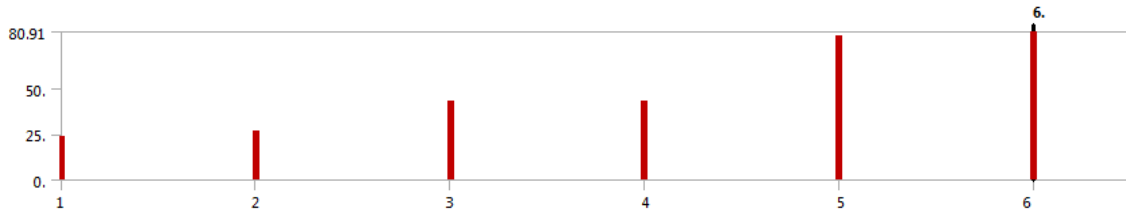
Al realizar el análisis de vibraciones se obtuvieron las frecuencias naturales de la estructura. Estas se compararon con la frecuencia a la que el motor trabaja ya que si se obtiene resultado cercano al de la frecuencia del motor la estructura podría entrar en resonancia. La frecuencia del motor es de 60 Hz y comparando con las seis frecuencias naturales obtenidas (figuras 92 y 93) con las del motor ninguna es cercana a dicha frecuencia, por lo que se puede determinar que no se corre riesgo de que el sistema entre en resonancia.

Figura 92. Frecuencias naturales de estructura

	Mode	<input checked="" type="checkbox"/> Frequency [Hz]
1	1.	23.432
2	2.	26.576
3	3.	42.918
4	4.	42.919
5	5.	78.321
6	6.	80.91

(Elaboración propia, 2019)

Figura 93. Gráfica de frecuencias naturales



(Elaboración propia, 2019)

## G. Análisis termal

Por medio del método de resistencias térmicas se obtuvieron los resultados en los cuadros 25 y 26. En el Cuadro 25 se compararon dos tipos de resistencias, tanto de 200 *watts* y 300 *watts* para conocer la cantidad de resistencias eléctricas necesarias para fundir tanto polipropileno y polietileno. Para el proyecto se decidió utilizar resistencias de 300 *watts* ya que la cantidad de resistencias es menor y el precio entre resistencias no es significativo (225 quetzales resistencia de 200 *watts* y 275 la resistencia de 300 *watts*). Luego, para justificar el uso de aislante en la extrusora se comparó la salida de calor de la extrusora con aislante y sin aislante, como se puede ver en el Cuadro 26. Al utilizar aislante en la máquina extrusora se reduce el 48% de salida de calor en ambos polímeros. Además, se reduce a la mitad la cantidad de resistencias necesarias para lograr fundir los polímeros.

Cuadro 25. Comparación entre resistencias eléctricas de 200 watts y 300 watts con aislante

<b>Polímero</b>	<b>Cantidad de resistencias de 200 W</b>	<b>Cantidad de resistencias de 300 W</b>
Polipropileno (PP)	6	4
Polietileno (HDPE)	7	4

(Elaboración propia, 2019)

Cuadro 26. Comparación entre uso de aislante con resistencias eléctricas de 300 watts

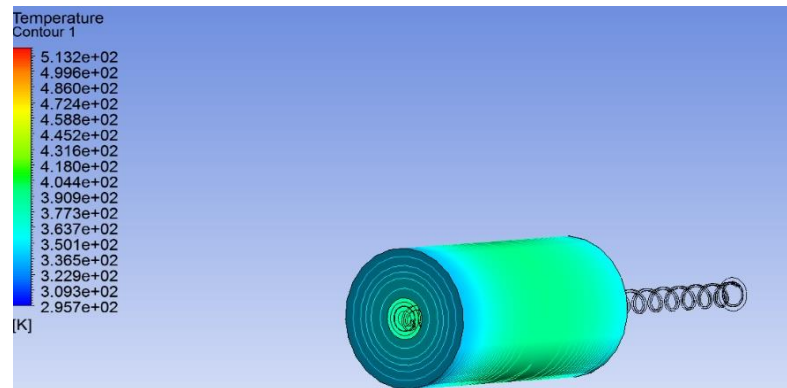
<b>Polímero</b>	<b>Calor necesario para fundir polímero (W) sin aislante</b>	<b>Cantidad de resistencias sin aislante</b>	<b>Calor necesario para fundir polímero (W) con aislante</b>	<b>Cantidad de resistencias con aislante</b>
Polipropileno (PP)	199	8	96	4
Polietileno (HDPE)	237	8	112	4

(Elaboración propia, 2019)

Por medio de ANSYS se realizó un análisis de fluido en el cual se intenta revalidar los datos obtenidos en el análisis de resistencias térmicas. En la Figura 94, se puede observar el rango de temperatura a la cual el aislante se mantiene a la salida de calor de las resistencias eléctricas. La temperatura máxima a la cual el aislante podría llegar es de 77 grados Celsius (350 Kelvin) por lo que se debe tener precauciones al mantener contacto con el aislante. Para reducir la temperatura en el aislante se debe seleccionar otro material aislante ya que, aumentando el diámetro del aislante para este caso, aumentaría la transferencia de calor hacia alrededores. Debido a falta de presupuesto se seleccionó el aislante utilizado para dichas pruebas.

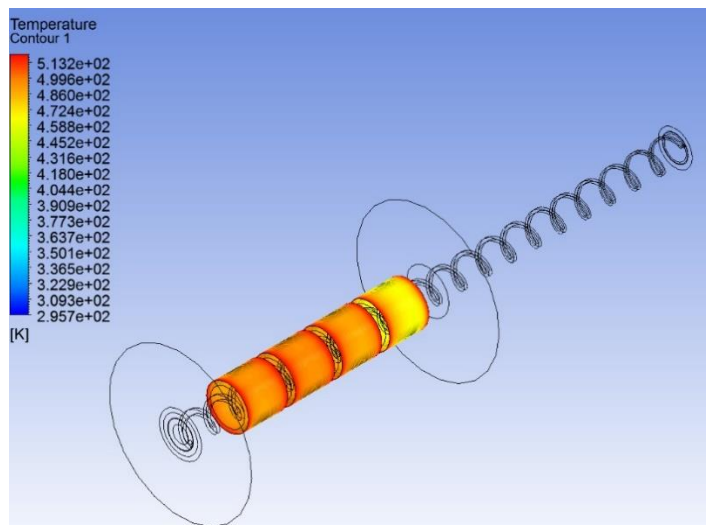
En la Figura 95, se puede observar el rango de temperaturas a las cuales las resistencias deberían estar para fundir los polímeros. En el funcionamiento de la máquina extrusora la temperatura de las resistencias es configurada manualmente por el usuario. Por lo que en el análisis se intentó obtener el rango de temperatura el cual las resistencias eléctricas deberían tener para lograr fundir los polímeros. El rango de temperatura obtenido fue 199 a 240 grados Celsius (472 a 513 Kelvin). Por lo que se configurarán temperaturas en dicho rango en pruebas iniciales.

Figura 94. Espectro de temperatura de aislante



(Elaboración propia, 2019)

Figura 95. Espectro de temperatura de resistencias



(Elaboración propia, 2019)

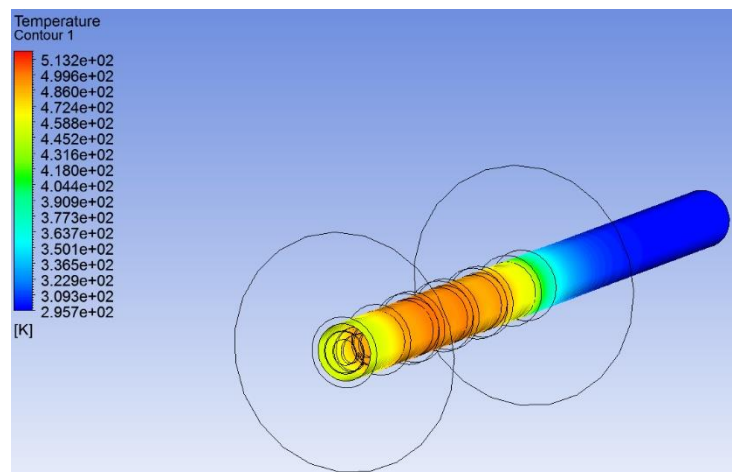
La Figura 96, muestra la temperatura a la cual la camisa llegaría a estar al calor expulsado de las resistencias eléctricas. Se puede observar que al inicio de la camisa la temperatura comienza con la temperatura ambiente configurada anteriormente, va aumentando a medida que se acerca a las resistencias eléctricas hasta pasar por dichas resistencias y se reduce a medida que se aleja de ellas. La temperatura máxima que se obtiene en la camisa es de 240 grados Celsius (513 Kelvin) y la temperatura a la salida de la camisa posee un valor cercano a 213 grados Celsius (486 Kelvin).

El polímero, experimenta cambios parecidos de temperatura durante el trayecto dentro de la camisa. A contrario que la diferencia de la temperatura máxima y la temperatura final no difieren en gran magnitud como en la camisa. Esto es deseable ya que a mayor temperatura que el polímero sea expulsado de la máquina extrusora mayor tiempo que tarde en solidificarse. Lo que permite tener más tiempo de moldeo. La temperatura promedio y máxima alcanza valores de 160° C y 200° C respectivamente. La temperatura de fundición de polipropileno y polietileno es de 160 °C y 180 °C, en el análisis se pudo obtener una temperatura de salida de 200° C como se puede apreciar en la Figura 97 por lo que el plástico no llega a fundirse debido a que la temperatura no sobrepasa los valores de fundición. En el análisis llevado a cabo no se tomó en cuenta la fuerza de fricción generada por el polímero y camisa por lo que no se conoce su efecto en la temperatura real. La fricción generada se transforma en un aumento de calor en todo el sistema. Lo que llevaría a un aumento en la temperatura de plástico.

Los resultados obtenidos fueron llevados a cabo en un análisis estacionario. En un análisis estacionario en *Ansys: fluent flow*, el tiempo que demora la prueba es el tiempo que el flujo a traviesa el sistema, en este caso la camisa. Un análisis interesante para conocer qué ocurriría con el flujo a través del tiempo, es realizar un análisis transitorio. En dicho análisis se puede configurar el tiempo de funcionamiento de la extrusora y así obtener los resultados de una operación continua con una temperatura de 250 °C y el flujo de calor entregado por las resistencias eléctricas. De modo que se podría conocer el tiempo de fundición con los parámetros antes mencionados.

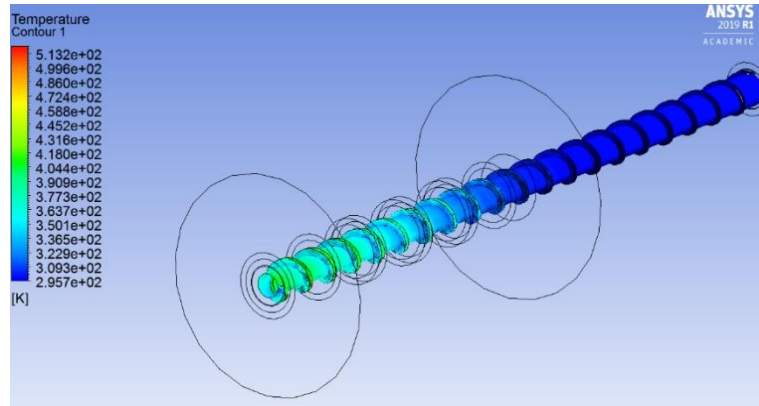
Al realizar pruebas con la extrusora, se colocaron cuatro resistencias de 300 *watts* configuradas a una temperatura de 250 °C como se realizaron en las pruebas de *Ansys: fluent flow*. Al realizar esta prueba el polímero llegaba a derretirse, pero el tiempo de espera para la fundición del polímero era de una hora. Además, el tiempo en el que el polímero permanecía en su estado líquido no era el suficiente para completar la operación, obteniendo una superficie más frágil. Por lo que se optó por aumentar la temperatura gradualmente hasta llegar a una temperatura de las resistencias de 380 °C (Figura 99) obteniendo un tiempo de operación de 40 minutos y mejores resultados en la superficie del polímero fundido.

Figura 96. Espectro de temperatura de camisa



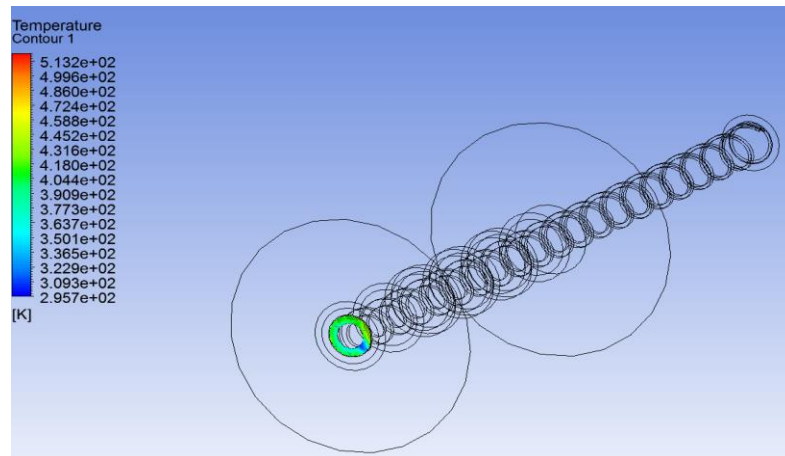
(Elaboración propia, 2019)

Figura 97. Espectro de temperatura de flujo de plástico



(Elaboración propia, 2019)

Figura 98. Espectro de temperatura de salida de flujo de plástico



(Elaboración propia, 2019)

Figura 99. Temperatura configurada para resistencias eléctricas



(Elaboración propia, 2019)



## VII. CONCLUSIONES

1. Se establecieron los requerimientos funcionales necesarios para la elaboración de la extrusora. Estos requerimientos se muestran en el Cuadro 5.
2. Se establecieron los requerimientos operacionales necesarios para la elaboración de la extrusora. Estos requerimientos se muestran en el Cuadro 6.
3. Se establecieron las limitantes necesarias para la elaboración de la extrusora. Estos requerimientos se muestran en el Cuadro 7.
4. El análisis financiero se realizó desde dos perspectivas. Un caso favorable donde se supuso que la máquina extrusora es alquilada durante 20 días al mes a Q100.00 la hora por 8 horas, donde la inversión se recuperaba en 3 meses. Y un caso desfavorable donde se supusieron las mismas condiciones pero que solo se alquilaba durante 14 días, donde la inversión se recuperaba en 12 meses.
5. Se elaboró un manual de usuario, que se encuentra en Anexo 7. En este manual se describen las partes de la máquina extrusora, sus especificaciones técnicas, las normas y equipo de seguridad, los pasos necesarios para la operación de la máquina, el mantenimiento que se le debe dar a cada módulo y soluciones a posibles fallos de la extrusora.
6. Por medio de pruebas y métodos de verificación de los requerimientos se supervisaron si las condiciones de funcionamiento y operación de la máquina extrusora era el correcto. En los cuadros 10-16 se muestran la verificación y validación de los requerimientos funcionales, operacionales y limitantes.
7. El sistema eléctrico es capaz de proveer al menos 2 hp de potencia al husillo extrusor con la disponibilidad de poder variarlo en tiempo real. El sistema eléctrico también es capaz de proveer 1200 Watts a la camisa del husillo extrusor y 500 Watts a la matriz de extrusión. Este sistema es alimentado con una fuente monofásica de 240 voltios, consume una corriente menor a 60 amperios y cuenta con dispositivos de seguridad que evitan que el usuario sufra lesiones por la manipulación de este.
8. El sistema de transmisión de potencia provee el requerimiento de velocidad angular de 45-56 RPM.
9. Se establecieron los requisitos que debe cumplir la estructura para la operación de la extrusora de plástico. Estos pueden observarse en el Cuadro 7.
10. El material utilizado para la estructura fue acero 1018, ya que no solo es capaz de soportar los esfuerzos presentes, es de precio accesible y se encuentra fácilmente en el medio local.
11. Se establecieron las uniones de elementos con la estructura. Estos pueden observarse en el Cuadro 24.
12. Según los análisis realizados con *ANSYS Workbench* 18.2 la deformación máxima de la estructura es de 0.004 mm aproximadamente. Además, el valor de factor de seguridad de la estructura y componentes de soporte es mayor o igual a 15.
13. Los análisis de vibraciones llevados a cabo con *ANSYS Workbench* 18.2 no muestran una frecuencia natural cercana a los 60 Hz que es la frecuencia del motor. Por lo que se puede concluir que ningún elemento falle debido a este fenómeno.
14. Se elaboraron trece planos entre estructura, sistema de soporte de tornillo y sistema de tolva.
15. Se determinó con un análisis térmico que se requieren 4 resistencias eléctricas de 300 watts.



## VIII. RECOMENDACIONES

1. En cuanto a la cantidad de plástico recolectado por PPGT semanalmente se recomienda a este grupo la forma de recolectar una mayor cantidad, ya que 10 kg no son suficientes para operar la máquina en la semana. Los precios de operación se elevan si se compra el plástico a Recicladores de Centroamérica del grupo INGUAT.
2. Por el problema que se tuvo durante la alineación de los componentes de la máquina extrusora se recomienda la incorporación de un sistema de ajuste fino que permita cambiar la posición de la camisa del husillo de extrusión en referencia a la salida del eje de la caja del motorreductor. Esto simplificaría la maniobra de alineado y sería más fácil de operar para personas que no están acostumbradas a realizar este tipo de trabajos.
3. También para la base de la estructura con la camisa del husillo extrusora se recomienda utilizar otro material que no sea aluminio, ya que este puede llegar a desgastarse con la operación y modificar la alineación de la máquina extrusora.
4. En caso de otra colaboración de la Universidad del Valle de Guatemala con el grupo PPGT, se recomienda exigirles documentos que garanticen una cooperación más fluida, amena y ordenada. Estos documentos serían: objetivos claros de lo que se quiere lograr con el proyecto, condiciones de operación en los que deberá de ser operada cada máquina (adjuntando imágenes que comprueben estas condiciones), plan de operación financiero para la máquina que se desee construir y un contrato formal donde el grupo PPGT se comprometa a proveer una cantidad de fondos máxima para la elaboración de la máquina.
5. Utilizar el mismo tipo de geometría entre el área de salida de la tolva y el área de entrada del mecanismo de corredera. La actual combinación de salida rectangular de la tolva y entrada circular de la corredera produce un desperdicio de material.
6. De no ser posible obtener el perfil de aluminio de ranura T ya que no es común en el mercado local, utilizar dos perfiles de acero 1018. Estos perfiles son más comunes y no necesita componentes especiales como el perfil de aluminio.
7. Agregar ruedas a la estructura para poder desplazarla con facilidad y sin necesidad de cargar dicho elemento.
8. Utilizar un equipo de mantenimiento preventivo de vibraciones capaz de medir bajas velocidades angulares ya que la extrusora trabaja a 30 RPM. Utilizando el Fluke 810 no se puede obtener resultados ya que tiene limitaciones de RPM mayores a las mencionadas anteriormente (200RPM a 1200RPM).
9. Realizar el análisis de transferencia de calor en *Ansys Workbench* como transitorio ya que la temperatura que generan las resistencias es tras pasar el tiempo y así poder ver el efecto de fundición del polímero.



## IX. REFERENCIAS

- Asturgo. (2013). *Resistencias eléctricas*. Barcelona, España: Santa Rita.
- Bell, P. (1971). *Mechanical Power Transmission*. Londres, Inglaterra: Palgrave Macmillan.
- Blume, S. (2007). *Electric Power System Basics*. California, USA: John Wiley & Sons Inc.
- Bonfiglioli S.A. (2016). *C series Helical gear units*. Bologna, Italia: Bonfiglioli Forever Forward.
- Budynas, R., & Nisbett, K. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (9na. ed.). Ciudad de México, México: Mc Graw Hill.
- Hughes, A. (2006). *Electric Motors and Drives* (Vol. 3er.). Burlington, England: ELSERVIER.
- Kossiakof, A., Seymour, S., & Sweet, W. (2011). *Systems Engineering Principles and Practice* (2da. ed.). New Jersey, USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Larson, W., & Wertz, J. (2005). *Space Mission Analysis and Design*. California, USA: THE SPACE TECHNOLOGY LIBRARY.
- O. Grady, J. (2016). *System Verification* (2da. Edición ed.). Londres, Inglaterra: Elsevier Inc.
- Rauwendaal, C. (2018). *Understanding Extrusion* (2da. ed.). Munich, Alemania: Hanser Publishers.
- S.A., B. (2016). *C series Helical gear units*. Bologna, Italia: Bonfiglioli Forever Forward.
- Sage, A., & Rouse, W. (2009). *Handbook of Systems Engineering and Management* (2da. ed.). New Jersey, USA: John Wiley & Sons Inc.
- Stokes, A. (1992). *Manual Gearbox Design*. Oxford, Inglaterra: Butterworth Heinemann.
- USAID. (2016). Powering Three-Phase Electrical Devices From a Single-Phase Source. *Energy Opportunities for agricultural systems and food security project*, 5.
- Zhang, B. (2015). *Electrical Energy Systems*. Washington, USA: University of Washington.
- ANSYS. (16 de agosto de 2019). Fluent tutorial guide. Obtenido de ANSYS guide: <http://users.abo.fi/rzevenho/ansys%20fluent%2018%20tutorial%20guide.pdf>
- Cengel, Y. A. (2007). Transferencia de calor y masa. Mc Graw hill educación.
- Cubillo, J. A. (2018). Diseño de una máquina extrusora de filamento termoplástico alimentada por desechos plásticos.
- Fluent Inc. (2001). Modeling solidification and melting.
- Fluke Direct. (2018). Obtenido de <https://www.fluke-direct.com/>
- Gutiérrez, J. (2007). Diseño de extrusora para plástico.
- Ibarrola, E. L. (2009). Introducción a los fluidos no newtonianos.
- Marcilla, M. B. (2015). Extrusion.
- Mills, S. R. (2010). vibration monitoring and analysis handbook. The British institute of non-destructive testing.

Oswald, T. (2015). Polymer rheology fundamentals and applications. Múnich: Hanser Publisher.

Soriano, B. (2015). cálculo de tolvas de almacenamiento.


## X. ANEXOS

Anexo 1. Detalle de los gastos realizados durante la elaboración de la maquinaria.

Producto	Establecimiento	No. de factura	Cantidad	Costo
Motorreductor	Reina S.A.	2298	1	Q 7,200.00
Acople Challenge	Componentes Industriales	125814	1	Q 399.00
Variador de Frecuencia	Esinsa	4782	1	Q 2,500.00
Resistencias eléctricas 300 Watts	Ingelmec	7170	4	Q 700.00
Resistencias eléctricas 500 Watts	Ingelmec	66494	1	Q 235.00
Control de temperatura	Larssystem	11508	2	Q 1,000.00
Relay de Estado sólido #16	Tettsa	86614	2	Q 170.00
Bloque de terminales #16	Esinsa	G-3870	2	Q 60.00
Borneras de conexión			12	Q 96.00
Borneras de tierra #10	Esinsa	G-1727	2	Q 64.00
Bloque de terminales #10			5	Q 56.50
Bloque para distribución			2	Q 124.00
Selector 3 posiciones	Novex	50454	3	Q 258.00
Breaker 10 AMP	Novex	898371	2	Q 130.00
Cable #16	Novex	Diversas	NA	Q 150.00
Cable #10				Q 50.00
Gabinete metálico	Celasa	24268	1	Q 389.00
Riel para gabinete	Celasa	21851	1	Q 31.50
Fabricación tornillo extrusor	Maquinados precisos Loarca	2046	1	Q 1,750.00
Tubo honeado	Hy Seals	12705	1	Q 750.02
Cojinete Nachi	La casa de los rodamientos	3129	2	Q 150.00
Barra redonda acero 4140T 1 1/2" * 1 m	Tecniaceros	35761	1	Q 295.00
Rectangular acero 1045 3/4"*6"*9"	Tecniaceros	37588	1	Q 510.00
Cuña 1/4" * 1/4"*2"			3	Q 3.00
Barra redonda hierro fundido 5" * 80 mm	Tecniaceros	36686	1	Q 225.00
Barra redonda hierro fundido 5" * 105 mm			1	Q 280.00
Barra redonda hierro fundido 4" * 50 mm			1	Q 95.00
Barra redonda acero 4140T 65 mm * 5"	Tecniaceros	58358	1	Q 131.04
Tuercas, roldanas y tornillos	Novex y Agint	Diversas	NA	Q 150.00
<b>Total</b>				<b>Q 17,952.06</b>



### Anexo 3. Ficha técnica de motor WEG 3 hp

		Nr.:																									
		Fecha: 20-NOV-2018																									
<b>HOJA DE DATOS</b> <b>Motor trifásico de inducción - Rotor de jaula</b>																											
Cliente : Línea del producto : W22 Carcasa de Hierro Gris - Standard Efficiency - IE1																											
Carcasa : 90L Potencia : 3 HP Frecuencia : 60 Hz Polos : 4 Rotación nominal : 1720 rpm Deslizamiento : 4,44 % Voltaje nominal : 208-230/460 V Corriente nominal : 9,08-8,21/4,10 A Corriente de arranque : 46,8/23,4 A Ip/In : 5,7 Corriente en vacío : 4,04/2,02 A Par nominal : 12,2 Nm Par de arranque : 210 % Par máxima : 240 % Categoría : --- Clase de aislación : F Elevación de temperatura : 80 K Tiempo de rotor bloqueado : 9 s (caliente) Factor de servicio : 1,15 Régimen de servicio : S1 Temperatura ambiente : -20°C - +40°C Altitud : 1000 m Protección : IPW55 Masa aproximada : 22 kg Momento de inercia : 0,00601 kgm <sup>2</sup> Nivel de ruido : 51 dB(A)																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Delantero</th> <th>Trasero</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Rodamiento</td> <td>6205 ZZ</td> <td>6204 ZZ</td> </tr> <tr> <td>Intervalo de lubricación</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> <tr> <td>Cantidad de grasa</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </tbody> </table>			Delantero	Trasero	Rodamiento	6205 ZZ	6204 ZZ	Intervalo de lubricación	---	---	Cantidad de grasa	---	---	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Carga</th> <th>Factor de potencia</th> <th>Rendimiento (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>100%</td> <td>0,81</td> <td>83,1</td> </tr> <tr> <td>75%</td> <td>0,74</td> <td>83,0</td> </tr> <tr> <td>50%</td> <td>0,62</td> <td>82,0</td> </tr> </tbody> </table>		Carga	Factor de potencia	Rendimiento (%)	100%	0,81	83,1	75%	0,74	83,0	50%	0,62	82,0
	Delantero	Trasero																									
Rodamiento	6205 ZZ	6204 ZZ																									
Intervalo de lubricación	---	---																									
Cantidad de grasa	---	---																									
Carga	Factor de potencia	Rendimiento (%)																									
100%	0,81	83,1																									
75%	0,74	83,0																									
50%	0,62	82,0																									

## Anexo 4. Ficha técnica de variador de frecuencia Schneider

### Product datasheet Characteristics

**ATV320U22M2C**  
variable speed drive ATV320 - 2.2kW -  
200...240V - 1 phase - compact



#### Main

Range of product	Altivar Machine ATV320
Product or component type	Variable speed drive
Product specific application	Complex machines
Device short name	ATV320
Format of the drive	Compact
Product destination	Asynchronous motors Synchronous motors
EMC filter	Class C2 EMC filter integrated
IP degree of protection	IP20 conforming to EN/IEC 61800-5-1
Degree of protection	UL type 1 with UL type 1 conformity kit
Type of cooling	Fan
Network number of phases	1 phase
[Us] rated supply voltage	200...240 V (- 15...10 %)
Supply frequency	50...60 Hz (- 5...5 %)
Motor power kW	2.2 kW for heavy duty
Motor power hp	3 hp for heavy duty
Line current	23.9 A at 200 V for heavy duty 20.1 A at 240 V for heavy duty
Prospective line Isc	<= 1 kA
Apparent power	4.8 kVA at 240 V for heavy duty
Continuous output current	11 A at 4 kHz for heavy duty
Maximum transient current	16.5 A during 60 s for heavy duty
Asynchronous motor control profile	Voltage/Frequency ratio, 2 points Voltage/Frequency ratio, 5 points Flux vector control without sensor, standard Voltage/Frequency ratio - Energy Saving, quadratic U/f Flux vector control without sensor - Energy Saving
Synchronous motor control profile	Vector control without sensor
Speed drive output frequency	0.1...599 Hz

## Anexo 5. Cálculo de garganta de alimentación y tolva

Cuadro 27. Medidas de garganta de alimentación

<b>Descripción de medida</b>	<b>Medida (mm)</b>
Diámetro de garganta de alimentación	44
Largo de garganta de alimentación	66
Ancho de garganta de alimentación	31

(Elaboración propia, 2019)

Cuadro 28. Volumen de tolva según el tiempo de operación

<b>Descripción de medida</b>	<b>Medida</b>
Tiempo (horas)	1
Flujo másico (kg/h)	5
Masa (kg)	5
Volumen (mm <sup>3</sup> )	1.5x10 <sup>7</sup>

(Elaboración propia, 2019)

Cuadro 29. Medidas de tolva

<b>Descripción de medida</b>	<b>Medida (mm)</b>
Apotema base mayor	175
Apotema base menor	33
Altura	300
Perímetro base mayor	1400
Perímetro base menor	212
Apotema tronca	0.33
Área lateral	2.68x10 <sup>5</sup>
Área base mayor	1.23x10 <sup>5</sup>
Área base menor	2.64x10 <sup>3</sup>
Área total	3.93x10 <sup>5</sup>
Volumen de tolva	1.43x10 <sup>7</sup>

(Elaboración propia, 2019)



Sin aislante			No. De resistencias
Q_pp	199.1763	w	8
Q_ps	106.4257	w	4
Q_hdpe	237.0286	w	9
con aislante			No. De resistencias
Q_pp	95.75631	w	4
Q_ps	52.20099	w	2
Q_hdpe	111.8353	w	4

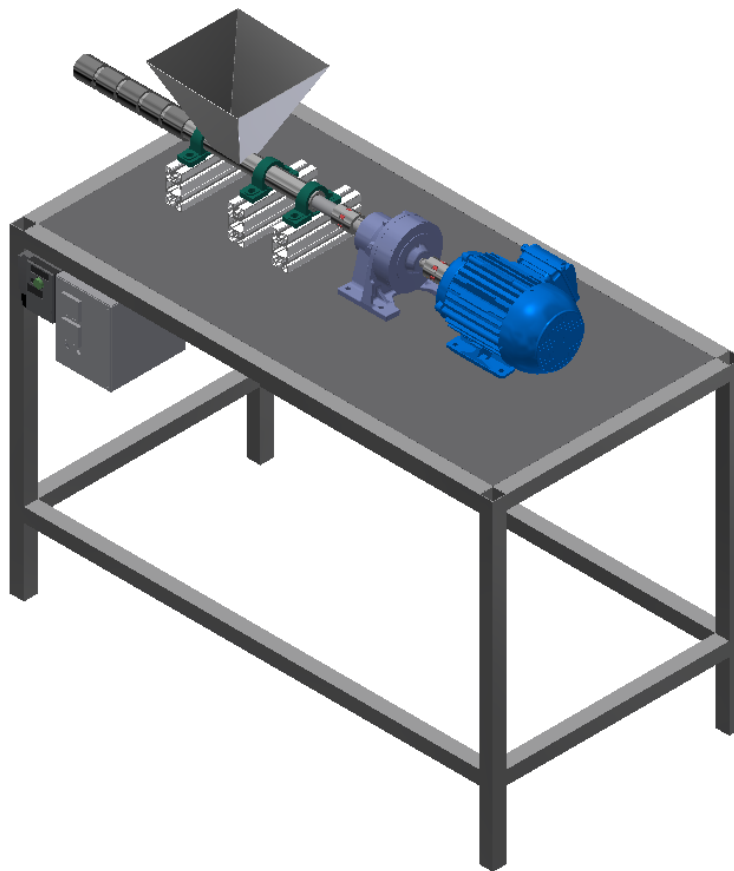
Figura 100. Primer sistema de soporte para camisa



(Elaboración propia, 2019)



EXTRUSORA DE PLÁSTICO  
MANUAL DE USUARIO



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

2019

## Créditos

Elaboración del manual: Andrés Villafuerte.

Coordinación de contenidos: Laura Rivadeneira y Ónice Arango.

Coordinación Editorial: Ingeniero Andrés Viau.

Material Audiovisual: Rodrigo Duarte, Gustavo Lemus, Pedro Vielman y Andrés Villafuerte

Apoyo especial: Precious Plastic Guatemala.

Para más información acerca de este proyecto consultar a Precious Plastic Guatemala.

Contacto PPGT, Gabriela Rivadeneira: 5177-1763

## Prefacio

Este manual tiene como propósito asistir en la operación de la máquina extrusora de plástico elaborada en las instalaciones de la Universidad del Valle de Guatemala para la organización Precious Plastic Guatemala. La máquina está diseñada para extruir plástico triturado de forma continua.

La máquina extrusora cuenta con una matriz por donde saldrá el plástico fundido, el cuál llenará un tubo cuadrado estructural para que el plástico adquiera su forma. La máquina también cuenta con un husillo extrusor contenido en una camisa cilíndrica, el cuál será alimentado de plástico por una tolva; resistencias térmicas, que calentarán el plástico y serán controladas por un sistema eléctrico; y un sistema de transmisión de potencia, formado por un variador de frecuencia, un motor y un reductor de velocidad, que transmitirá el torque y la velocidad angular necesaria para el funcionamiento de la máquina extrusora.

Este documento va dirigido a las personas que quieren aprender a utilizar la máquina extrusora, por lo que este manual busca ser un apoyo para orientarlas y brindarles la información y herramientas adecuadas para operar y dar el mantenimiento correcto a está.



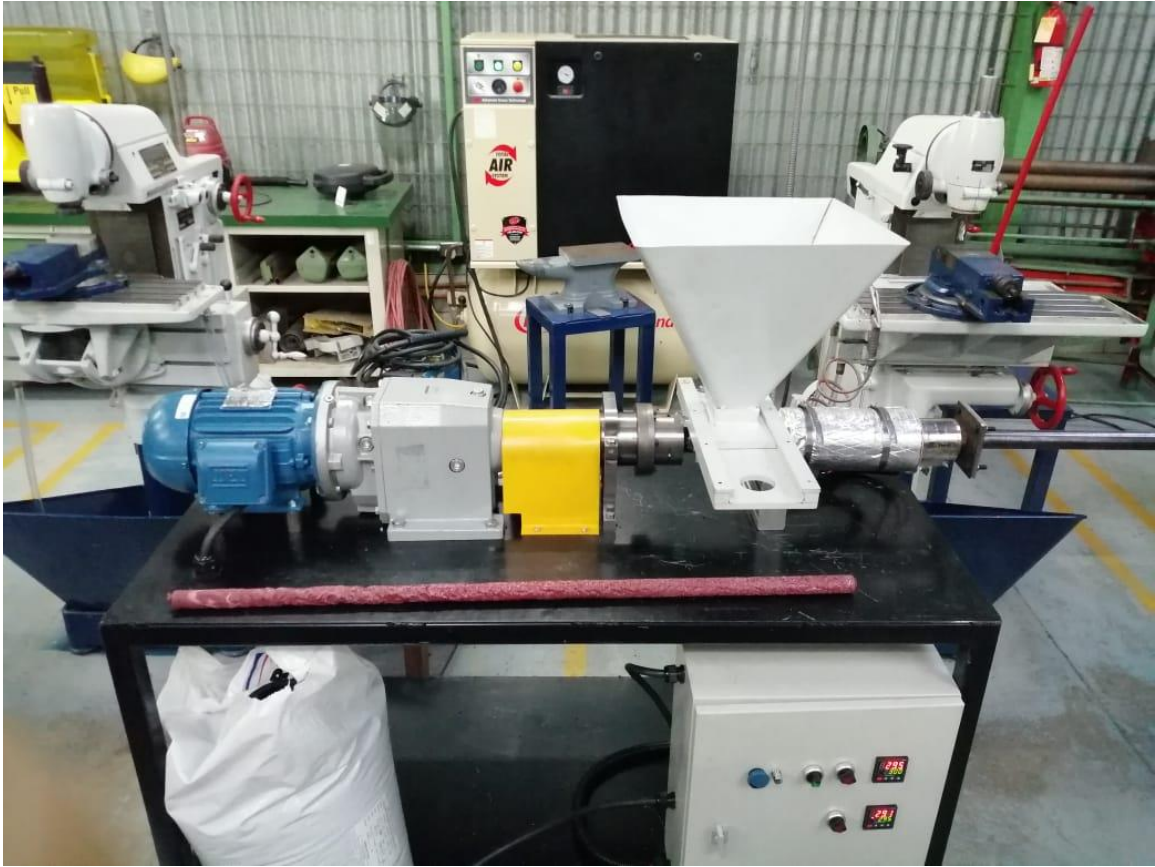
**ADVERTENCIA**



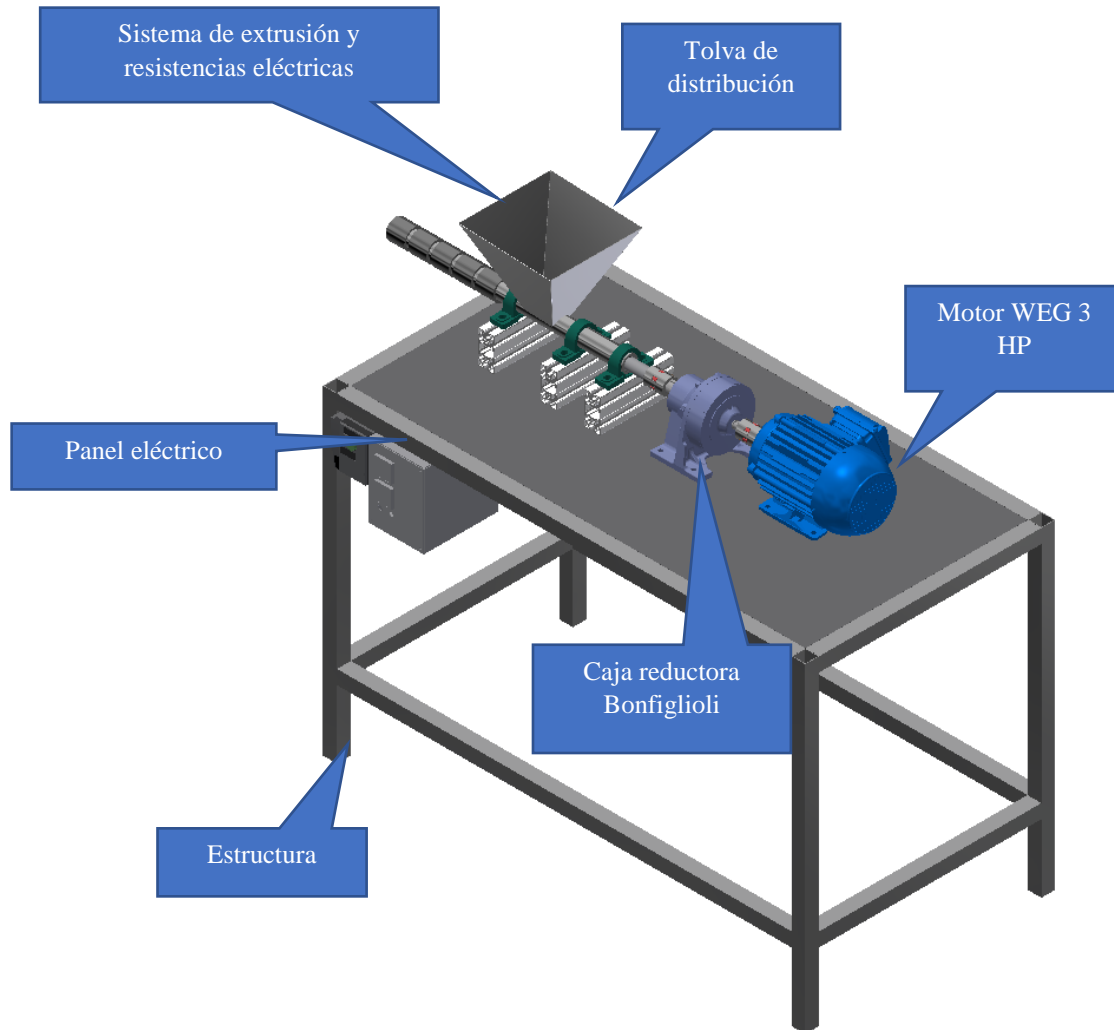
No operar la máquina extrusora sin haber leído este documento en su totalidad.

## Sección 1. Especificaciones y componentes de la máquina extrusora

Ilustración 1. Máquina extrusora



## Partes de la máquina extrusora



## Especificaciones técnicas

ESTRUCTURA	S.A.E	MÉTRICO
LONGITUD	52 IN	1 318 MM
ANCHO	27 IN	683 MM
ALTURA	34.5 IN	875 MM
PESO MÁX. EN MESA (DISTRIBUIDO UNIFORMEMENTE)	600 LB	227 KG

ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS	S.A. E	MÉTRICO
VELOCIDAD DEL HUSILLO	56 RPM	56 RPM
POTENCIA DEL MOTOR	3 HP	2.24 KW
RELACIÓN DE REDUCCIÓN	31.4/1	31.4/1
VOLTAJE DE ENTRADA	220 V	220 V
AMPERIOS CARGA COMPLETA	20 A	20 A

Las características generales de la máquina extrusora son:

- Alimentación eléctrica 220 VAC-60HZ.
- Motor WEG de 3HP trifásico.
- Capacidad de cambiar la velocidad de salida del motor con un Variador de Frecuencia SCHNEIDER. En el rango de 0-599 (Hz)
- Capacidad de conectar el motor trifásico a una corriente monofásica, con el variador de frecuencia.
- Capacidad de variar la temperatura de las resistencias eléctricas con un controlador de temperatura.
- Variador de frecuencia programable. En el rango de 25-400 (°C)
- Matriz de salida que se puede adaptar fácilmente a diferentes tipos de perfiles y formas.
- La máquina extrusora tiene un costo energético de 6.5 quetzales por hora de operación. (Q 6.5/h)
- El plástico ideal para la máquina extrusora es el polipropileno (PP).

## Sección 2. Normas de seguridad

### Clasificación de pictogramas



Peligro general. No acercarse a este elemento durante la operación.



Peligro de electrocución.



Peligro por inhalación de gases dañinos para la salud.



Peligro partes móviles pueden atrapar o cortar partes del cuerpo.



Peligro superficies calientes. Pueden ocasionar quemaduras en el operador si hay contacto con estas.



Pictogramas ISO 7010 Máscaras

Utilice mascarillas con filtro.



Se recomienda el uso de calzado de seguridad con punta de acero.



Utilice gafas protectoras.



Utilice guantes protectores de cuero.



Lea el manual de instrucciones antes de utilizar la máquina.

## Normas generales de seguridad

- La máquina solo deberá ser utilizada según lo establece este manual.
- La máquina extrusora solo debe ser utilizada por personas mayores de 18 años y que hayan sido capacitadas previamente para operarla.
- Previo a ingresar el plástico triturado, lavarlo y secarlo para no afectar el producto final de la máquina extrusora.
- No introducir ningún material que no sea polipropileno (PP) a la tolva de alimentación.
- Para operar la máquina extrusora se debe contar con el equipo adecuado: gafas de seguridad, mascarilla con filtro, guantes de cuero y pantalón de lona. También se recomienda el uso de calzado de cuero con puntas de acero.
- No introducir las manos en la tolva de alimentación mientras la máquina esté en funcionamiento o conectada a la electricidad.
- Antes de comenzar a operar la máquina asegurarse de que la guarda que protegen el acople reductor-husillo estén bien puesta para que los elementos giratorios no dañen al usuario.
- No manipular la matriz de extrusión mientras la máquina esté conectada a la electricidad. Esperar 2 minutos desde la desconexión de la máquina extrusora para manipularla.
- El mantenimiento, ajuste y limpieza de la extrusora debe realizarse únicamente cuando se encuentre apagada la máquina y desconectada de la corriente eléctrica para evitar encendidos accidentales y serios daños a personas.
- Se recomienda que un operario se encuentre cerca de los interruptores del sistema eléctrico, para apagarlos en caso de una emergencia mientras se esté utilizando la extrusora.
- No tocar la matriz de extrusión durante la operación de la máquina extrusora porque puede ocasionar quemaduras en los usuarios.



## Normas de seguridad para estructura y tolva

1. En ninguna circunstancia se deben de colocar objetos sobre la zona de extrusión.
2. Verificar que la guarda que protege el acople reductor-husillo extrusor este ensamblado correctamente.

Ilustración 2. Acople reductor-husillo extrusor



3. En ningún momento se debe de exceder de 600 libras de carga sobre la estructura de la máquina extrusora, para evitar comprometer la seguridad del operador.
4. En caso de que se introduzca algún objeto extraño a la tolva de alimentación durante operación, se debe de colocar el *switch* del motor y de las resistencias eléctricas en la posición de apagado. Y luego se debe de desconectar el enchufe para proceder a la reparación del problema.



Ilustración 3. Tolva de alimentación



Ilustración 4. Distribución de *switches*



5. En el caso de observar un comportamiento anormal de la extrusora, como grandes vibraciones, se debe detener el funcionamiento y consultar el manual de usuario en la sección de solución de problemas.

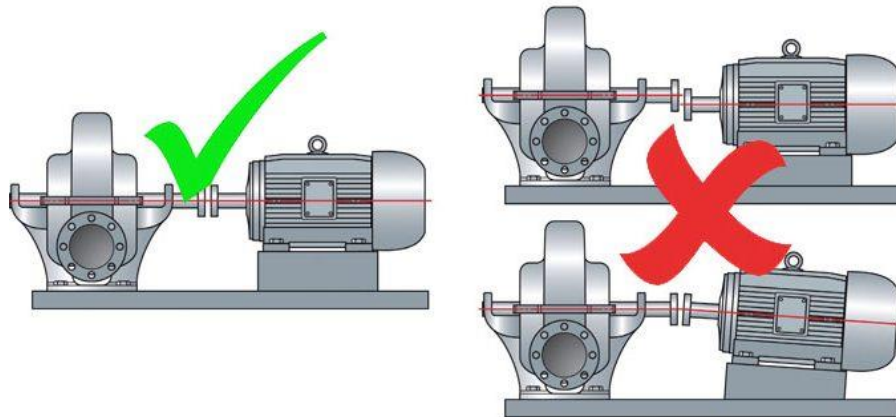
 **ADVERTENCIA** 

No introducir ningún tipo de plástico, que no sea PP, u otro elemento extraño a la tolva de alimentación de la máquina extrusora, ya que puede generar un aumento de presión en la zona de extrusión que podría resultar en el daño permanente de esta.

### Inspección de seguridad de sistema de transmisión de potencia

1. Asegurarse de que la máquina extrusora se encuentra desconectada del tomacorriente.
2. Desensamblar la guarda que protege el acople reductor-husillo extrusor.
3. Revisar que el eje del motorreductor este alineado con el eje del sistema de extrusión, esto se puede realizar con una inspección visual. También se puede revisar la alineación pasando un juego de galgas en los 4 puntos del acople.

Ilustración 5. Identificación de desalineamiento.



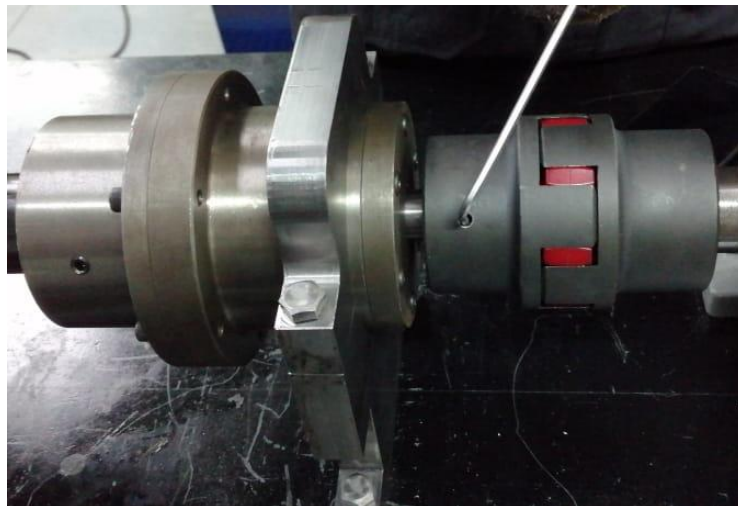
4. Revisar que el motor y el reductor estén debidamente sujetos, esto incluye la inspección de los tornillos que sujetan al motor y al reductor a la estructura.

Ilustración 6. Forma correcta de apretar los tornillos de los elementos a la estructura.



5. Revisar que el acople este correctamente ensamblado, asegurándose de que los tornillos tipo Allen de este se encuentren apretados.

Ilustración 7. Forma correcta de apretar tornillos con llave Allen.



6. Ensamblar la guarda que protege el acople reductor-husillo extrusor.
7. Realizar los pasos 10-18 de la sección de instrucciones de operación.
8. Escuchar si se oyen golpeteos mientras funciona el sistema de extrusión sin material, de escucharse se debe consultar la sección de solución de problemas.
9. Realizar los pasos 21-23 de la sección de instrucciones de operación.

## Normas de uso y seguridad del sistema de extrusión

1. No operar la máquina extrusora sin la carcasa de fibra de vidrio sobre las resistencias eléctricas.
2. No tocar la carcasa de fibra de vidrio durante la operación.
3. No tocar la boquilla de extrusión durante la operación.
4. No tocar la matriz de extrusión durante la operación.
5. Los elementos de sujeción del sistema de extrusión deben de estar firmemente sujetos.
6. No tocar los elementos de sujeción del sistema de extrusión durante la operación.
7. No introducir ningún elemento, que no sea PP y HDPE, al sistema de extrusión por la tolva de alimentación o por la boquilla.

## Sección 3. Operación

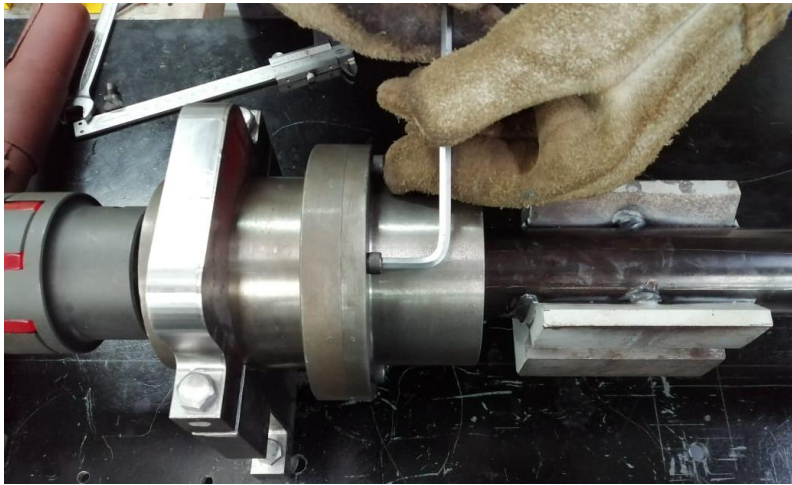
### Instrucciones de operación

Cuadro 1. Herramientas, equipo y material necesario para la operación.

Cantidad	Herramienta, material o equipo	Disponibilidad
2	Calzado de seguridad con punta de acero	
2	Guantes protectores de cuero	
2	Mascarillas con filtro	
2	Gafas protectoras	
5.5	libras de polipropileno (PP)	
1	Extensión eléctrica de 25 metros	
1	Extintor ABC de polvo químico seco	
1	Botiquín de primeros auxilios	
1	Cubeta plástica	
1	Báscula	
1	Llave cola y corona 13 mm	
1	Llave cola y corona 14 mm	
1	Llave cola y corona 19 mm	
1	Llave Allen 1/8"	
1	Llave Allen 3/16"	
1	Llave ajustable	
1	Desarmador Phillips	

1. La operación de la máquina extrusora debe de realizarse por un mínimo de dos personas capacitadas para la utilización de esta.
2. Antes de manipular la máquina extrusora, asegurarse de contar con el equipo adecuado para la operación: gafas protectoras, guantes protectores de cuero, mascarillas con filtro, pantalón de lona y se recomienda el uso de calzado de seguridad con punta de acero.
3. Asegurarse que el plástico triturado que se va a utilizar, este lavado y seco.
4. Asegurarse que la máquina extrusora este desconectada del tomacorriente.
5. Realizar una inspección de seguridad del sistema de transmisión de potencia.
6. Realizar una inspección de seguridad a todos los elementos de sujeción de la máquina extrusora.

Ilustración 8. Inspección elementos de sujeción.



7. Asegurarse que la guarda del acople esté debidamente ensamblada y que ningún elemento está obstruyendo a los elementos giratorios.
8. Revisar que la carcasa de fibra de vidrio esté debidamente colocada sobre las resistencias eléctricas.
9. Ensamblar el perfil de trabajo en la matriz de extrusión
10. Conectar la máquina extrusora a la corriente de 220 V monofásica.
11. Abrir el panel eléctrico.
12. Asegurarse que los *breakers* estén en la posición de encendido.

Ilustración 9. *Breakers* en la posición de encendido.



13. Cerrar el panel eléctrico.
14. Mover los *switch* que controlan el encendido de los 2 juegos de resistencias eléctricas a la posición de encendido.
15. Colocar la temperatura de ambos controladores a 380°C, y esperar a que el controlador indique que se llegó a las temperaturas.
16. Mover el *switch* que controla al motorreductor a la posición de encendido.
17. Colocar el potenciómetro en la posición de 60 Hz.
18. Esperar 30 segundos a que la velocidad del motorreductor se estabilice.

Ilustración 10. Parte frontal del panel eléctrico



19. Se mide con la báscula unas 4 libras del PP y se vierten a la tolva de la máquina extrusora.

Ilustración 11. Manera correcta de ingresar el plástico.



ADVERTENCIA



No introducir el PP a la tolva con la mano. Para introducir el material se debe de utilizar un contenedor que sirva para verter el material desde afuera de la tolva. Nunca ingresar ninguna parte del cuerpo a la tolva mientras el enchufe esté conectado.

20. Esperar a que la máquina extrusora llene la matriz de extrusión.
21. Mover el *switch* que controla el motorreductor a la posición de apagado.
22. Esperar a que los ejes y el acople se encuentren en estado estacionario.
23. Colocar el potenciómetro en la posición de 0 Hz.
24. Mover los *switch* que controlan el encendido de los 2 juegos de resistencias eléctricas a la posición de apagado.
25. Esperar 5 minutos a que el plástico se enfríe dentro de la matriz de extrusión.
26. Desensamblar el perfil de la matriz de extrusión
27. Extraer el perfil de plástico de la matriz de extrusión.



ADVERTENCIA



Durante toda la operación es importante utilizar guantes de cuero de seguridad para evitar quemaduras. Y mientras se esté extruyendo es necesario utilizar la mascarilla con filtro para evitar mareos o problemas respiratorios producto de la inhalación de los gases.

28. Repetir los pasos 14-17.
29. Colocar una cubeta de plástico debajo de la boquilla.
30. Extraer el plástico que pudo haber sobrado en la máquina extrusora
31. Repetir los pasos 20-22.
32. Retirar la cubeta llena de plástico fundido.
33. Desconectar la máquina extrusora de la corriente.

34. Guardar el equipo y herramientas que se utilizaron para la operación.

Ilustración 12. Ensamblaje del perfil de trabajo a la matriz de extrusión.



Ilustración 13. Resultados de pruebas de operación



## Sección 4. Mantenimiento

### Mantenimiento del sistema de transmisión de potencia

1. El reductor está equipado de fábrica con una carga lubricante de la grasa **SHELL OMALA S4 WE 320**, el cual es un lubricante recomendado para sistemas cuyo mantenimiento no es muy frecuente “de por vida”.
2. Se puede realizar un cambio de lubricante cada **5000 horas de uso (cada 5 años)**.
3. Los pasos para la sustitución del lubricante son:
  - a. Colocar un recipiente con la capacidad adecuada debajo del tapón de vaciado.
  - b. Sacar el tapón de vaciado y dejar fluir el aceite. (Esta operación se puede agilizar con aceite caliente).
  - c. Esperar unos minutos a fin de que se vacíe todo el aceite, posteriormente roscar el tapón de vaciado.
  - d. Desenroscar el tapón de carga.
  - e. Introducir el aceite nuevo hasta alcanzar el nivel. No mezclar aceites de marca o características diferentes, solo utilizar el **SHELL OMALA S4 WE 320**.
  - f. Atornillar el tapón de carga.

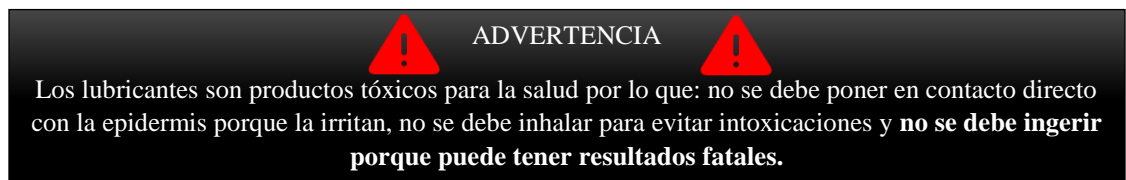


Ilustración 14. Esquema reductor. (S.A., 2016)

- 1 Tapón de carga y respiración
- 2 Tapón de nivel
- 3 Tapón de vaciado

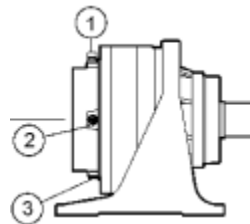
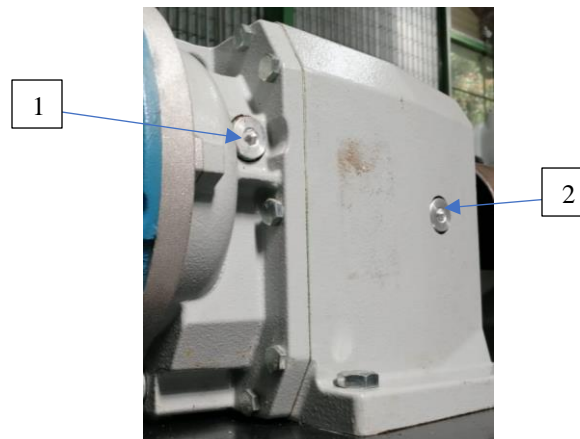


Ilustración 15. Señalización de tapones caja reductora.



## Solución de problemas

Localización del problema	Anomalías de funcionamiento	Posible causa	Posible solución
Reductor	Ruidos inusuales	Cuerpos extraños en el lubricante	Comprobar el estado del lubricante
Reductor	Temperatura inusualmente alta (>100°C)	Disminución de capacidades del lubricante	Comprobar el estado del lubricante
Motor	No arranca	No le llega corriente al motor	Verificar tensiones en los contactos del motor (Ilustración 11.)
Motor	No arranca, pero suena como si quiere arrancar	Le falta una fase	Verificar que la conexión de los contactos del motor este en delta.
Motor	Corriente consumida durante funcionamiento es excesiva	Husillo extrusor agarrotado o carga excesiva	Verificar tensiones en los contactos del motor
Motor	Motor humea o se quema	Cortocircuito directo o de espiras	Apagar el fuego con el extintor y cuando este frío verificar la ventilación del motor
Sistema eléctrico	No encienden los elementos al colocar los <i>switch</i> en la posición de encendido	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Se ha desconectado el cable de alimentación.</li> <li>2. Se ha desconectado un cable en los interruptores de encendido.</li> <li>3. No está conectado al tomacorriente.</li> </ol>	Verificar las conexiones del cable de alimentación y de los interruptores.
Estructura	Vibraciones considerables	Superficie donde se encuentra la trituradora está inclinada	Ajustar la parte inferior de la estructura para asegurarse que se encuentre lo más estable posible. Corroborar con un nivel.
Sistema de Extrusión	Ruido de raspadura	Acople del husillo extrusor no se encuentra alineado	Verificar la alineación del husillo y apriete de los componentes.
Sistema de Extrusión	Movimiento de la camisa del husillo	La temperatura de operación es demasiado baja o la frecuencia de operación es demasiado alta	Parar la máquina inmediatamente, aumentar la temperatura, bajar la frecuencia de operación y apretar los elementos de la máquina extrusora

Ilustración 16. Contactos del moto



## Anexo 8. Manual de pruebas

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



## Procedimiento para pruebas de máquina extrusora

Elaborado por:

José Andrés Villafuerte Guzmán - 15416

Guatemala, 2019

## Introducción

Para determinar el correcto funcionamiento de la máquina extrusora se realizarán diferentes pruebas, en el siguiente informe se detallará en qué consistirán las pruebas y sus respectivos procedimientos y medidas de seguridad para todas las personas involucradas en estas.

Antes de realizar cualquier prueba se le informará al encargado de seguridad (Nelson Aldana) para que se mantenga alerta en caso de cualquier emergencia, también se tendrá informado al profesor en turno encargado del taller en el momento de las pruebas en caso sea necesario que se necesite su apoyo. También se contará con un botiquín equipado con utensilios de atención prehospitalaria en caso se llegaran a necesitar. También se contará con un extintor de polvo químico seco (ABC) por si existe algún conato de incendio causado por una falla en el sistema eléctrico o con la fundición del plástico. Posterior a cada prueba se realizará una inspección y limpieza de la máquina extrusora, se verificará que no se haya desajustado o dañado ningún elemento de esta.

### **Números de emergencia**

Taller de metalmecánica: 44389331

Edgar

Gustavo

Carlos

Bomberos Municipales de Guatemala: 123

Bomberos Voluntarios: 122

#### Contactos de emergencia para Rodrigo Duarte

Paula Duarte: 30136959

#### Contactos de emergencia para Gustavo Lemus

Ana Ceballos: 5417-3457

#### Contactos de emergencia para Pedro Vielman

Ligia Vielman: 55496454

#### Contactos de emergencia para Andrés Villafuerte

Verónica Guzmán: 5176-9748

#### Encargado de seguridad de UVG

Nelson Aldana: 2507-1500 Ext.21467

## Medidas de seguridad generales

1. Las pruebas de la máquina extrusora están diseñadas para poder ser realizada entre 2 personas.
2. Trasladar la máquina extrusora a la parte interior del taller de Metalmecánica que se encuentra a la par del baño y del equipo de soldadura, este lugar se escogió porque está cerca de la conexión monofásica de (220V) y es un área ventilada. Se moverán todos los elementos que obstaculicen el movimiento de la máquina extrusora o de los usuarios que están realizando las pruebas, así como los elementos que puedan ser inflamables o que pongan en peligro la integridad del usuario.

Ilustración 1. Ubicación de pruebas



3. Trasladar todo el equipo, material y herramientas necesarias para la realización de las pruebas.

Cuadro 1. Herramientas, equipo y material necesario para la realización de las pruebas.

Cantidad	Herramienta, material o equipo	Disponibilidad
2	Calzado de seguridad con punta de acero	
2	Guantes protectores de cuero	
2	Mascarillas con filtro	
2	Gafas protectoras	
20	Kilogramos de polipropileno (PP)	
1	Extensión eléctrica de 25 metros	
1	Extintor ABC de polvo químico seco	
1	Botiquín de primeros auxilios	
1	Medidor de vibraciones Fluke	

1	Cubeta plástica
1	Bascula
1	Llave cola y corona 12 mm
1	Llave cola y corona 14 mm
1	Llave Allen 3/16"
1	Llave ajustable
1	Desarmador Phillips

4. Verificar que los tornillos castigadores de los acoples y las chumaceras estén apretados.
5. Verificar que todos los elementos estén correctamente ensamblados.
6. Verificar que ningún elemento rotativo se encuentre expuesto al usuario.
7. Verificar que la estructura de la máquina extrusora este correctamente nivelada con el suelo, si este no fuera el caso, ajustar la altura de cada pata de forma independiente hasta lograr que la estructura se encuentre nivelada.
8. Los estudiantes que realicen las pruebas deben de utilizar el equipo de seguridad listados en el Cuadro 13.
9. Uno de los estudiantes debe de permanecer próximo al panel eléctrico para cortar la corriente de energía de la máquina extrusora de ser necesario.
10. El otro estudiante debe de verificar continuamente la salida del plástico de la matriz de la máquina extrusora.

### Prueba de transmisión de potencia y vibraciones

1. Las personas que realicen la prueba deben de utilizar calzado de seguridad, guantes protectores de tipo industrial y gafas protectoras.
2. Para esta prueba se necesitará tener preparado: 1 llave de cola y corona #12, una llave Allen 3/16", el medidor de vibraciones Fluke, así como el extintor y el botiquín en caso de emergencia.
3. Se debe de retirar la guarda que cubre los elementos giratorios de la máquina extrusora, el acople entre el eje de la caja reductora y el eje del husillo extrusor. Esto se logra desatornillando la guarda con una llave cola y corona 12.
4. Verificar que los elementos de rotación no se encuentren en contacto con algún otro elemento que pueda obstruirlos.
5. Utilizando la llave Allen 3/16" apretar los tornillos castigadores del acople del reductor al eje del husillo. Mostrado en la Ilustración 2.
6. Ensamblar el medidor de velocidad y vibraciones del equipo Fluke.
7. Colocar un trozo del papel plegable, encontrado en el contenedor del equipo Fluke, sobre el centro del acople.
8. Configurar el equipo Fluke para la potencia nominal de 3 hp de la máquina extrusora.
9. Verificar que todos los botones del sistema se encuentran en la posición de apagado.
10. Conectar la máquina extrusora a la corriente de 220 V monofásica.
11. Abrir el panel eléctrico.
12. Verificar en el variador de frecuencia, que se encuentra en el panel eléctrico, que la velocidad de salida del motor es de 56 RPM (el variador de frecuencia debe de marcar una frecuencia de 60 HZ). En caso de que no se encuentre en la frecuencia correcta, debe de variarse con el potenciómetro que se encuentra en la parte frontal del panel eléctrico.
13. Cerrar el panel eléctrico.
14. Mover el *switch* que controla el motor a la posición de encendido.
15. Esperar 30 segundos a que el motor alcance la velocidad adecuada.

16. Tomar el equipo Fluke y dirigir la luz del medidor de velocidad y vibraciones al espacio del acople donde se colocó el trozo de papel plegable.
17. Haciendo esto se obtendrá la velocidad en RPM a la que se están moviendo los ejes con el acople.
18. Configurar el equipo Fluke para las condiciones de operación de la máquina extrusora: tipo de acople, posición de ensamblaje, etc.
19. El equipo Fluke mostrarán el resultado de las vibraciones generadas por la máquina extrusora, los cuales pueden compararse con el análisis de vibraciones teórico de esta.
20. Colocar el potenciómetro en la posición de 0 Hz.
21. Mover el *switch* que controla el motor a la posición de apagado.
22. Esperar a que los ejes y el acople se encuentren en estado estacionario.
23. Desconectar la máquina extrusora de la corriente.
24. Colocar de nuevo la guarda que cubre los elementos giratorios de la máquina extrusora, el acople entre el eje de la caja reductora y el eje del husillo extrusor. Esto se logra atornillando la guarda con una llave cola y corona 12.
25. Guardar el equipo y herramientas que se utilizaron para realizar la prueba.
26. Esta prueba verifica los requerimientos FISE-02 y FEET-02.
27. Estas pruebas no se pudieron realizar, debido a que el Fluke solo mide vibraciones de motores que tienen una velocidad angular a 200 RPM, lo cual se sobrepasa de las condiciones de operación de la máquina extrusora.

Ilustración 2. Acople caja reductora – husillo extrusor



Ilustración 3. Guarda de los elementos giratorios



## Prueba de condiciones de operación: temperatura

1. Las personas que realicen la prueba deben de utilizar calzado de seguridad, mascarilla con filtro, guantes protectores de tipo industrial y gafas protectoras.
2. Para esta prueba se necesitará tener preparado: 1 llave de cola y corona #12, 1 llave de cola y corona #14, 1 llave tipo cangrejo, 1 llave Allen 3/16", 1 desarmador Phillips, 6.5 libras de polipropileno (PP), báscula, así como el extintor y el botiquín en caso de emergencia.
3. Se verificará que todos los elementos de sujeción estén correctamente ensamblados y apretados con las herramientas de ajuste listadas en el paso 2.
4. Asegurarse de que cada juego de resistencias eléctricas está en la posición correcta junto con sus respectivos sensores de temperatura.
5. Conectar la máquina extrusora a la corriente de 220 V monofásica.
6. Mover los *switch* que controlan el encendido de los 2 juegos de resistencias eléctricas a la posición de encendido.
7. Colocar la temperatura de ambos controladores en 200°C, y esperar a que los controladores indiquen que se llegó a la temperatura.
8. Mover el *switch* que controla al motorreductor a la posición de encendido.
9. Abrir el panel eléctrico.
10. Verificar en el variador de frecuencia, que se encuentra en el panel eléctrico, que la velocidad de salida del motor es de 56 RPM (el variador de frecuencia debe de marcar una frecuencia de 60 HZ). En caso de que no se encuentre en la frecuencia correcta, debe de variarse con el potenciómetro que se encuentra en la parte frontal del panel eléctrico.
11. Cerrar el panel eléctrico.
12. Esperar 30 segundos a que la velocidad del motorreductor se estabilice.
13. Se mide con la báscula una 1 libra del PP y se vierte a la tolva de la máquina extrusora.
14. Colocar una cubeta por donde saldrá el plástico fundido.
15. Se espera a que salga el plástico de la boquilla para observar si el plástico está saliendo quemado o si le está costando salir por estar demasiado sólido.
16. En el caso de que el plástico este saliendo quemado, se bajará 10°C de los 2 controladores de temperatura y se repetirán los pasos 13-15.
17. En el caso de que el plástico le esté costando salir por estar demasiado sólido, se subirá 10°C a los 2 controladores de temperatura y se repetirán los pasos 13-15.
18. En el caso de que el plástico salga con la apariencia y consistencia requerida para el proceso de extrusión, basado en la observación del grupo de pruebas, se repetirá la prueba 1 vez para verificar los resultados.
19. Se anotarán los resultados.
20. Retirar la cubeta llena de plástico fundido.
21. Colocar el potenciómetro en la posición de 0 Hz.
22. Mover el *switch* que controla el motor a la posición de apagado.
23. Esperar a que los ejes y el acople se encuentren en estado estacionario.
24. Mover los *switch* que controlan el encendido de los 2 juegos de resistencias eléctricas a la posición de apagado.
25. Desconectar la máquina extrusora de la corriente.
26. Guardar el equipo y herramientas que se utilizaron para realizar la prueba.
27. Esta prueba verifica los requerimientos FEET-04 y FMM-01.
28. La condición de operación de temperatura es 380 °C

Ilustración 4. Resistencias eléctricas

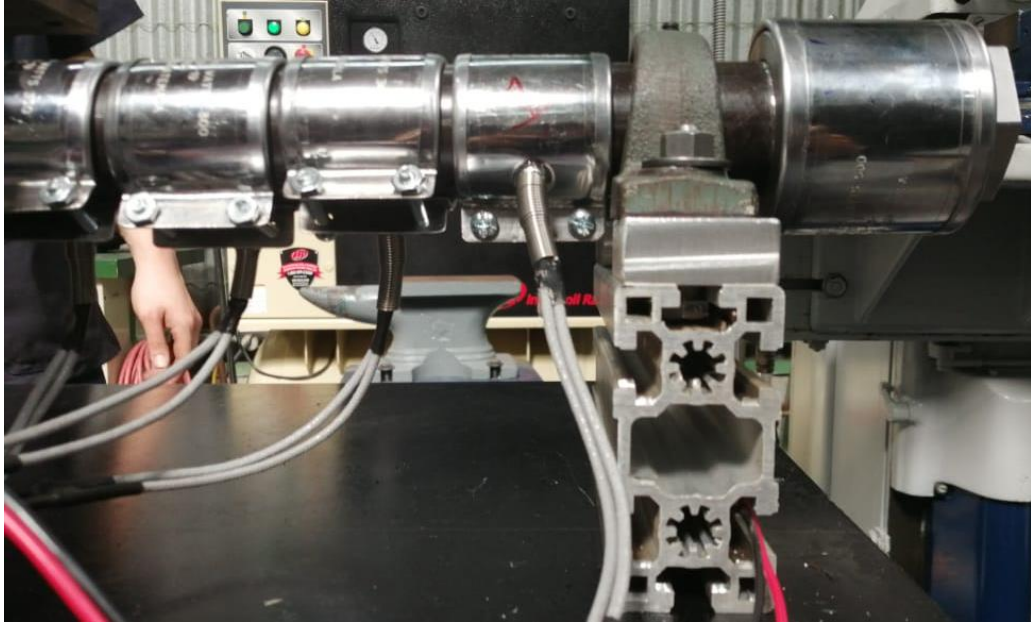


Ilustración 5. Temperatura de operación (300°C)



## Prueba de condiciones de operación: caudal

1. Las personas que realicen la prueba deben de utilizar calzado de seguridad, mascarilla con filtro, guantes protectores de tipo industrial y gafas protectoras.
2. Para esta prueba se necesitará tener preparado: 1 llave de cola y corona #12, 1 llave de cola y corona #14, 1 llave tipo cangrejo, 1 llave Allen 3/16", 1 desarmador Phillips, 6.5 libras de polipropileno (PP), báscula, así como el extintor y el botiquín en caso de emergencia.
3. Se verificará que todos los elementos de sujeción estén correctamente ensamblados y apretados con las herramientas de ajuste listadas en el paso 2.
4. Asegurarse de que cada juego de resistencias eléctricas está en la posición correcta junto con sus respectivos sensores de temperatura.
5. Ensamblar el perfil de trabajo a la matriz de extrusión
6. Conectar la máquina extrusora a la corriente de 220 V monofásica.
7. Abrir el panel eléctrico.
8. Mover el *switch* que controla al motorreductor a la posición de encendido.
9. Verificar en el variador de frecuencia, que se encuentra en el panel eléctrico, que la velocidad de salida del motor es de 56 RPM (el variador de frecuencia debe de marcar una frecuencia de 60 HZ). En caso de que no se encuentre en la frecuencia correcta, debe de variarse con el potenciómetro que se encuentra en la parte frontal del panel eléctrico.
10. Cerrar el panel eléctrico.
11. Esperar 30 segundos a que la velocidad del motorreductor se estabilice.
12. Mover los *switch* que controlan el encendido de los 2 juegos de resistencias eléctricas a la posición de encendido.
13. Colocar la temperatura de ambos controladores dependiendo de la información recabada en la prueba de temperatura, y esperar a que el controlador indique que se llegó a las temperaturas.
14. Anotar el tiempo que se tarda para llegar a estas temperaturas.
15. Se mide con la báscula unas 1.5 libras del PP y se vierten a la tolva de la máquina extrusora.
16. Anotar el tiempo que le tomo al plástico llenar la matriz de extrusión desde que se vertió el PP a la tolva.
17. Colocar el potenciómetro en la posición de 0 Hz.
18. Mover el *switch* que controla el motor a la posición de apagado.
19. Esperar a que los ejes y el acople se encuentren en estado estacionario.
20. Mover los *switch* que controlan el encendido de los 2 juegos de resistencias eléctricas a la posición de apagado.
21. Esperar 5 minutos a que el plástico se enfrié dentro de la matriz de extrusión.
22. Desensamblar la matriz de extrusión a la boquilla.
23. Extraer el perfil de plástico de la matriz de extrusión.
24. Desconectar la máquina extrusora de la corriente.
25. Guardar el equipo y herramientas que se utilizaron para realizar la prueba.
26. Esta prueba verifica los requerimientos OMM-01 y FMM-01.
27. La condición de operación de frecuencia es 60 Hz.

Ilustración 6. Matriz de extrusión

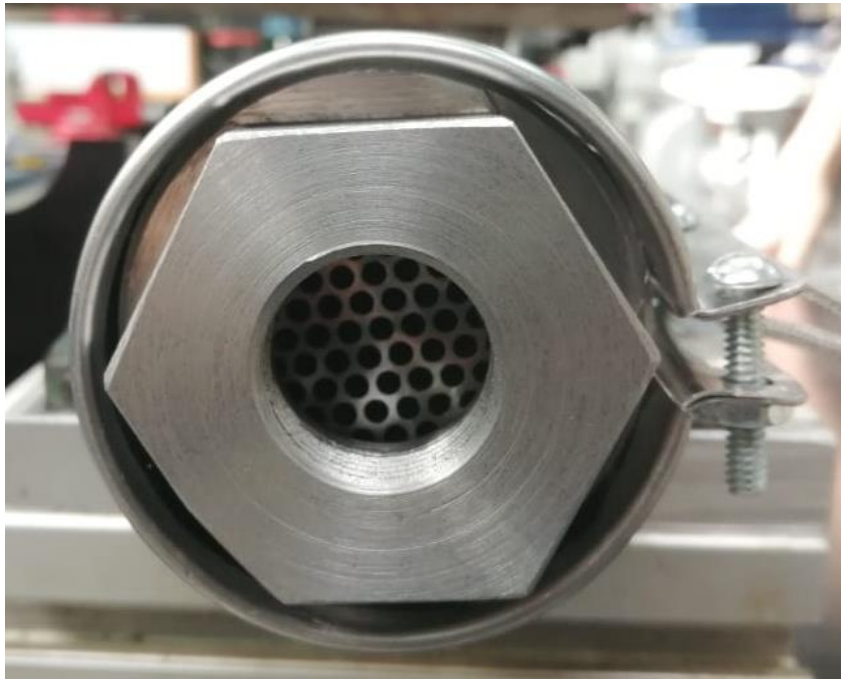


Ilustración 7. Frecuencia de operación (15-30 Hz)



Ilustración 8. Diferencia entre pruebas



## Anexo 9. Planos y estrategias en HSM

2

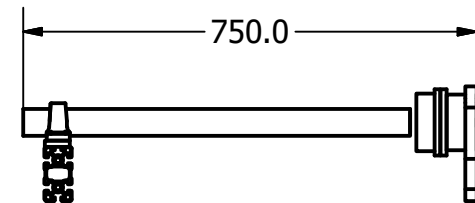
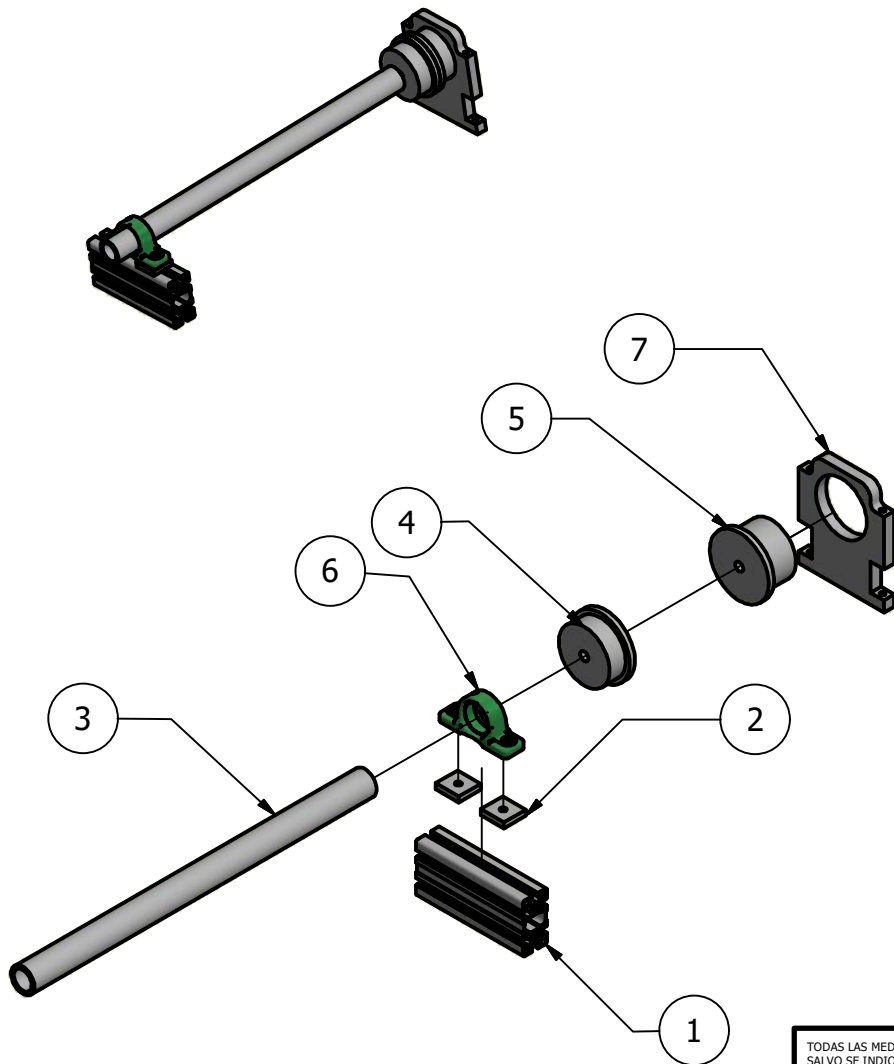
1

## LISTADO DE PARTES

NO. PARTE	CANTIDAD	NOMBRE DE PARTE	MATERIAL
1	1	T-SLOT STRUCTURAL FRAMING	ALUMINIO
2	2	ALZAS DE SOPORTE FRONTAL	ALUMINIO
3	1	CILINDRO DE CALEFACCIÓN	ACERO 4140
4	1	ACOPLE FRONTAL	HIERRO FUNDIDO
5	1	ACOPLE TRASERO	HIERRO FUNDIDO
6	1	CHUMACERA PJ300	HIERRO FUNDIDO
7	1	SOPORTE TRASERO	ACERO 1045

B

B



A

A

REFERIRSE A PLANOS DE MODULO DE DISEÑO Y MANUFACTURA DE UN TORILLO DE POTENCIA PARA MAQUINA EXTRUSORA DE PLASTICO PARA EL NUMERO DE PARTE 3, 4, 5

TODAS LAS MEDIDAS EN MILÍMETROS SALVO SE INDIQUE LO CONTRARIO. INTERPRETAR SEGÚN ASME Y14.5 - 2009.

## TOLERANCIAS GENERALES

LINEAL  $.X \pm 0.5$   
 $.XX \pm$   
 $.XXX \pm$   
 ANGULAR  $\pm$   
 FRACCIONES  $\pm$   
 RUGOSIDAD SUPERFICIAL  $\checkmark$



TERCER ÁNGULO DE PROYECCIÓN

DIBUJADO POR G. LEMUS FECHA 16/11/2019

DISEÑADO POR G. LEMUS FECHA 16/11/2019

REVISADO POR A. VIAU FECHA 22/11/2019

APROBADO POR A. VIAU FECHA 22/11/2019

NOMBRE / NÚMERO DE PROYECTO  
 EXTRUSORA DE PLÁSTICO

TODA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA. SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL QUEDA PROHIBIDA SALVO PREVIA AUTORIZACIÓN DE LA INSTITUCIÓN.



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

18 avenida, 11-95 zona 15, Vista Hermosa III  
 Guatemala, Guatemala 01015  
 PBX: (502) 2634-0336 / 40  
 info@uvg.edu.gt

TÍTULO: SOPORTE DE CAMISA  
 SOP-0

NÚMERO DE DIBUJO: 1

FORMATO A ESCALA: 0.1 UNIDADES: mm  
 PÁGINA 1 DE 13 REV 0

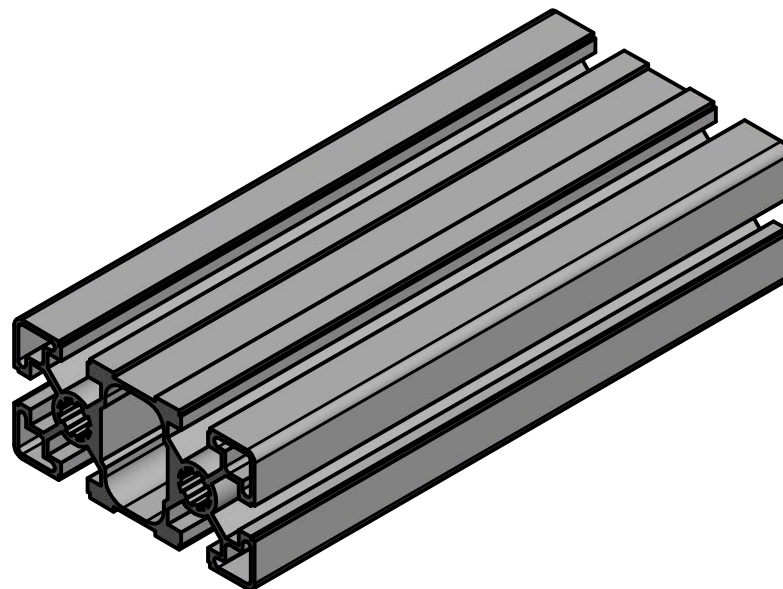
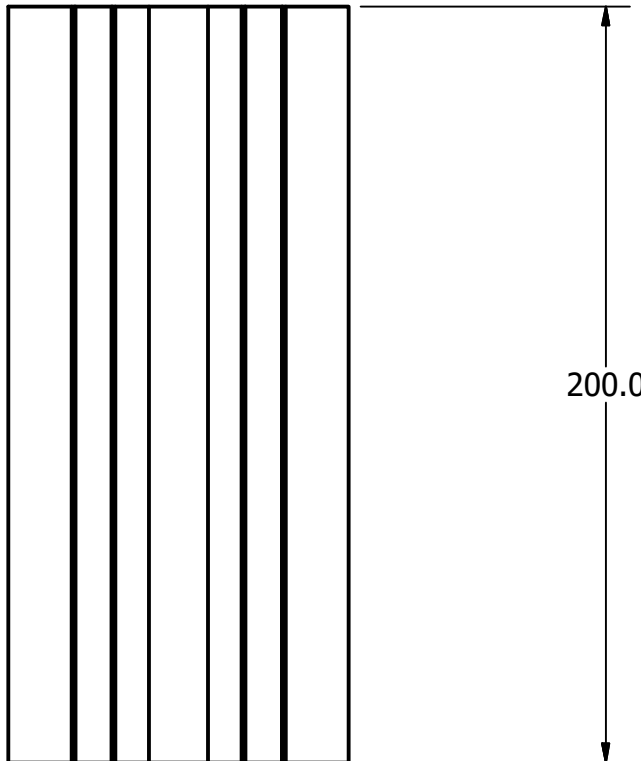
2

1

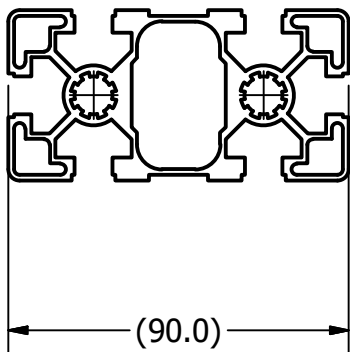
2



1



1. REMOVER BORDES FILOSOS  
Y REBABAS



TÍTULO: T-SLOT STRUCTURAL FRAMMIG SOP-1		
NÚMERO DE DIBUJO: 2		
FORMATO	ESCALA: 1/2:1	UNIDADES: mm
<b>A</b>	PÁGINA 2 DE 13	REV 0

2



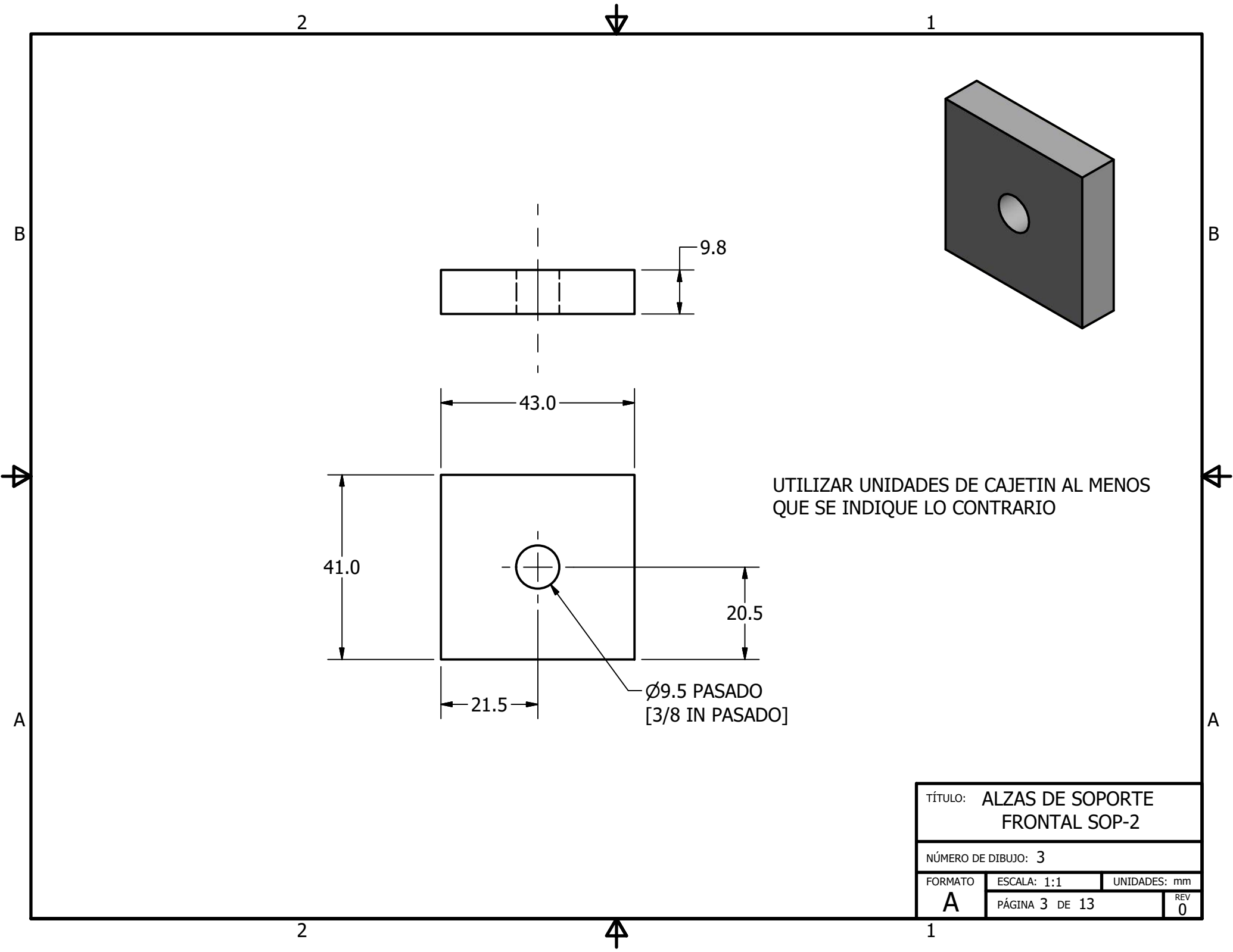
1

B

B

A

A



2

1

B

B

9.8

43.0

41.0

20.5

21.5

Ø9.5 PASADO  
[3/8 IN PASADO]

UTILIZAR UNIDADES DE CAJETIN AL MENOS  
QUE SE INDIQUE LO CONTRARIO

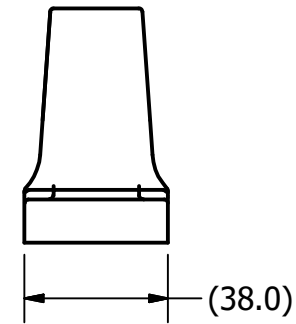
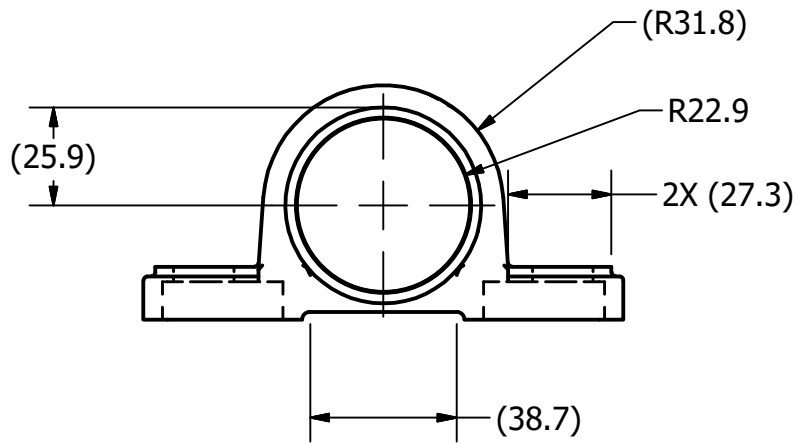
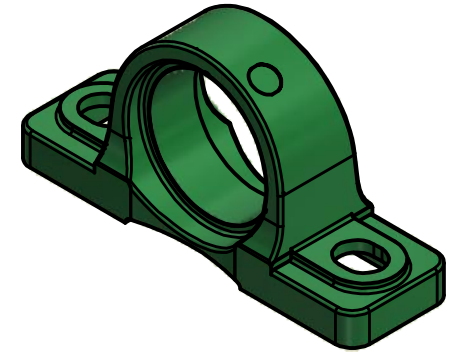
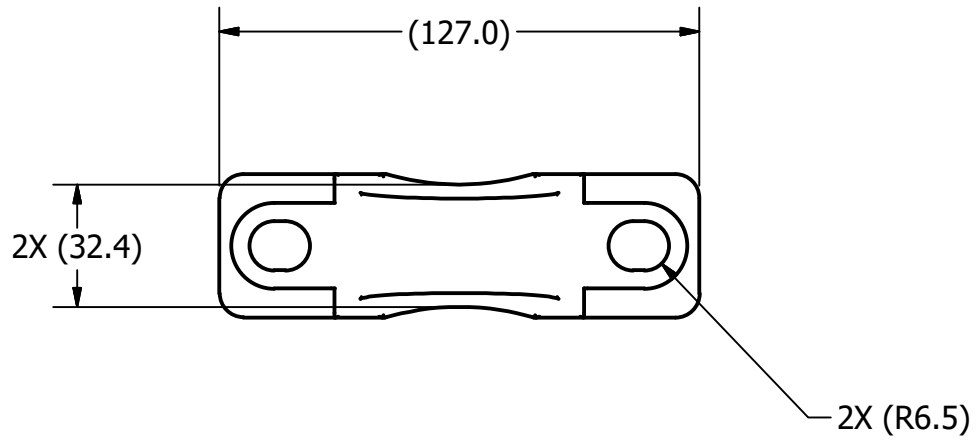
A

A

2

1

TÍTULO: ALZAS DE SOPORTE FRONTAL SOP-2		
NÚMERO DE DIBUJO: 3		
FORMATO	ESCALA: 1:1	UNIDADES: mm
<b>A</b>	PÁGINA 3 DE 13	REV 0



TÍTULO: CHUMACERA PJ300 SOP-6			
NÚMERO DE DIBUJO: 4			
FORMATO	ESCALA: 1/4 :1	UNIDADES: mm	
<b>A</b>	PÁGINA 4 DE 13		REV A

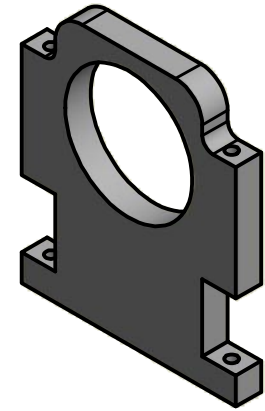
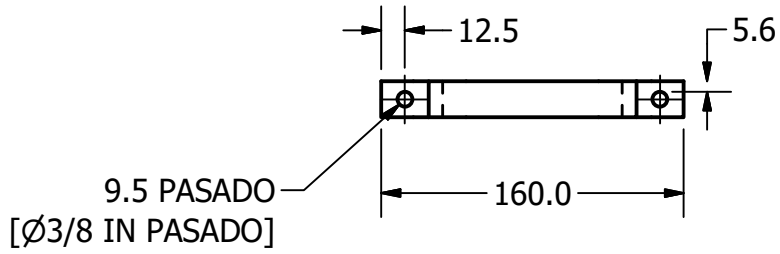
2

1

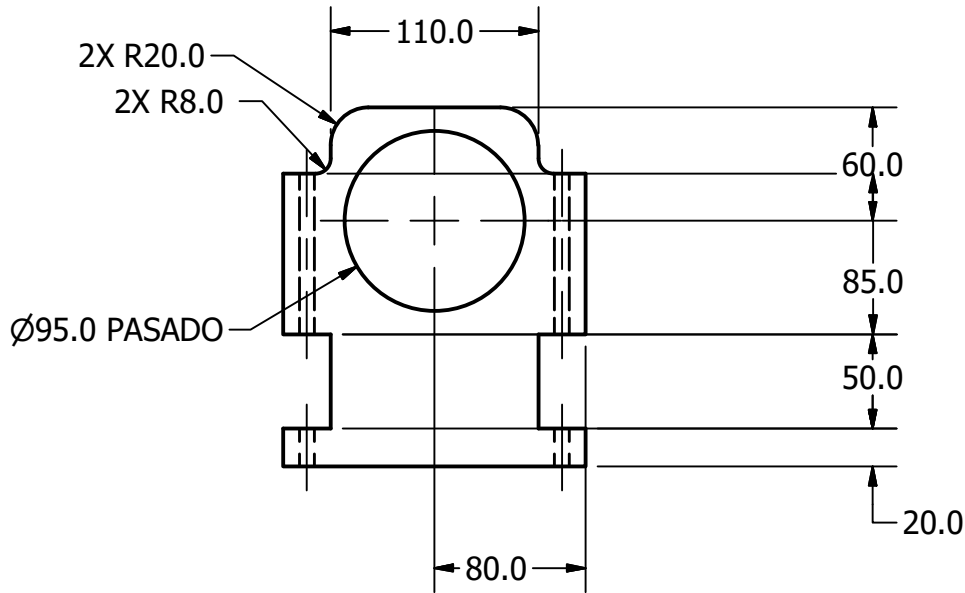


B

B



UTILIZAR UNIDADES DE CAJETÍN AL MENOS QUE SE INDIQUE LO CONTRARIO



A

A

2

1



TÍTULO: SOPORTE TRASERO SOP-7		
NÚMERO DE DIBUJO: 5		
FORMATO	ESCALA: 1/4 :1	UNIDADES: mm
<b>A</b>	PÁGINA 5 DE 13	REV 0

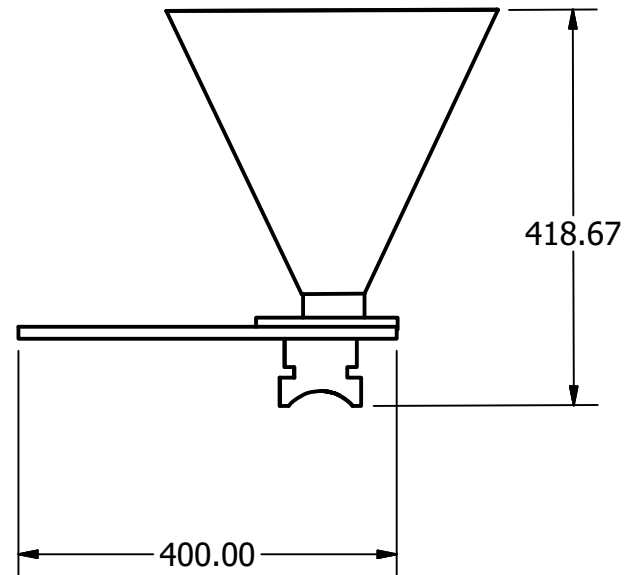
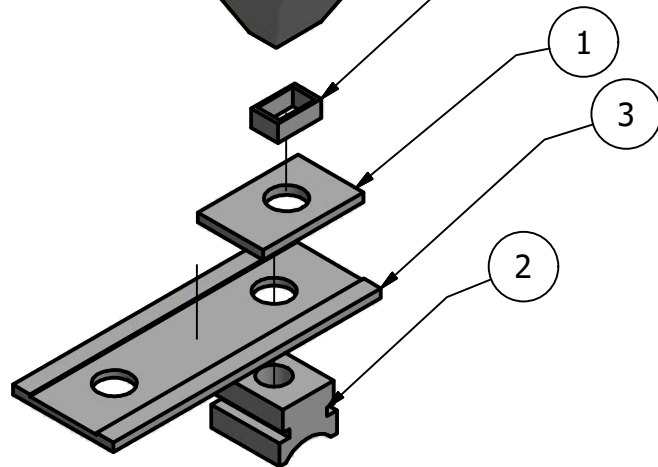
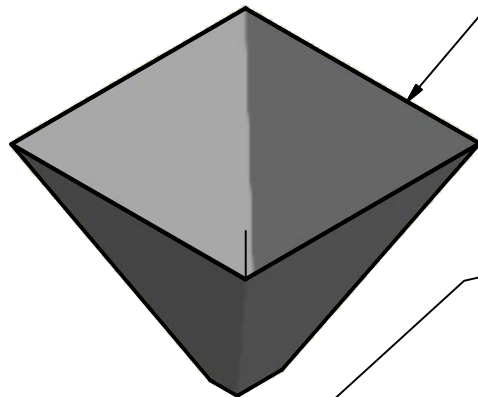
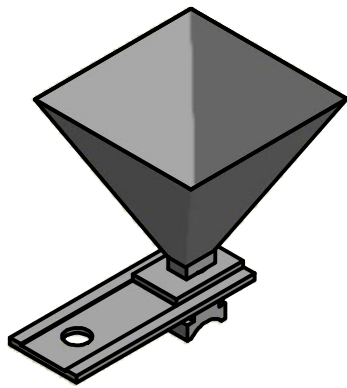
2



1

## LISTADO DE PARTES

NO. PARTE	CANTIDAD	NOMBRE DE PARTES	MATERIAL
1	1	CORREDERA TOLVA	ACERO 1018
2	1	SOPORTE TOLVA	ACERO 1018
3	1	RIEL TOLVA	HIERRO FUNDIDO
4	1	TOLVA	ACERO ASTM A-36
5	1	EXTENSION DE TOLVA	ACERO ASTM A-36



TODAS LAS MEDIDAS EN MILÍMETROS  
SALVO SE INDIQUE LO CONTRARIO.  
INTERPRETAR SEGÚN ASME Y14.5 - 2009.

## TOLERANCIAS GENERALES

LINEAL .X ± 0.5

.XX ±

.XXX ±

ANGULAR ±

FRACCIONES ±

RUGOSIDAD SUPERFICIAL ✓

DIBUJADO POR

G.LEMUS

FECHA

16/11/2019

DISEÑADO POR

G.LEMUS

FECHA

16/11/2019

REVISADO POR

A.VIAU

FECHA

22/11/2019

APROBADO POR

A.VIAU

FECHA

22/11/2019

NOMBRE / NÚMERO DE PROYECTO

EXTRUSORA DE PLASTICO

TODA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO ES  
PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA. SU  
REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL QUEDA PROHIBIDA SALVO  
PREVIA AUTORIZACIÓN DE LA INSTITUCIÓN.



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

18 avenida, 11-95 zona 15, Vista Hermosa III  
Guatemala, Guatemala 01015

PBX: (502) 2634-0336 / 40

info@uvg.edu.gt

TÍTULO:

SISTEMA DE  
ALIMENTACION ALI-0

NÚMERO DE DIBUJO: 6

FORMATO

A

ESCALA: 1 / 8

UNIDADES: mm

PÁGINA 6 DE 13

REV

0

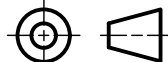
MATERIAL

N/A

TRATAMIENTO

N/A

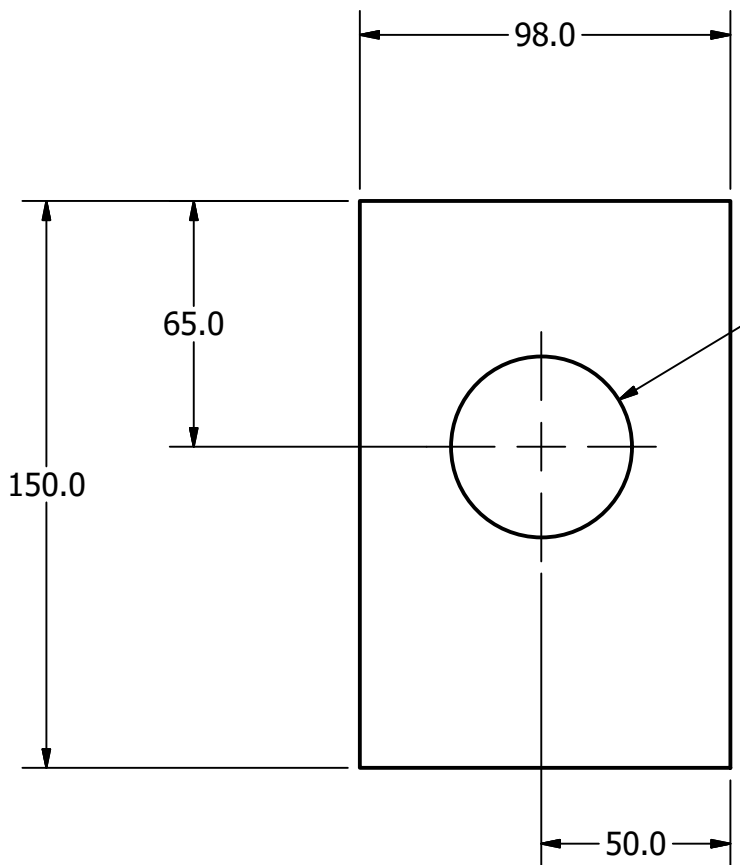
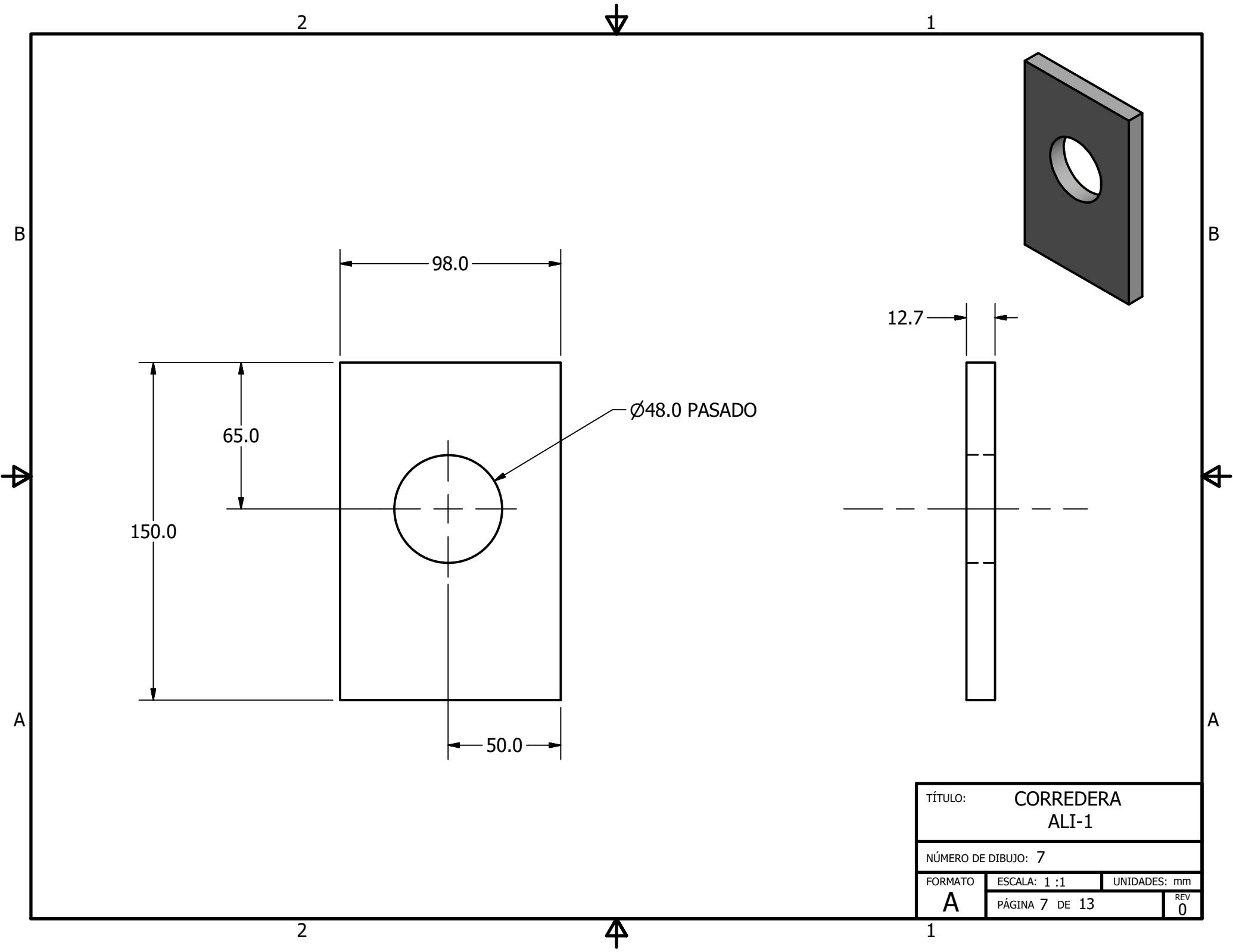
MASA: N/A

TERCER ÁNGULO DE  
PROYECCIÓN

2



1



Ø48.0 PASADO

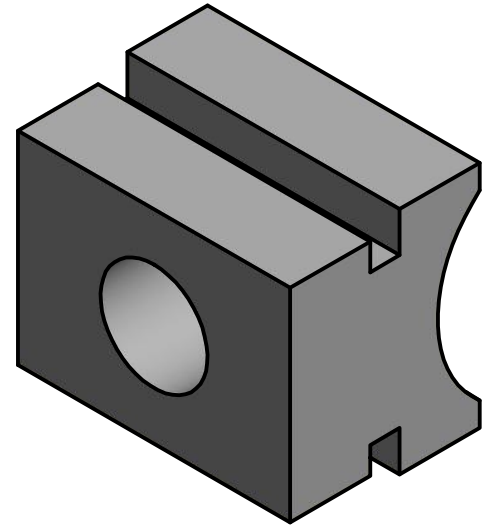
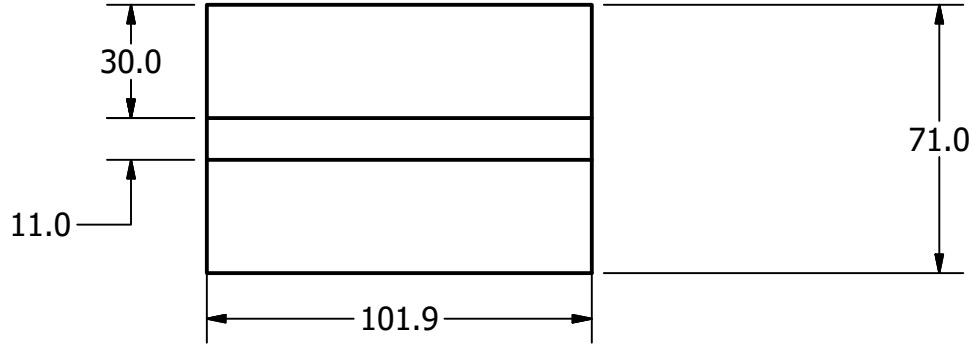
12.7

TÍTULO: CORREDERA ALI-1			
NÚMERO DE DIBUJO: 7			
FORMATO	ESCALA: 1 :1	UNIDADES: mm	
<b>A</b>	PÁGINA 7 DE 13		REV 0

2

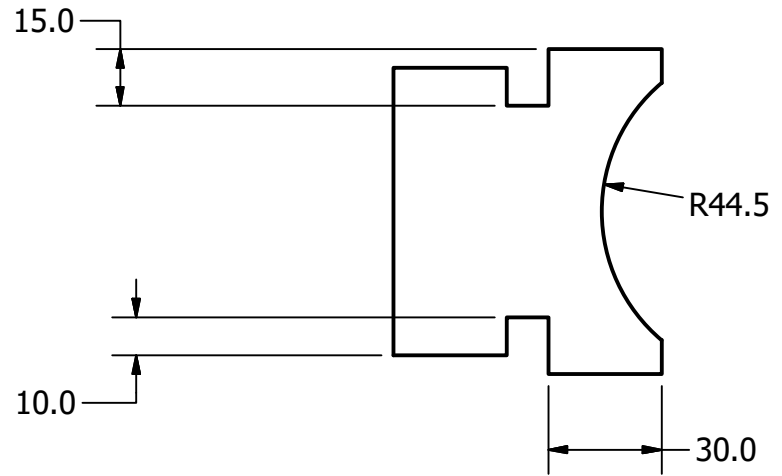
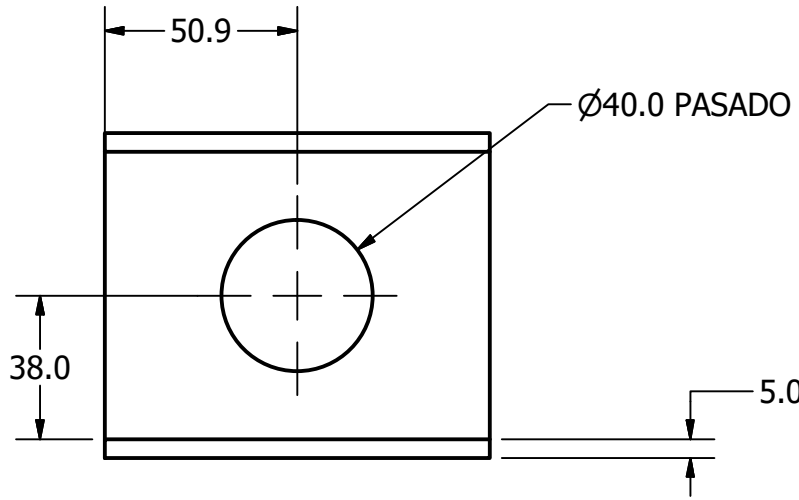


1



B

B



A

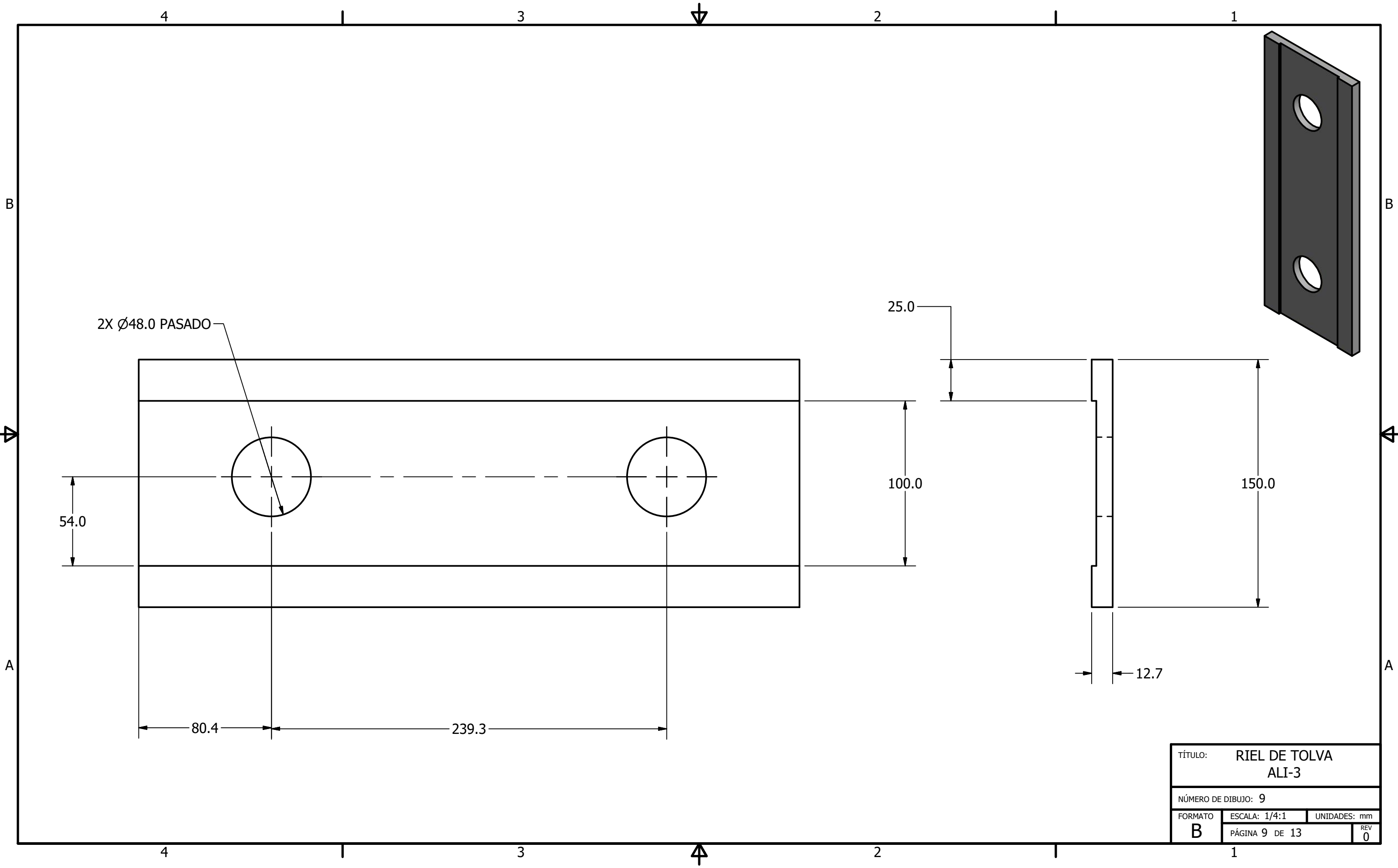
A

2



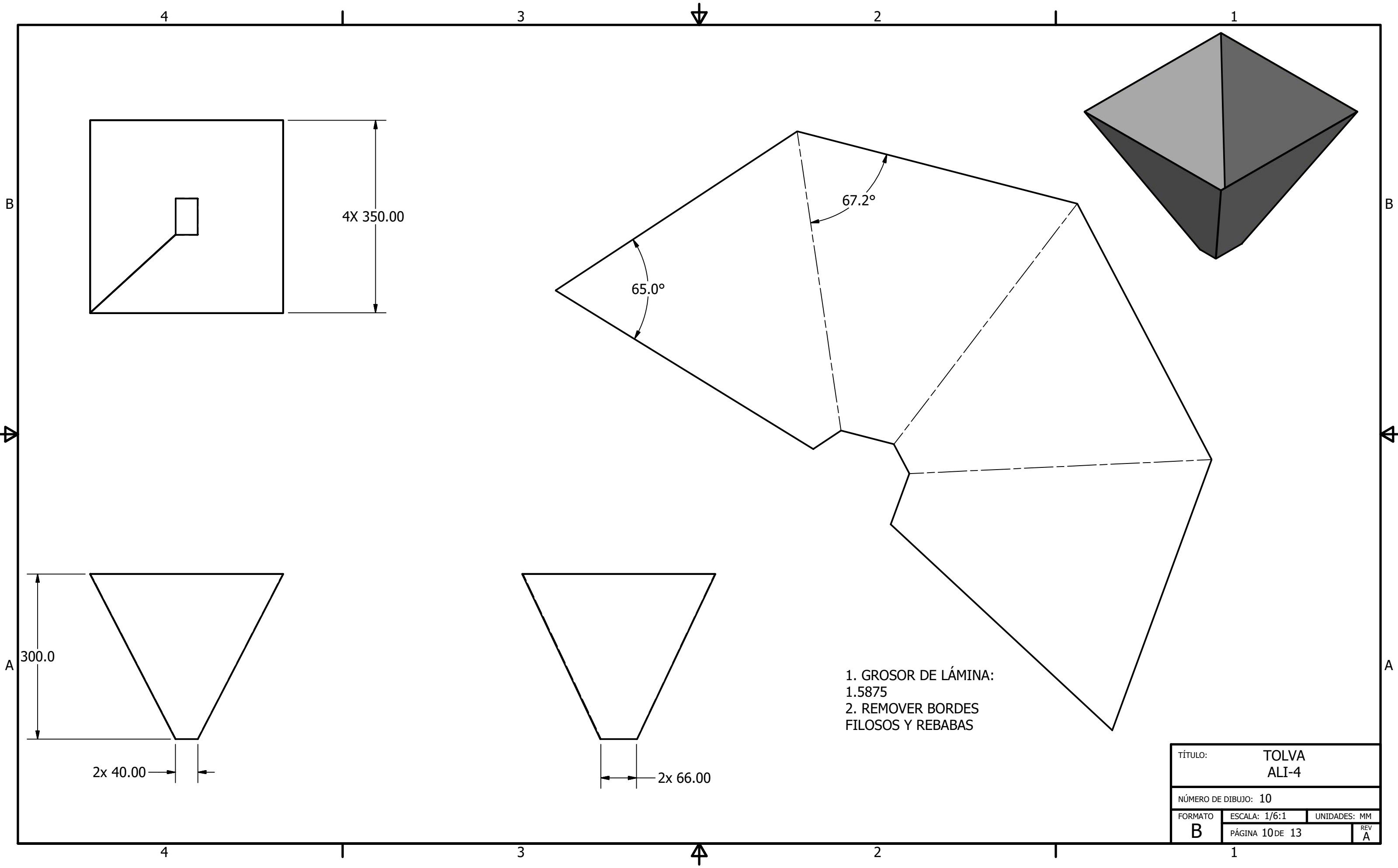
1

TÍTULO: SOPORTE TOLVA ALI-2			
NÚMERO DE DIBUJO: 8			
FORMATO	ESCALA: 1/2 : 1	UNIDADES: mm	
<b>A</b>	PÁGINA 8 DE 13		REV 0



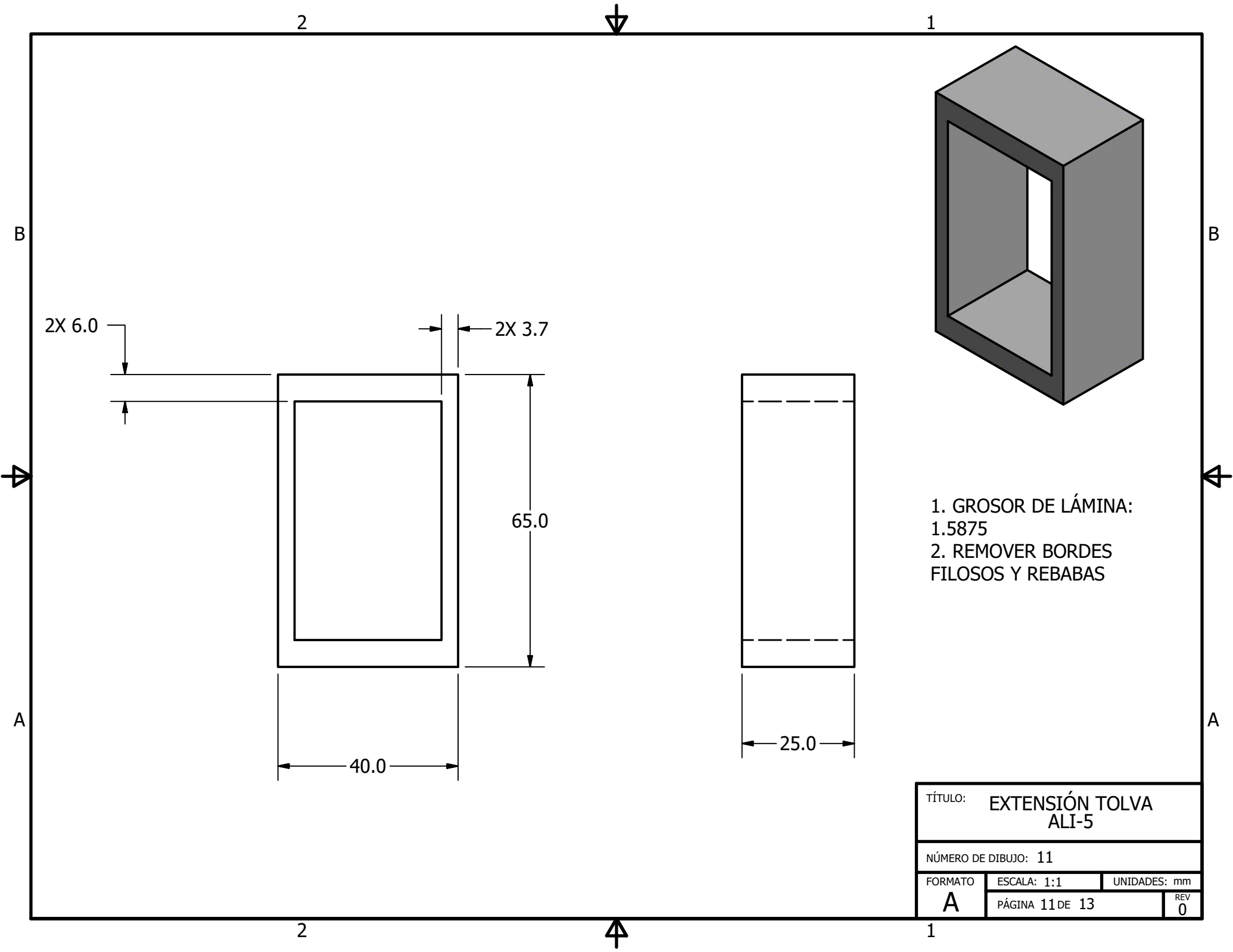
2X Ø48.0 PASADO

TÍTULO: RIEL DE TOLVA ALI-3		
NÚMERO DE DIBUJO: 9		
FORMATO	ESCALA: 1/4:1	UNIDADES: mm
<b>B</b>	PÁGINA 9 DE 13	REV 0



1. GROSOR DE LÁMINA:  
1.5875
2. REMOVER BORDES  
FILOSOS Y REBABAS

TÍTULO:		TOLVA ALI-4	
NÚMERO DE DIBUJO: 10			
FORMATO	ESCALA: 1/6:1	UNIDADES: MM	
<b>B</b>	PÁGINA 10 DE 13	REV A	



1. GROSOR DE LÁMINA:  
1.5875
2. REMOVER BORDES  
FILOSOS Y REBABAS

TÍTULO: EXTENSIÓN TOLVA ALI-5		
NÚMERO DE DIBUJO: 11		
FORMATO	ESCALA: 1:1	UNIDADES: mm
<b>A</b>	PÁGINA 11 DE 13	REV 0

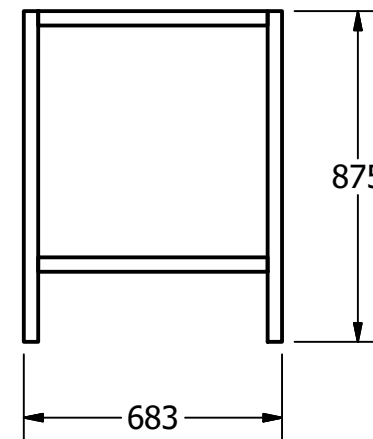
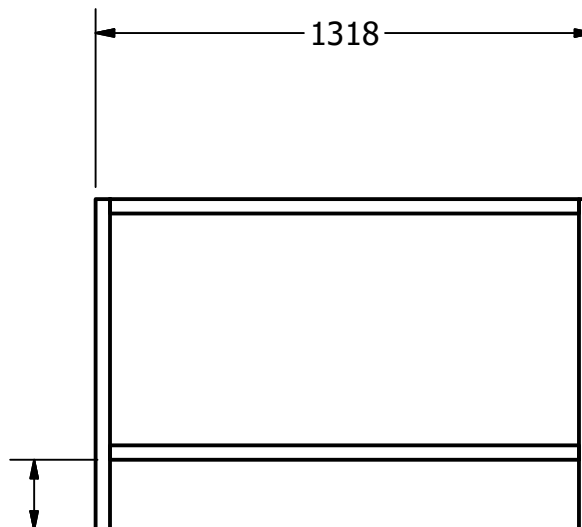
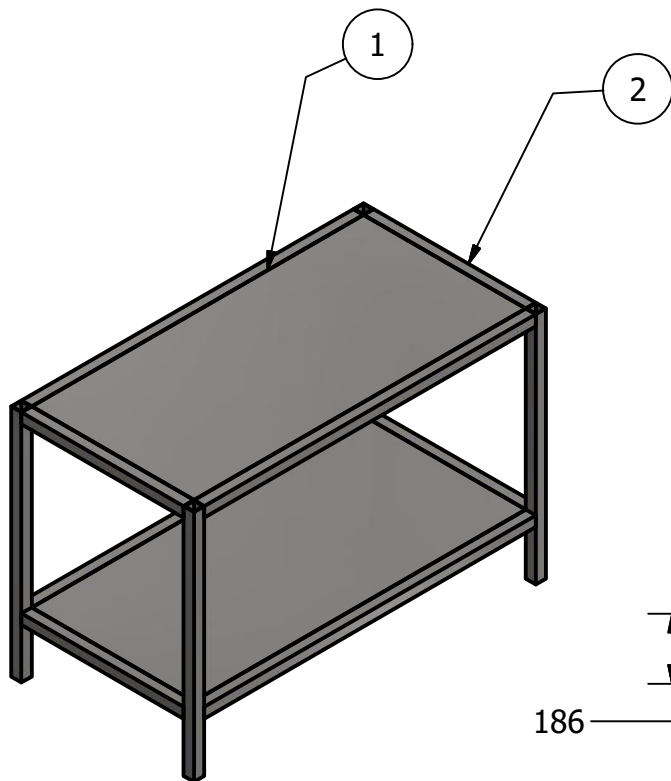
2



1

## PARTS LIST

NO. PARTE	CANTIDAD	NOMBRE DE PARTE	DESCRIPCION
1	1	plancha	ACERO 1018
2	12	Perfil	ACERO 1018



B

B

A

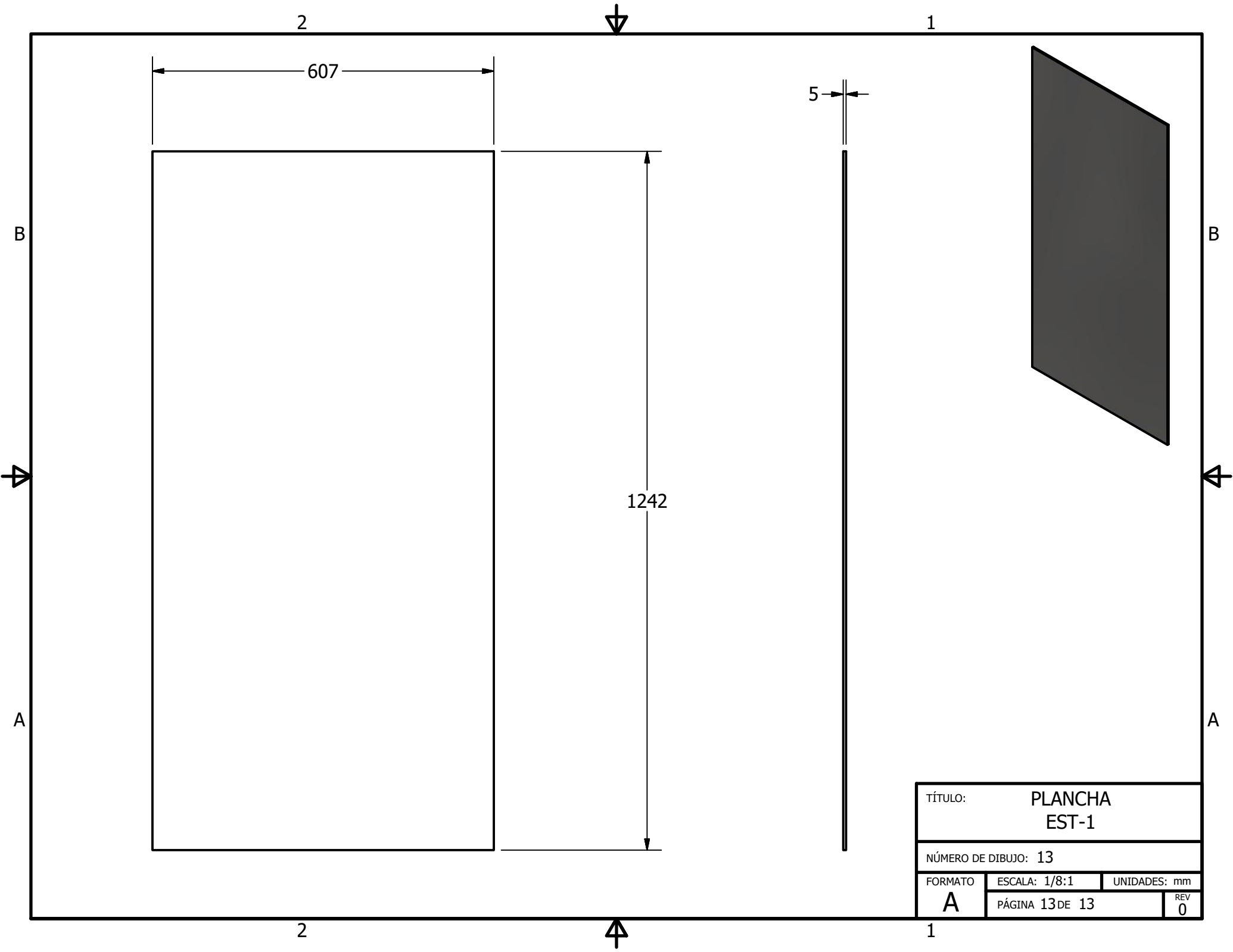
A

TODAS LAS MEDIDAS EN MILÍMETROS SALVO SE INDIQUE LO CONTRARIO. INTERPRETAR SEGÚN ASME Y14.5 - 2009.  <b>TOLERANCIAS GENERALES</b> LINEAL .X ± .XX ± .XXX ± ANGULAR ± FRACCIONES ± RUGOSIDAD SUPERFICIAL ✓	DIBUJADO POR <b>G.LEMUS</b>	FECHA <b>16/11/2019</b>	UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA 18 avenida, 11-95 zona 15, Vista Hermosa III Guatemala, Guatemala 01015 PBX: (502) 2634-0336 / 40 info@uvg.edu.gt
	DISEÑADO POR <b>G.LEMUS</b>	FECHA <b>16/11/2019</b>	
	REVISADO POR <b>A.VIAU</b>	FECHA <b>22/11/2019</b>	
	APROBADO POR <b>A.VIAU</b>	FECHA <b>22/11/2019</b>	
MATERIAL TRATAMIENTO MASA: N/A	 TERCER ÁNGULO DE PROYECCIÓN	NOMBRE / NÚMERO DE PROYECTO <b>EXTRUSORA DE PLÁSTICO</b>	TÍTULO: <b>ESTRUCTURA ESTRUCTURA EST-0</b>
		NÚMERO DE DIBUJO: 12	FORMATO <b>A</b>
		ESCALA: 1 / 20	UNIDADES: mm
		PÁGINA 12 DE 13	REV <b>0</b>

2



1

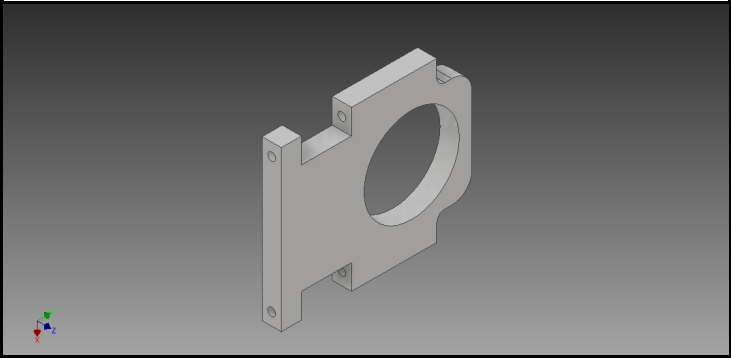


TÍTULO:		PLANCHA EST-1	
NÚMERO DE DIBUJO: 13			
FORMATO	ESCALA: 1/8:1	UNIDADES: mm	
<b>A</b>	PÁGINA 13 DE 13		REV 0


# Setup Sheet for Program 1001


JOB DESCRIPTION: Setup1

DOCUMENT PATH: C:\Users\razor\Desktop\Moldes de Inyección\Molde - Destapador\  
Maquinada 13-Nov\Maquinado Soporte Acople.ipt

Setup	
<p>WCS: #0</p> <p>STOCK: DX: 190mm DY: 19.05mm DZ: 160mm</p> <p>PART: DX: 190mm DY: 19.05mm DZ: 160mm</p> <p>STOCK LOWER IN WCS #0: X: 0mm Y: 0mm Z: -160mm</p> <p>STOCK UPPER IN WCS #0: X: 190mm Y: 19.05mm Z: 0mm</p>	

Total
<p>NUMBER OF OPERATIONS: 1</p> <p>NUMBER OF TOOLS: 1</p> <p>TOOLS: T10</p> <p>MAXIMUM Z: 15mm</p> <p>MINIMUM Z: -25mm</p> <p>MAXIMUM FEEDRATE: 1000mm/min</p> <p>MAXIMUM SPINDLE SPEED: 4500rpm</p> <p>CUTTING DISTANCE: 11231.82mm</p> <p>RAPID DISTANCE: 48.89mm</p> <p>ESTIMATED CYCLE TIME: 12m:57s</p>

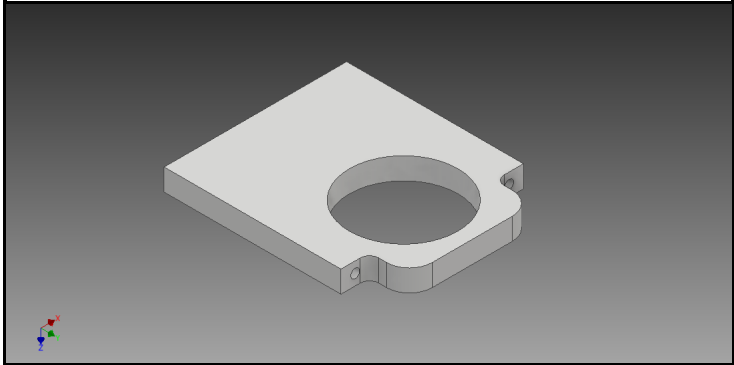
Tools		
<p><b>T10 D10 L10</b></p> <p>TYPE: flat end mill</p> <p>DIAMETER: 11.11mm</p> <p>LENGTH: 55.56mm</p> <p>FLUTES: 4</p>	<p>MINIMUM Z: -25mm</p> <p>MAXIMUM FEED: 1000mm/min</p> <p>MAXIMUM SPINDLE SPEED: 4500rpm</p> <p>CUTTING DISTANCE: 11231.82mm</p> <p>RAPID DISTANCE: 48.89mm</p> <p>ESTIMATED CYCLE TIME: 12m:42s</p>	

Operations			
<p>Operation 1/1</p> <p>DESCRIPTION: 2D Pocket1</p> <p>STRATEGY: Pocket 2D</p> <p>WCS: #0</p> <p>TOLERANCE: 0.1mm</p> <p>STOCK TO LEAVE: 0mm</p> <p>MAXIMUM STEPDOWN: 1mm</p> <p>MAXIMUM STEPOVER: 5mm</p>	<p>MAXIMUM Z: 15mm</p> <p>MINIMUM Z: -25mm</p> <p>MAXIMUM SPINDLE SPEED: 4500rpm</p> <p>MAXIMUM FEEDRATE: 1000mm/min</p> <p>CUTTING DISTANCE: 11231.82mm</p> <p>RAPID DISTANCE: 48.89mm</p> <p>ESTIMATED CYCLE TIME: 12m:42s</p> <p>COOLANT: Flood</p>	<p><b>T10 D10 L10</b></p> <p>TYPE: flat end mill</p> <p>DIAMETER: 11.11mm</p> <p>LENGTH: 55.56mm</p> <p>FLUTES: 4</p>	


# Setup Sheet for Program 1001


JOB DESCRIPTION: Setup1

DOCUMENT PATH: C:\Users\razor\Desktop\Moldes de Inyección\Molde - Destapador\  
Maquinada 13-Nov\Maquinado Soporte Acople.ipt

Setup	
<p>WCS: #0</p> <p>STOCK: DX: 190mm DY: 160mm DZ: 19.05mm</p> <p>PART: DX: 190mm DY: 160mm DZ: 19.05mm</p> <p>STOCK LOWER IN WCS #0: X: 0mm Y: 0mm Z: -19.05mm</p> <p>STOCK UPPER IN WCS #0: X: 190mm Y: 160mm Z: 0mm</p>	

Total
<p>NUMBER OF OPERATIONS: 1</p> <p>NUMBER OF TOOLS: 1</p> <p>TOOLS: T10</p> <p>MAXIMUM Z: 15mm</p> <p>MINIMUM Z: -19.05mm</p> <p>MAXIMUM FEEDRATE: 1000mm/min</p> <p>MAXIMUM SPINDLE SPEED: 4500rpm</p> <p>CUTTING DISTANCE: 14092.59mm</p> <p>RAPID DISTANCE: 17298.31mm</p> <p>ESTIMATED CYCLE TIME: 17m:48s</p>

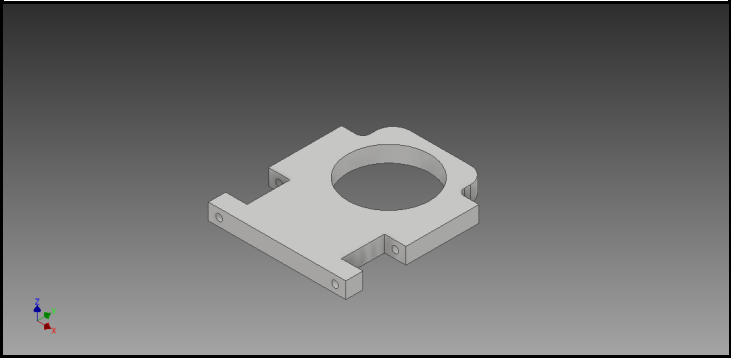
Tools	
<p><b>T10 D10 L10</b></p> <p>TYPE: flat end mill</p> <p>DIAMETER: 11.11mm</p> <p>LENGTH: 55.56mm</p> <p>FLUTES: 4</p>	<p>MINIMUM Z: -19.05mm</p> <p>MAXIMUM FEED: 1000mm/min</p> <p>MAXIMUM SPINDLE SPEED: 4500rpm</p> <p>CUTTING DISTANCE: 14092.59mm</p> <p>RAPID DISTANCE: 17298.31mm</p> <p>ESTIMATED CYCLE TIME: 17m:33s</p> 

Operations		
<p>Operation 1/1</p> <p>DESCRIPTION: 2D Adaptive6</p> <p>STRATEGY: Adaptive 2D</p> <p>WCS: #0</p> <p>TOLERANCE: 0.1mm</p> <p>STOCK TO LEAVE: 0mm</p> <p>MAXIMUM STEPDOWN: 1mm</p> <p>OPTIMAL LOAD: 4.45mm</p> <p>LOAD DEVIATION: 0.44mm</p>	<p>MAXIMUM Z: 15mm</p> <p>MINIMUM Z: -19.05mm</p> <p>MAXIMUM SPINDLE SPEED: 4500rpm</p> <p>MAXIMUM FEEDRATE: 1000mm/min</p> <p>CUTTING DISTANCE: 14092.59mm</p> <p>RAPID DISTANCE: 17298.31mm</p> <p>ESTIMATED CYCLE TIME: 17m:33s</p> <p>COOLANT: Flood</p>	<p><b>T10 D10 L10</b></p> <p>TYPE: flat end mill</p> <p>DIAMETER: 11.11mm</p> <p>LENGTH: 55.56mm</p> <p>FLUTES: 4</p> 

# Setup Sheet for Program 1001

JOB DESCRIPTION: Setup1

DOCUMENT PATH: C:\Users\razor\Desktop\Moldes de Inyección\Molde - Destapador\  
Maquinada 13-Nov\Maquinado Soporte Acople.ipt

Setup	
<p>WCS: #0</p> <p>STOCK: DX: 190mm DY: 160mm DZ: 19.05mm</p> <p>PART: DX: 190mm DY: 160mm DZ: 19.05mm</p> <p>STOCK LOWER IN WCS #0: X: 0mm Y: 0mm Z: -19.05mm</p> <p>STOCK UPPER IN WCS #0: X: 190mm Y: 160mm Z: 0mm</p>	

Total
<p>NUMBER OF OPERATIONS: 1</p> <p>NUMBER OF TOOLS: 1</p> <p>TOOLS: T10</p> <p>MAXIMUM Z: 15mm</p> <p>MINIMUM Z: -21.55mm</p> <p>MAXIMUM FEEDRATE: 1000mm/min</p> <p>MAXIMUM SPINDLE SPEED: 4500rpm</p> <p>CUTTING DISTANCE: 29793.94mm</p> <p>RAPID DISTANCE: 45.44mm</p> <p>ESTIMATED CYCLE TIME: 32m:16s</p>

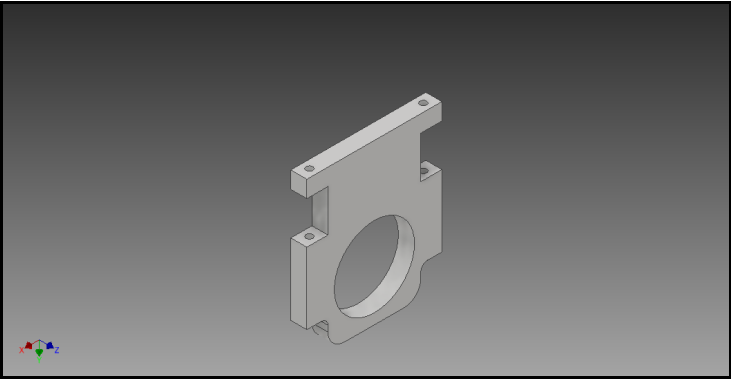
Tools	
<p><b>T10 D10 L10</b></p> <p>TYPE: flat end mill</p> <p>DIAMETER: 11.11mm</p> <p>LENGTH: 55.56mm</p> <p>FLUTES: 4</p>	<p>MINIMUM Z: -21.55mm</p> <p>MAXIMUM FEED: 1000mm/min</p> <p>MAXIMUM SPINDLE SPEED: 4500rpm</p> <p>CUTTING DISTANCE: 29793.94mm</p> <p>RAPID DISTANCE: 45.44mm</p> <p>ESTIMATED CYCLE TIME: 32m:1s</p>

Operations		
<p>Operation 1/1</p> <p>DESCRIPTION: 2D Pocket2</p> <p>STRATEGY: Pocket 2D</p> <p>WCS: #0</p> <p>TOLERANCE: 0.1mm</p> <p>STOCK TO LEAVE: 0mm</p> <p>MAXIMUM STEPDOWN: 1mm</p> <p>MAXIMUM STEPOVER: 5mm</p>	<p>MAXIMUM Z: 15mm</p> <p>MINIMUM Z: -21.55mm</p> <p>MAXIMUM SPINDLE SPEED: 4500rpm</p> <p>MAXIMUM FEEDRATE: 1000mm/min</p> <p>CUTTING DISTANCE: 29793.94mm</p> <p>RAPID DISTANCE: 45.44mm</p> <p>ESTIMATED CYCLE TIME: 32m:1s</p> <p>COOLANT: Flood</p>	<p><b>T10 D10 L10</b></p> <p>TYPE: flat end mill</p> <p>DIAMETER: 11.11mm</p> <p>LENGTH: 55.56mm</p> <p>FLUTES: 4</p>



# Setup Sheet for Program 1001

JOB DESCRIPTION: Setup1

DOCUMENT PATH: C:\Users\razor\Desktop\Moldes de Inyección\Molde - Destapador\  
Maquinada 13-Nov\Maquinado Soporte Acople.ipt

Setup	
<p>WCS: #0</p> <p>STOCK: DX: 160mm DY: 19.05mm DZ: 190mm</p> <p>PART: DX: 160mm DY: 19.05mm DZ: 190mm</p> <p>STOCK LOWER IN WCS #0: X: 0mm Y: 0mm Z: -190mm</p> <p>STOCK UPPER IN WCS #0: X: 160mm Y: 19.05mm Z: 0mm</p>	

Total
<p>NUMBER OF OPERATIONS: 2</p> <p>NUMBER OF TOOLS: 2</p> <p>TOOLS: T1 T2</p> <p>MAXIMUM Z: 15mm</p> <p>MINIMUM Z: -28mm</p> <p>MAXIMUM FEEDRATE: 100mm/min</p> <p>MAXIMUM SPINDLE SPEED: 2500rpm</p> <p>CUTTING DISTANCE: 93.01mm</p> <p>RAPID DISTANCE: 2573.01mm</p> <p>ESTIMATED CYCLE TIME: 2m:1s</p>

Tools		
<p><b>T1 D1 L1</b></p> <p>TYPE: center drill</p> <p>DIAMETER: 8mm</p> <p>TIP ANGLE: 118°</p> <p>LENGTH: 40mm</p> <p>FLUTES: 3</p>	<p>MINIMUM Z: -5mm</p> <p>MAXIMUM FEED: 75mm/min</p> <p>MAXIMUM SPINDLE SPEED: 2500rpm</p> <p>CUTTING DISTANCE: 20mm</p> <p>RAPID DISTANCE: 175mm</p> <p>ESTIMATED CYCLE TIME: 18s (15%)</p>	
<p><b>T2 D2 L2</b></p> <p>TYPE: drill</p> <p>DIAMETER: 10mm</p> <p>TIP ANGLE: 118°</p> <p>LENGTH: 82.55mm</p> <p>FLUTES: 3</p>	<p>MINIMUM Z: -28mm</p> <p>MAXIMUM FEED: 100mm/min</p> <p>MAXIMUM SPINDLE SPEED: 2500rpm</p> <p>CUTTING DISTANCE: 73.01mm</p> <p>RAPID DISTANCE: 2398.01mm</p> <p>ESTIMATED CYCLE TIME: 1m:13s (60.1%)</p>	

Operations		
<p>Operation 1/2</p> <p>DESCRIPTION: Drill2</p> <p>STRATEGY: Drilling</p> <p>WCS: #0</p> <p>TOLERANCE: 0.01mm</p>	<p>MAXIMUM Z: 15mm</p> <p>MINIMUM Z: -5mm</p> <p>MAXIMUM SPINDLE SPEED: 2500rpm</p> <p>MAXIMUM FEEDRATE: 75mm/min</p> <p>CUTTING DISTANCE: 20mm</p> <p>RAPID DISTANCE: 175mm</p> <p>ESTIMATED CYCLE TIME: 18s (15%)</p> <p>COOLANT: Flood</p>	<p><b>T1 D1 L1</b></p> <p>TYPE: center drill</p> <p>DIAMETER: 8mm</p> <p>TIP ANGLE: 118°</p> <p>LENGTH: 40mm</p> <p>FLUTES: 3</p> 
<p>Operation 2/2</p> <p>DESCRIPTION: Drill3</p> <p>STRATEGY: Drilling</p> <p>WCS: #0</p> <p>TOLERANCE: 0.01mm</p>	<p>MAXIMUM Z: 15mm</p> <p>MINIMUM Z: -28mm</p> <p>MAXIMUM SPINDLE SPEED: 1000rpm</p> <p>MAXIMUM FEEDRATE: 100mm/min</p> <p>CUTTING DISTANCE: 73.01mm</p> <p>RAPID DISTANCE: 2398.01mm</p> <p>ESTIMATED CYCLE TIME: 1m:13s (60.1%)</p> <p>COOLANT: Flood</p>	<p><b>T2 D2 L2</b></p> <p>TYPE: drill</p> <p>DIAMETER: 10mm</p> <p>TIP ANGLE: 118°</p> <p>LENGTH: 82.55mm</p> <p>FLUTES: 3</p> 

