

**DISEÑO CONSTRUCCION Y PRUEBA DE UNA EXTRUSORA HORIZONTAL  
DE TORNILLO SENCILLO PARA POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD**

**JORGE ANDRES RUBIO CORDON  
DIEGO ORLANDO GALVIS FLOREZ**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERIA Y ADMINISTRACIÓN  
FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA  
BUCARAMANGA**

**2009**

**DISEÑO CONSTRUCCION Y PRUEBA DE UNA EXTRUSORA HORIZONTAL  
DE TORNILLO SENCILLO PARA POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD**

**JORGE ANDRES RUBIO CORDON  
DIEGO ORLANDO GALVIS FLOREZ**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero  
Mecánico**

**Director  
ALFONSO SANTOS JAIMES  
Ing. Mecánico**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERIA Y ADMINISTRACIÓN  
FACULTAD DE INGENIERIA MECÀNICA  
BUCARAMANGA**

**2009**

**Nota de Aceptación**

---

---

---

---

---

**Firma del Presidente del Jurado**

---

**Firma del Jurado**

---

**Firma del Jurado**

**Bucaramanga, Septiembre de 2009**

**A DIOS, A MIS PADRES LUDWING  
RUBIO ABREU Y DORA BEATRIZ  
CORDON POR EL APOYO,  
RESPALDO Y VOZ DE FUERZA, A  
MIS AMIGOS QUE DE ALGUNA O  
OTRA MANERA ME APOYARON Y  
AYUDARON PARA QUE ESTO  
FUERA UN EXITO GRACIAS**

**Jorge**

**A DIOS, A MI PADRE LUIS  
ORLANDO  
(EN SU MEMORIA), A MI MADRE  
NANCY LUCIA,  
A MIS HERMANOS JULIAN Y  
SEBASTIAN.**

**Diego**

## **AGRADECIMIENTOS**

Los realizadores de este Proyecto agradecen a:

Ingeniero Alfonso Santos J. Director de la facultad de Ingeniería mecánica y por ser Director de nuestro proyecto, por su colaboración, experiencia y conocimientos en el tema y por su ayuda brindada durante todo este tiempo.

A Lorenzo Serrano (En Memoria) y Abelardo Serrano, Propietarios de Torno Maquinas, por su gran Colaboración durante la construcción de nuestro proyecto.

A los Ingenieros Mecánicos y amigos Jorge Alarcón y Renzo Cárdenas, por regalarnos parte de su tiempo y espacio de trabajo.

Al personal de servicios generales de la Universidad Pontificia Bolivariana, especialmente a Ludwing Casas, por sus servicios y su colaboración incondicional.

A la Universidad Pontificia Bolivariana, por brindarnos la oportunidad de crecer y formarnos como profesionales.

Finalmente a todos y a cada una de las personas que de una forma u otra, brindaron su compañía incondicional.

## TABLA DE CONTENIDO

	Pag.
1 OBJETIVOS.....	20
1.1 OBJETIVO GENERAL .....	20
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
2 MARCO TEORICO .....	21
2.1 POLIMEROS.....	21
2.1.1 Clasificación de los Polímeros.....	22
2.1.2 Estructura representativa de los Polímeros .....	24
2.1.3 Fuerzas de Van Der Waals .....	25
2.2 POLIMEROS TERMOPLASTICOS.....	27
2.2.1 Propiedades mecánicas de los Polímeros Termoplásticos .....	27
2.3 POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD LINEAL.....	30
2.4 PROCESO DE EXTRUSION DE LOS POLIMEROS TERMOPLASTICOS .....	31
3 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE EXTRUSION .....	33
3.1 MOTOR.....	33
3.2 TOLVA DE ALIMENTACION .....	34
3.3 TORNILLO DE EXTRUSION .....	35
3.4 CAMISA .....	35
3.5 DADO.....	36
3.6 TABLERO DE CONTROL.....	37
4 DISEÑO BASICO.....	38
4.1 DISEÑO DEL TORNILLO DE EXTRUSION.....	38
4.1.1 Longitud (L) .....	39
4.1.2 Diámetro (D).....	40
4.1.3 Canal (H).....	40
4.1.4 Angulo de Filete ( $\theta$ ) .....	41
4.1.5 Paso de la Rosca (w) .....	41

4.2 CAUDAL (Q) .....	42
4.3 SELECCIÓN DE POTENCIA (W) .....	46
4.4 TRANSMISION DE POTENCIA.....	49
4.5 MATERIALES .....	51
4.5.1 Estructura .....	51
4.5.2 Tornillo Extrusor .....	52
4.5.3 Camisa .....	54
4.6 SOLDADURA.....	56
4.6.1 Estructura .....	56
4.6.2 Tornillo Extrusor .....	57
4.6.3 Camisa .....	58
5 DISEÑO DETALLADO .....	59
5.1 ESTRUCTURA BASE.....	59
5.1.1 Fuerzas Presentes en la Estructura Base .....	59
5.1.2 Áreas Presentes en la Estructura Base.....	60
5.1.3 Factor de Seguridad en la Estructura Base .....	61
5.2 CONJUNTO DE CAMISAS .....	62
5.2.1 Fuerzas presentes en el Conjunto de Camisas .....	62
5.2.2 Áreas presentes en el Conjunto de Camisas .....	62
5.2.3 Factor de seguridad de Conjunto de Camisas .....	63
6 ANALISIS TERMICO Y ESTRUCTURAL DE LOS COMPONENTES DE MAQUINA EXTRUSORA .....	66
6.1 ANALISIS DE LA ESTRUCTURA BASE.....	66
6.1.1 Interpretación de los resultados para la estructura base de la maquina extrusora. ....	68
6.2 ANALISIS DEL TORNILLO EXTRUSOR.....	70
6.2.1 Análisis Estructural a 180°C.....	70
6.2.2 Análisis Estructural a 250°C.....	77
6.3 ANALISIS DEL CONJUNTO DE CAMISAS.....	83
6.3.1 Análisis Estructural a 180°C.....	84
6.3.2 Análisis Estructural a 250°C.....	90

7	PRUEBAS.....	97
7.1	METODOLOGIA DE LA PRUEBA .....	97
7.2	PASOS DURANTE EL DESARROLLO DE LAS PRUEBAS.....	99
8	ANALISIS DE RESULTADOS.....	102
9	MANUAL DE ARME Y DESARME DE MAQUINA EXTRUSORA.....	105
9.1	OBJETIVO .....	105
9.2	RECURSO HUMANO .....	106
9.2.1	Equipos, Instrumentos y herramientas. ....	106
9.3	PROCEDIMIENTOS PREVIOS AL TRABAJO.....	107
9.4	PROCEDIMIENTO PASO A PASO .....	107
9.4.1	Desarme de Máquina Extrusora .....	107
9.4.2	Armado de Maquina Extrusora .....	119
9.5	ENTREGA DEL TRABAJO .....	119
	CONCLUSIONES.....	120
	RECOMENDACIONES.....	121
	BIBLIOGRAFIA .....	122
	ANEXOS.....	123

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Comparación de las tres categorías principales de Polímetros. Tomado de Ciencia e Ingeniería de los Materiales, Donald R. Askeland. Cuarta Edición. Pág. 672. Marzo del 2009.....	24
Tabla 2. Densidad y temperatura de fusión de hidrocarburos. URL://www.textoscientificos.com .....	27
Tabla 3. Propiedades del Acero 1020 AISI Cold Rolled. Tomado de URL://www.matweb.com .....	52
Tabla 4. Propiedades del Acero 4140 AISI templado en aceite. Tomado de URL://www.matweb.com .....	53
Tabla 5. Expansión Térmica del Acero 4140 templado en aceite. Tomado de URL://www.matweb.com.....	53
Tabla 6. Calor Específico del Acero 4140 Templado en aceite. Tomado de URL://www.matweb.com .....	53
Tabla 7 Propiedades del acero 8630 AISI templado en aceite. Tomado de URL://www.matweb.com .....	55
Tabla 8. Expansión térmica del acero 8630 templado en aceite. Tomado de URL://www.matweb.com.....	55
Tabla 9. Tabla para la obtención de datos durante las pruebas. ....	99
Tabla 10. Promedio del tiempo total de las pruebas. ....	102
Tabla 11. Tiempo Total obtenido en cada prueba. ....	103

## LISTAS DE FIGURAS

Figura 1. Esquema que muestra polímeros lineales y ramificados. Tomado de Ciencia e Ingeniería de los Materiales, Donald R. Askeland. Cuarta Edición. Pag 671. Marzo del 2009.....	22
Figura 2. Tres formas de Representar la estructura del Polietileno;(a) Modelo tridimensional, (b) Modelo tridimensional Espacial y (c) Modelo bidimensional simple. Tomado de Ciencia e Ingeniería de los Materiales, Donald R. Askeland. Cuarta Edición. Pág. 673. Marzo del 2009. ....	24
Figura 3. Dos formas de reasentar el anillo de Benceno. Tomado de Ciencia e Ingeniería de los Materiales, Donald R. Askeland. Cuarta Edición. Pag 673. Marzo del 2009.....	25
Figura 4. Curvas típicas tensión-estiramiento para diferentes clases de polímeros. Tomado de Alter Odian, George; Principles of Polymerization, 3rd ed, J. Wiley, New York, 1991, Pag 34. Marzo del 2009 .....	28
Figura 5. Cadena ramificada de un polímero de baja densidad. ....	30
Figura 6. Sistema de identificación americano SPI (Society of the Plastics Industry), URL: <a href="http://www.telecable.es">//www.telecable.es</a> .....	30
Figura 7. Proceso de extrusión del plástico. URL: <a href="http://www.quiminet.com">//www.quiminet.com</a> ....	31
Figura 8. Sistema de extrusión. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio .....	33
Figura 9. Motor. URL: <a href="http://www.tecsil.es/catalogo/images/ace17.jpg">// www.tecsil.es/catalogo/images/ace17.jpg</a> .....	34
Figura 10. Tolda. URL: <a href="http://www.venezuelaenplastico.com.ve/extrusion.htm">//www.venezuelaenplastico.com.ve/extrusion.htm</a>	34
Figura 11. Tornillo de Extrusión. URL: <a href="http://www.venezuelaenplastico.com.ve/images/tornillo1.jpg">//www.venezuelaenplastico.com.ve/images/tornillo1.jpg</a> .....	35
Figura 12. Camisa. URL: <a href="http://images.quebarato.com.br/photos/big/7/6/6B2176_3.jpg">//images.quebarato.com.br/photos/big/7/6/6B2176_3.jpg</a> .....	36
Figura 13. Dado (Boquilla). URL: <a href="http://www.interempresas.net/fotos/151922.jpeg">//www.interempresas.net/fotos/151922.jpeg</a> .....	37
Figura 14. Tablero de Control. URL: <a href="http://www.emevall.com/images/tabler20control.JPG">//www.emevall.com/images/tabler20control.JPG</a> .....	37

Figura 15. Zonas de un Tornillo Extrusor. Tomado de Extrusión de Plásticos, Principios Básicos, Luís F. Ramos. Tercera Edición. Pág. 71. Septiembre del 2009. ....	38
Figura 16. Ecuación característica del dado (Boquilla). Tomado de Extrusión de Plásticos, Principios Básicos, Luís F. Ramos. Tercera Edición. Pág. 102. Septiembre del 2009. ....	46
Figura 17. Gasto Aproximado en algunos plásticos. Tomado de Extrusión de Plásticos, Principios Básicos, Luís F. Ramos. Tercera Edición. Pág. 102. Septiembre del 2009. ....	49
Figura 18. Ubicación del motor en la estructura. Imagen tomada por Diego Galvis y Jorge Rubio .....	50
Figura 19. Camisa. Elaborada por Diego Galvis y Jorge Rubio .....	54
Figura 20. Planos Estructura Base. Escala 2:1. Medida en milímetros. Elaborada por Diego Galvis y Jorge Rubio .....	61
Figura 21. Camisa parte 1. Escala 2:1. Medidas en milímetros. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio. ....	63
Figura 22. Camisa parte 2. Escala 2:1. Medidas en milímetros. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio. ....	64
Figura 23. Camisa parte 3. Escala 2:1. Medidas en milímetros. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio. ....	64
Figura 24. Camisa parte 4. Escala 2:1. Medidas en milímetros. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio. ....	65
Figura 25. Ambiente Geométrico estructura base. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio. ....	66
Figura 26. Deformación Total Estructura. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio. ....	66
Figura 27. Esfuerzos Equivalentes. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio. ....	67
Figura 28. Esfuerzos Cortantes. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio. ....	67

Figura 29. Factor de Seguridad. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio.....	68
Figura 30. Ambiente geométrico del tornillo extrusor a una temperatura de 180°C. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio .....	70
Figura 31. Deformación total del tornillo extrusor. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio. ....	71
Figura 32. Esfuerzos Equivalentes. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio.....	71
Figura 33. Esfuerzos Cortantes. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio.....	72
Figura 34. Flujo de calor total. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio. ....	72
Figura 35. Dirección del Flujo de calor. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio.....	73
Figura 36. Factor de seguridad de esfuerzos equivalentes. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio.....	73
Figura 37. Factor de seguridad de esfuerzos cortantes. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio.....	74
Figura 38. Ambiente Geométrico del tornillo extrusor a una temperatura de 250°C. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio .....	77
Figura 39. Deformación total del tornillo extrusor. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio .....	77
Figura 40. Esfuerzo Equivalente. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio.....	78
Figura 41. Esfuerzo Cortante. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio. ....	78
Figura 42. Flujo de Calor Total. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio .....	79
Figura 43. Dirección del Flujo de calor. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio.....	79

Figura 44. Factor de Seguridad del Esfuerzo Equivalente. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio.....	80
Figura 45. Factor de Seguridad del Esfuerzo Cortante. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio.....	80
Figura 46. Ambiente Geométrico del Conjunto de Camisas a una temperatura de 180°C. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio. ....	84
Figura 47. Deformación Total del Conjunto de Camisas. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio.....	84
Figura 48. Esfuerzos Equivalentes. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio.....	85
Figura 49. Esfuerzos Cortantes. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio.....	85
Figura 50. Flujo de Calor Total. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio .....	86
Figura 51. Dirección del Flujo de Calor. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio.....	86
Figura 52. Factor de Seguridad del esfuerzo Equivalente. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio.....	87
Figura 53. Factor de Seguridad del esfuerzo Cortante. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio.....	87
Figura 54. Ambiente Geométrico del Conjunto de Camisas a una temperatura de 250°C. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio. ....	90
Figura 55. Deformación total del Conjunto de las Camisas. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio.....	91
Figura 56. Esfuerzos Equivalentes. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio.....	91
Figura 57. Esfuerzos Cortantes. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio.....	92
Figura 58. Flujo de Calor Total. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio.....	92

Figura 59. Dirección del Flujo de Calor. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio.....	93
Figura 60. Factor de Seguridad del Esfuerzo Equivalente. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio.....	93
Figura 61. Factor de Seguridad del Esfuerzo Cortante. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio.....	94
Figura 62. Material en la tolva de alimentación para el desarrollo de las pruebas. Tomada por Diego Galvis y Jorge Rubio.....	98
Figura 63. Grafica (Tiempo del procesamiento del polietileno versus Temperatura).....	102
Figura 64. Grafica (Velocidad de Producción versus Temperatura).....	103
Figura 65. Fin del proceso de extrusión durante las pruebas. Imagen tomada por Diego Galvis y Jorge Rubio.....	104
Figura 66. Maquina Extrusora. Imagen tomada por Diego Galvis y Jorge Rubio.....	105
Figura 67. Retiro de Tolva. Imagen tomada por Diego Galvis y Jorge Rubio.....	108
Figura 68. Remoción de Tornillos de carcaza. Imagen tomada por Diego Galvis y Jorge Rubio.....	108
Figura 69. Remoción de carcaza de camisa 3 y 4. Imagen tomada por Diego Galvis y Jorge Rubio.....	109
Figura 70. Remoción de Tornillos de carcaza de camisa 1. Imagen tomada por Diego Galvis y Jorge Rubio.....	109
Figura 71. Remoción de carcaza de camisa 1. Imagen tomada por Diego Galvis y Jorge Rubio.....	110
Figura 72. Retiro de Tornillos de base de Tolva. Imagen tomada por Diego Galvis y Jorge Rubio.....	110
Figura 73. Remoción de base de Tolva. Imagen tomada por Diego Galvis y Jorge Rubio.....	111
Figura 74. Remoción de Tornillos y Tapa lateral. Imagen tomada por Diego Galvis y Jorge Rubio.....	111

Figura 75. Remoción de Tornillos de Tapa Frontal. Imagen tomada por Diego Galvis y Jorge Rubio. ....	112
Figura 76. Retiro de Tapa Frontal de Maquina Extrusora. Imagen tomada por Diego Galvis y Jorge Rubio. ....	112
Figura 77. Remoción de pin de cadena. Imagen tomada por Diego Galvis y Jorge Rubio. ....	113
Figura 78. Remoción de cadena desde el motor. Imagen tomada por Diego Galvis y Jorge Rubio. ....	113
Figura 79. Afloje de Tuerca en Termocupla de camisa 4. Imagen tomada por Diego Galvis y Jorge Rubio. ....	114
Figura 80. Remoción de Termocupla en camisa 4. Imagen tomada por Diego Galvis y Jorge Rubio. ....	114
Figura 81 Afloje de Tornillos de cable de resistencias. Imagen tomada por Diego Galvis y Jorge Rubio. ....	115
Figura 82. Remoción de cable en resistencia. Imagen tomada por Diego Galvis y Jorge Rubio. ....	115
Figura 83. Resistencias sin cables. Imagen tomada por Diego Galvis y Jorge Rubio. ....	116
Figura 84. Destorqueo de pernos de boquilla. Imagen tomada por Diego Galvis y Jorge Rubio. ....	116
Figura 85. Remoción de boquilla. Imagen tomada por Diego Galvis y Jorge Rubio. ....	117
Figura 86. Movimiento con palanca y llave para sacar sin fin. Imagen tomada por Diego Galvis y Jorge Rubio. ....	117
Figura 87. Remoción de sin fin desde extremo derecho. Imagen tomada por Diego Galvis y Jorge Rubio. ....	118
Figura 88. Remoción de sin fin con destornillador y hombre sólo. Imagen tomada por Diego Galvis y Jorge Rubio. ....	118

## **RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO**

**TITULO:** DISEÑO CONSTRUCCION Y PRUEBA DE UNA EXTRUSORA HORIZONTAL DE TORNILLO SENCILLO PARA POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD

**AUTOR(ES):** JORGE ANDRES RUBIO CORDON  
DIEGO ORLANDO GALVIS FLOREZ

**FACULTAD:** FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

**DIRECTOR(A):** ALFONSO SANTOS JAIMES

### **RESUMEN**

Diseño, construcción y prueba de una máquina extrusora para polietileno de baja densidad en forma de pelets. El equipo permite ilustrar el proceso productivo desde la materia prima hasta la obtención de un producto completamente terminado, el cual tendrá forma de barra circular. La velocidad de producción del sistema es de 6 Kilogramo/hora. Las partes constitutivas del equipo son: una tolva, motor reductor, tornillo sinfín, resistencias eléctricas y dado extrusor; las temperaturas de trabajo para la fundición del polietileno tendrán un valor máximo de 180°C.

### **PALABRAS**

**CLAVES:** EXTRUSORA, POLIETILENO, DADO EXTRUSOR.

## **GENERAL ABSTRACT**

**TITLE:** DESIGN CONSTRUCTION AND TEST HORIZONTAL EXTRUDER OF SIMPLE SCREW FOR LOW DENSITY POLYETHYLENE

**AUTHORS:** JORGE ANDRÉS RUBIO CORDÓN  
DIEGO ORLANDO GALVIS FLOREZ

**FACULTY:** MECHANICAL ENGINEERING FACULTY

**DIRECTOR:** ALFONSO SANTOS JAIMES

### **ABSTRACT**

Design, construction and testing of an extruder for low density polyethylene in pellet form. The team illustrates the production process from raw material to obtain a fully finished product, which will form the circular bar. The system's production rate is 6 kg / hour. The constituent parts of the team are: a hopper, gear motor, worm gears, electrical resistance and given extruder, the working temperatures for melting the polyethylene will have a maximum value of 180 ° C.

**KEYWORDS:** EXTRUDER, POLYETHYLENE, GIVEN EXTRUDER.

## INTRODUCCION

En la actualidad no se cuenta con un equipo para el procesamiento de polímero con fines académicos; en las industrias son creadas por empresas para un uso específico de producción. Por esta razón, este proyecto esta enfocado a determinar y analizar el funcionamiento y los componentes constitutivos de este tipo de maquinaria; aclarando que el equipo a construido es un prototipo a escala de las máquinas industriales de hoy en día.

Este proyecto tiene como objetivo dar a conocer el Diseño, construcción y las pruebas de una máquina extrusora para polietileno de baja densidad en forma de pelets. El equipo permite ilustrar el proceso productivo desde la materia prima hasta la obtención de un producto completamente terminado, el cual tiene forma de barra circular. La velocidad de producción del sistema es de 6 kilogramos/hora. Las partes constitutivas del equipo son: una tolva, motor reductor, tornillo sinfín, resistencias eléctricas y dado extrusor; la temperatura de trabajo para la fundición del polietileno es de un valor máximo de 180°C. El equipo quedara en el laboratorio de diseño de maquinas para el servicio de los estudiantes.

# 1 OBJETIVOS

## 1.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar, construir y probar una maquina extrusora de tornillo simple que permita procesar polietileno de baja densidad en forma de pelets. Para su implementación como practica de laboratorio en la asignatura de diseño de maquinas, que ayude en nuestra formaciòn profesional.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar el diseño conceptual, básico y detallado de una maquina extrusora de polietileno de baja densidad capaz de producir 6 Kilogramos/hora de producto terminado.
- Realizar el diseño y la simulación térmica y de esfuerzos de un dado extrusor que permita obtener tubos circulares o perfiles.
- Elaborar los planos detallados del equipo y el dado de extrusión, con base en los procesos de diseño y simulaciones realizadas.
- Construir el sistema de extrusión de polietileno con materiales adecuados para el proceso productivo y basado en los planos detallados.
- Realizar las pruebas necesarias para determinar la velocidad real del proceso y el correcto funcionamiento del equipo.
- Diseñar una guía para una practica de laboratorio en la asignatura Diseño de Máquinas.

## **2 MARCO TEORICO**

### **2.1 POLIMEROS**

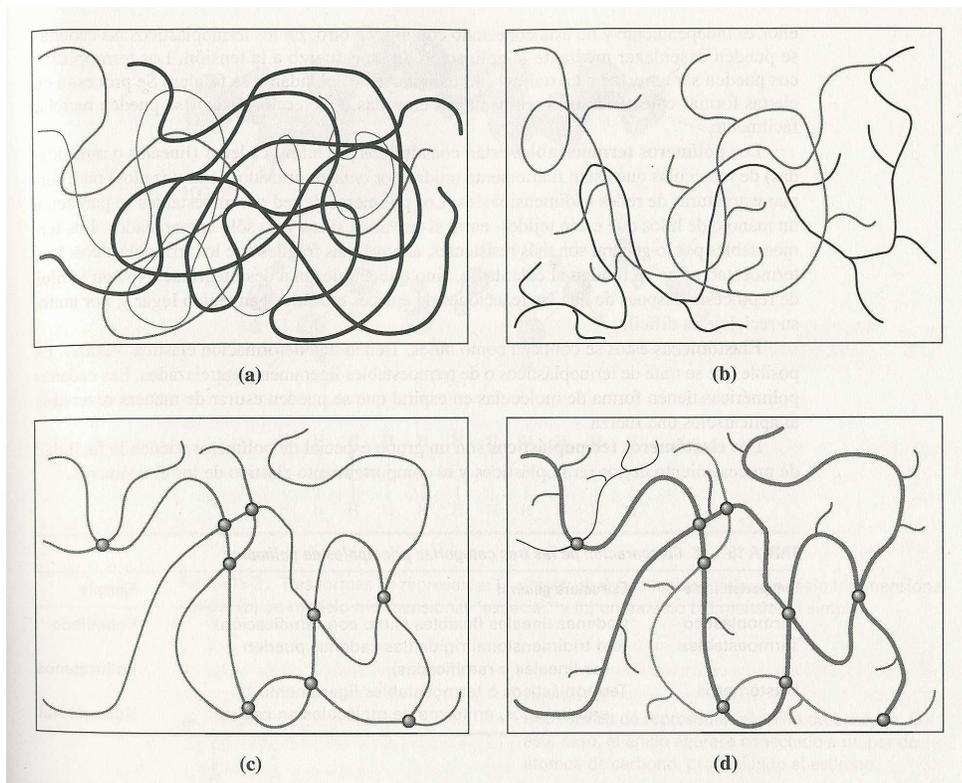
Los polímeros se producen por la unión de cientos de miles de moléculas pequeñas denominadas monómeros que forman enormes cadenas de las formas más diversas, algunas parecen cilindros pequeños, otras tienen ramificaciones. Algunas más se asemejan a las escaleras de mano y otras son como redes tridimensionales.

Existen polímeros naturales de gran significación comercial como el algodón, formado por fibras de celulosas. La celulosa se encuentra en la madera y en los tallos de muchas plantas, y se emplean para hacer telas y papel. La seda es otro polímero natural muy apreciado y es una poliamida semejante al nylon. La lana, proteína del pelo de las ovejas, es otro ejemplo. El hule de los árboles de hevea y de los arbustos de Guayule, son también polímeros naturales importantes. La mayor parte de los polímeros que se usan en nuestra vida diaria son materiales sintéticos con propiedades y aplicaciones variadas.

Lo que distingue a los polímeros de los materiales plásticos, es por su alto porcentaje de deformación constituidos por moléculas de tamaño normal y sus propiedades mecánicas, en general los polímeros tienen una excelente resistencia mecánica debido a que las grandes cadenas poliméricas se atraen entre si una a una. Las fuerzas de atracción intermoleculares dependen de la composición química o tipo del polímero y esa atracción puede ser de varias clases. [1]

### 2.1.1 Clasificación de los Polímeros

Los polímeros se clasifican de varias formas distintas: según la síntesis de sus moléculas, según su estructura molecular o de acuerdo con la familia química a la que pertenecen. Una manera de clasificar a los polímeros es establecer si se trata de un polímero lineal o un polímero ramificado. Un polímero lineal está formado por cadenas moleculares en forma de espagueti. En un polímero ramificado hay cadenas primarias de polímero y cadenas más pequeñas secundarias (ramales) que nacen de las cadenas principales. Una mejor manera de describir los polímeros es en su función de comportamiento mecánico y térmico.



**Figura 1. Esquema que muestra polímeros lineales y ramificados. Tomado de Ciencia e Ingeniería de los Materiales, Donald R. Askeland. Cuarta Edición. Pag 671. Marzo del 2009.**

En la figura 1 se muestra polímeros lineales y ramificados. Nótese que la ramificación puede ocurrir en cualquier tipo de polímeros (por ejemplo: termoplásticos, termoestables y elastómeros). (a) polímero lineal no ramificado: obsérvese que las cadenas no forman líneas rectas y no están conectadas. Se muestran diferentes cadenas poliméricas mediante diferentes tonos y diseños para mostrar claramente que cada una de las cadenas no está conectada con otra. (b) polímero lineal ramificado: las cadenas no están conectadas; sin embargo, tienen ramificaciones. (c) polímero termoestable sin ramificación: las cadenas están conectadas entre sí mediante enlaces covalentes, pero no tiene ramificación. Los puntos de unión resaltan mediante círculos rellenos. (d) polímeros termoestables que tienen ramificación y cadenas interconectadas mediante enlaces covalentes. Las distintas cadenas y ramificaciones aparecen en diferentes tonos para distinguirlas con mayor claridad. Los sitios donde las cadenas están realmente enlazadas aparecen como círculos rellenos.

Los polímeros termoestables están constituidos por largas cadenas (lineales o ramificadas) de moléculas que están fuertemente unidas por enlaces cruzados (entrelazados) para formar estructuras de redes tridimensionales. Los polímeros de red o termoestables se parecen a un manojo de hilos que están tejidos entre sí en varios sitios y no solo enmarañados. Los termoestables por lo general son más resistentes, aunque los frágiles que los termoplásticos. Los termoestables no se funden al calentarse, sino que empiezan a desintegrarse. No son fáciles de reprocesar después que las reacciones de enlaces cruzados han tenido lugar y por tanto, su reciclaje es difícil.

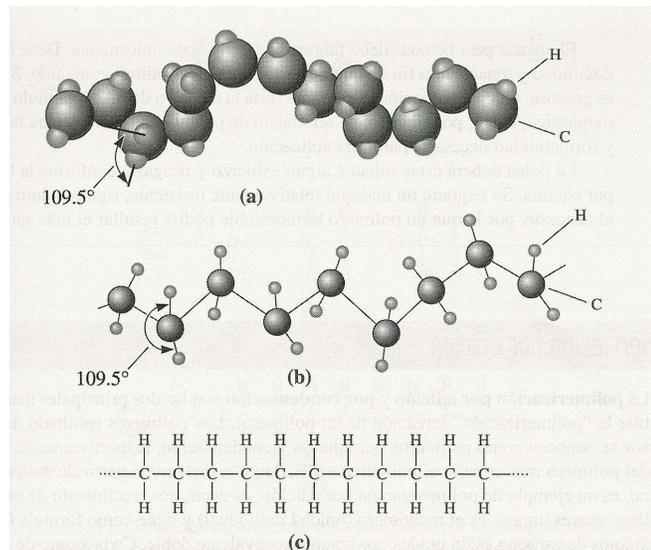
Los elastómeros se conocen como hules. Tienen una deformación elástica  $> 200\%$ . Es posible que se trate de termoplásticos o de termoestables ligeramente entrelazados. Las cadenas poliméricas tienen forma de moléculas en espiral que se pueden estirar de manera reversible al aplicarse una fuerza.

Los elastómeros termoplásticos son un grupo especial de polímeros; tienen la facilidad de procesamiento de los termoplásticos y el comportamiento elástico de los elastómeros. [2]

Comportamiento	Estructura general	Ejemplo
Termoplástico	Cadenas lineales flexibles (sin o con ramificación)	Polietileno
Termoestables	Red tridimensional rígida (las cadenas pueden ser lineales o ramificadas)	Poliuretanos
Elastómeros	Termoplásticos o termoestables ligeramente entrelazados, en forma de moléculas en espiral	Hule natural

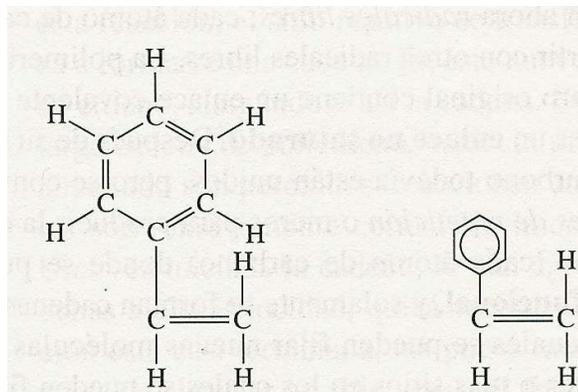
**Tabla 1 Comparación de las tres categorías principales de Polímeros. Tomado de Ciencia e Ingeniería de los Materiales, Donald R. Askeland. Cuarta Edición. Pág. 672. Marzo del 2009.**

### 2.1.2 Estructura representativa de los Polímeros



**Figura 2. Tres formas de Representar la estructura del Polietileno;(a) Modelo tridimensional, (b) Modelo tridimensional Espacial y (c) Modelo bidimensional simple. Tomado de Ciencia e Ingeniería de los Materiales, Donald R. Askeland. Cuarta Edición. Pág. 673. Marzo del 2009.**

En la figura 2 muestra tres maneras en que se pueden representar un segmento de polietileno, el más simple de los termoplásticos. La cadena polimérica esta formada de una “Columna vertebral”, o cadena principal, de átomos de carbono; dos átomos de hidrogeno están enlazados a cada uno de los átomos de carbono de la cadena. La cadena se tuerce y gira a través del espacio. En la figura 2, el polietileno no muestra ramificación; por tanto, se trata de un termoplástico lineal. El modelo simple de dos dimensiones de la figura 2(c) incluye los elementos esenciales de la estructura del polímero y se utilizaran para describir los diversos polímeros. Las líneas sencillas (---) entre átomos de carbono y entre de carbono e hidrogeno representan un enlace covalente simple. Dos líneas paralelas (=) representan enlaces covalente dobles entre átomos. Vario polímeros tienen estructuras en anillos, como el anillo de benceno que se encuentra en el poliestireno y en otros polímeros (ver figura 3). [2]



**Figura 3. Dos formas de reasentar el anillo de Benceno. Tomado de Ciencia e Ingeniera de los Materiales, Donald R. Askeland. Cuarta Edicion. Pag 673. Marzo del 2009.**

### 2.1.3 Fuerzas de Van Der Waals

También llamadas fuerzas de dispersión, presentes en las moléculas de muy baja polaridad, generalmente hidrocarburos. Estas fuerzas provienen de dipolos transitorios: como resultado de los movimientos de electrones,

en cierto instante una porción de la molécula se vuelve ligeramente negativa, mientras que en otra región aparece una carga positiva equivalente. Así se forman dipolos no-permanentes. Estos dipolos producen atracciones electroestáticas muy débiles en las moléculas de tamaño normal, pero en los polímeros, formados por miles de estas pequeñas moléculas, las fuerzas de atracción se multiplican y llegan a ser enormes, como en el caso del polietileno. En la tabla 2, se observa como cambian la densidad y la temperatura de fusión, al aumentar el número de átomos de carbono en la serie de los hidrocarburos. Los compuestos más pequeños son gases a la temperatura ambiente. Al aumentar progresivamente el número de carbonos, los compuestos se vuelven líquidos y luego sólidos, cada vez con mayor densidad y mayor temperatura de fusión, hasta llegar a los polietilenos con densidades que van de 0,92 a 0,96 g / cm<sup>3</sup> y temperaturas de fusión entre 105 y 135° C. [3]

<b>Hidrocarburo</b>	<b>Fórmula</b>	<b>Peso molecular</b>	<b>Densidad</b>	<b>T. de fusión</b>
Metano	CH <sub>4</sub>	16 g/mol	gas	-182 °C
Etano	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	30 g/mol	gas	-183 °C
Propano	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	44 g/mol	gas	-190 °C
Butano	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	58 g/mol	gas	-138 °C
Pentano	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	72 g/mol	0,63 kg/m <sup>3</sup>	-130 °C
Hexano	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	86 g/mol	0,66 kg/m <sup>3</sup>	-95 °C
Heptano	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	100 g/mol	0,68 kg/m <sup>3</sup>	-91 °C
Octano	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	114 g/mol	0,70 kg/m <sup>3</sup>	-57 °C

Nonano	$C_9H_{20}$	128 g/mol	0,72 kg/m <sup>3</sup>	-52 °C
Decano	$C_{10}H_{22}$	142 g/mol	0,73 kg/m <sup>3</sup>	-30 °C
Undecano	$C_{11}H_{24}$	156 g/mol	0,74 kg/m <sup>3</sup>	-25 °C
Dodecano	$C_{12}H_{26}$	170 g/mol	0,75 kg/m <sup>3</sup>	-10 °C
Pentadecano	$C_{15}H_{32}$	212 g/mol	0,77 kg/m <sup>3</sup>	10 °C
Eicosano	$C_{20}H_{42}$	283 g/mol	0,79 kg/m <sup>3</sup>	37 °C
Triacotano	$C_{30}H_{62}$	423	0,78	66 °C
Polietileno	$C_{2000}H_{4002}$	28000	0,93	100 °C

**Tabla 2. Densidad y temperatura de fusión de hidrocarburos.**  
 URL://www.textoscientificos.com

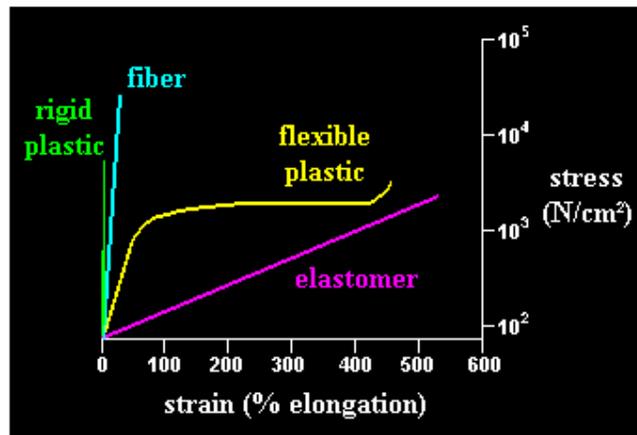
## 2.2 POLIMEROS TERMOPLASTICOS

Los termoplásticos son polímeros de cadenas largas que cuando se calientan se deforman y pueden moldearse a presión. Representan el 78-80% de consumo total en las industrias actualmente. Los principales polímeros termoplásticos son: polietileno, polipropileno, Cloruro de polivinilo (PVC), Poliestireno (PS), Estireno-acrilonitrilo (SAN), Copolímero acrilonitrilo butadieno estireno (ABS).

### 2.2.1 Propiedades mecánicas de los Polímeros Termoplásticos

Las propiedades mecánicas de los polímeros termoplásticos son un tipo de comportamiento mecánico, es decir, qué estos polímeros son resistentes. La figura 4 compara curvas típicas tensión-estiramiento para diferentes clases de polímeros. Puede verse en la curva del plástico rígido (rigid plastic), estos plásticos pueden soportar más que los demás y son

óptimos para trabajos duros, el poli (metil metacrilato o los policarbonatos) pueden soportar una gran tensión, pero no demasiada elongación antes de su ruptura. No hay una gran área bajo la curva.



**Figura 4. Curvas típicas tensión-estiramiento para diferentes clases de polímeros. Tomado de Alter Odian, George; Principles of Polymerization, 3rd ed, J. Wiley, New York, 1991, Pag 34. Marzo del 2009**

Estos materiales son resistentes, pero no muy duros. Además, la pendiente de la recta es muy pronunciada, lo que significa que debe ejercerse una considerable fuerza para deformar un plástico rígido. De modo que resulta sencillo comprobar que los plásticos rígidos tienen módulos elevados. Resumiendo, los plásticos rígidos soportan la deformación, pero no suelen ser duros, es decir, son quebradizos.

Los plásticos flexibles difieren de los plásticos rígidos en el sentido que no soportan tan bien la deformación, pero tampoco tienden a la ruptura. El módulo inicial es elevado, o sea que resisten por un tiempo la deformación, pero si se ejerce demasiada tensión sobre un plástico flexible, finalmente se deformará. Se concluye que los plásticos flexibles pueden no ser tan resistentes como los rígidos, pero son mucho más duros.

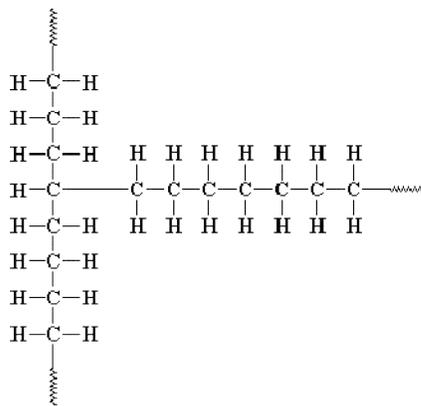
Es posible alterar el comportamiento tensión-estiramiento de un plástico con aditivos denominados plastificantes. Un plastificante es una molécula pequeña que hace más flexible al plástico. Por ejemplo, sin plastificantes, el poli (cloruro de vinilo), o PVC, es un plástico rígido, que se usa tal cual para cañerías de agua. Pero con plastificantes, el PVC puede ser lo suficientemente flexible como para fabricar juguetes inflables para piscinas.

Las fibras como el Kevlar<sup>TM</sup>, la fibra de carbono y el nylon tienden a exhibir curvas tensión estiramiento como la fibra (fiber) que se ve en el la figura 4. Al igual que los plásticos rígidos, son más resistentes que duros, y no se deforman demasiado bajo tensión. Pero cuando es resistencia lo que se requiere, las fibras tienen mucho que ofrecer. Son mucho más resistentes que los plásticos, aún los rígidos, y algunas fibras poliméricas como el Kevlar<sup>TM</sup>, la fibra de carbono y el polietileno de peso molecular ultra-alto poseen mejor resistencia al tensionarse que el acero.

Los elastómeros muestran un comportamiento mecánico completamente diferente al de los otros tipos de materiales. Al observar la curva de color rosa (ver figura 4) se observa que los elastómeros tienen módulos muy bajos, se puede observar en la leve pendiente de la recta. Si los elastómeros no tuvieran módulos bajos, no serían buenos elastómeros. Para que un polímero sea un elastómero, le hace falta algo más que tener módulo bajo. El hecho de ser fácilmente estirado no le da demasiada utilidad, a menos que el material pueda volver a su tamaño y forma original una vez que el estiramiento ha terminado. Obviamente, los elastómeros recobran su forma y eso los hace tan sorprendentes. No poseen sólo una elevada elongación, sino una alta elongación reversible.[4]

### 2.3 POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD LINEAL

El polietileno de baja densidad es un polímero de cadena ramificada (ver figura5). Se obtiene por polimerización del etileno a altas presiones (aproximadamente 1200 atm y 200° C) con oxígeno o catalizador de peróxido y por mecanismo de radicales libres. Es un sólido más o menos flexible, según el grosor, ligero y buen aislante eléctrico. Se trata de un material plástico que por sus características y bajo coste se utiliza mucho en envasado, revestimiento de cables y en la fabricación de tuberías.



**Figura 5. Cadena ramificada de un polímero de baja densidad.**

**URL: //www.telecable.es**

Los objetos fabricados con LDPE se identifican, en el sistema de identificación americano SPI (Society of the Plastics Industry), con el siguiente símbolo en la parte inferior o posterior. (Ver figura 6).



**Figura 6. Sistema de identificación americano SPI (Society of the Plastics Industry), URL: //www.telecable.es**

El polietileno lineal de baja densidad se obtiene polimerizando el etileno con un alqueno (especialmente 1-buteno) a baja presión, en disolución, suspensión o fase gaseosa y en presencia de catalizadores. Se trata de un polímero con ramificaciones muy cortas y uniformes que hacen que su temperatura de fusión y su resistencia a la tracción y al agrietamiento sean superiores a las del polietileno de baja densidad. Se utiliza en el recubrimiento de cables y en la fabricación de objetos moldeados por extrusión o soplado. [5]

#### 2.4 PROCESO DE EXTRUSION DE LOS POLIMEROS TERMOPLASTICOS

Esta es la técnica más extensamente utilizada para el procesamiento de los termoplásticos. La extrusión puede tener dos finalidades. Primero, es una manera de conformar ciertas figuras de manera continua. Segundo, al procesar polímeros que posteriormente utilizarán otros procesos, la extrusión proporciona un mezclador excelente para los aditivos; por ejemplo, negro de carbón, rellenos, etc. Un mecanismo de tornillo formado de uno o de un par de tornillos, obliga pasar el termoplástico caliente, ya sea sólido o líquido, así como los aditivos, a través de la abertura de un dado extrusor para producir formas sólidas, películas, hojas, tubos, tuberías e incluso bolsas de plástico (ver figura 7).

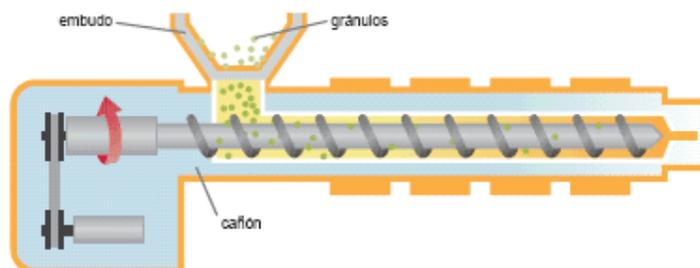
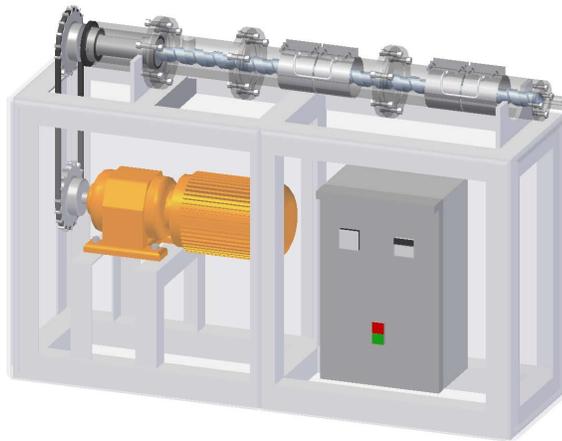


Figura 7. Proceso de extrusión del plástico. URL://www.quiminet.com

Una maquina de extrusión puede llegar a tener de 150cm a 175cm de largo, 5cm de diámetro e incluir varias zonas de calentamiento y enfriamiento diferentes. En vista de que los polímeros muestran un comportamiento de adelgazamiento por cortante y son viscoelásticos, en la extrusión de los polímeros termoplásticos resultan determinante el control tanto de la temperatura como de la viscosidad. [6]

### 3 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE EXTRUSION

Las partes constitutivas de un sistema de extrusión en general son: un motor reductor, la camisa, un tornillo sin fin y dado extrusor. (Ver figura 8).



**Figura 8. Sistema de extrusión. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio**

#### 3.1 MOTOR

Se pueden utilizar motores de corriente continua con variador o motores de corriente alterna que mantengan constante el torque y la rotación independiente de las fluctuaciones de corriente. Algunas de las ventajas de los motores eléctricos son que a igual potencia, su tamaño y peso son más reducidos y este tipo de motores no emite contaminantes, aunque en la generación de energía eléctrica de la mayoría de las redes de suministro se emiten contaminantes. (Ver figura 9).



**Figura 9. Motor.** URL:// [www.tecsil.es/catalogo/images/ace17.jpg](http://www.tecsil.es/catalogo/images/ace17.jpg)

### **3.2 TOLVA DE ALIMENTACION**

La tolva es el componente de la extrusión de mayor simpleza pero no por esto su diseño debe menospreciarse (Ver figura 10). La fase de alimentación repercute directamente en la efectividad del proceso. Como regla el diámetro de salida de la tolva suele tener un ancho equivalente al diámetro del tornillo de la extrusora, y una altura de 15 a 20 veces el diámetro. La mayor parte de las tolvas de alimentación incluyen una trampa magnética; la cual no es más que una rejilla formada por barras imantadas. Esta trampa se coloca con el propósito de impedir el paso al tornillo de elementos metálicos que puedan dañarlo, como por ejemplo: grapas, tuercas, tornillos, arandelas, etc. [7]



**Figura 10. Tolva.** URL://[www.venezuelaenplastico.com.ve/extrusion.htm](http://www.venezuelaenplastico.com.ve/extrusion.htm)

### 3.3 TORNILLO DE EXTRUSION

El tornillo es una de las partes más importantes, ya que es el elemento mecánico responsable de las operaciones de transporte, fusión y bombeo o dosificación de la resina. Esta compuesto por tres zonas importantes, la zona de transporte, la cual es la encargada de movilizar los pelets sólidos y ahí mismo comienza la elevación de temperatura al material, la zona de fusión, es donde el material es comprimido y a la vez están sujetos a fricción y esfuerzos cortantes, en esta zona se logra una fusión efectiva y por ultimo la zona de dosificación donde se homogeniza el material fundido y ocurren las mezclas. (Ver figura 11). La estabilidad del proceso y la calidad del producto que se obtiene dependen de la gran medida del diseño del tornillo.



**Figura 11. Tornillo de Extrusión.**

**[URL//www.venezuelaenplastico.com.ve/images/tornillo1.jpg](http://www.venezuelaenplastico.com.ve/images/tornillo1.jpg)**

### 3.4 CAMISA

La camisa contiene en su interior al tornillo de extrusión. La superficie de la camisa debe ser muy rugosa para aumentar las fuerzas que soportara el material y permitir que este fluya a lo largo de la camisa. Para evitar la corrosión y el desgaste mecánico, la camisa suele construirse de aceros muy resistentes y en algunos casos viene equipada con algunos

revestimientos fuertes que le confiere una elevada resistencia en la mayoría de los casos superior a la del tornillo. La camisa por lo general posee resistencias eléctricas localizadas en toda su longitud para realizar su debido calentamiento en la fusión del material. (Ver Figura 12).



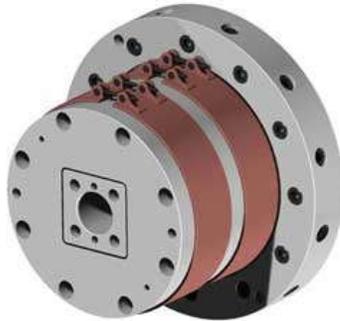
**Figura 12. Camisa.** URL://www.dyte.com.ar/CamisaExtrusora2\_ok.jpg

### **3.5 DADO**

El dado (boquilla) en el proceso de extrusión es análogo al molde en el proceso de moldeo por inyección, a través del dado fluye el polímero fuera del cañón o carcasa que recubre la extrusión y gracias a éste toma el perfil deseado.(Ver figura 13).

Los dados de extrusión están hechos de acero de alta velocidad para herramienta y son componentes muy importantes en el proceso de extrusión. El dado se considera como un consumidor de presión, ya que al terminar el eje la presión es máxima, mientras que a la salida del dado la presión es igual a la presión atmosférica.

El perfil del dado suele ser diferente del perfil deseado en el producto final, Existen dados para tubos, para láminas y perfiles de complicadas geometrías, cada uno tiene características de diseño especiales que le permite al polímero adquirir su forma final evitando los esfuerzos residuales en la medida de lo posible. [7]



**Figura 13. Dado (Boquilla).** URL://www.interempresas.net/fotos/151922.jpeg

### **3.6 TABLERO DE CONTROL**

Es un tablero metálico que contiene una cantidad determinada de interruptores, generalmente empleados para el control de la maquina tanto como en el encendido del motor y de las resistencias. (Ver figura 14). También contiene el control de temperatura de las resistencias.

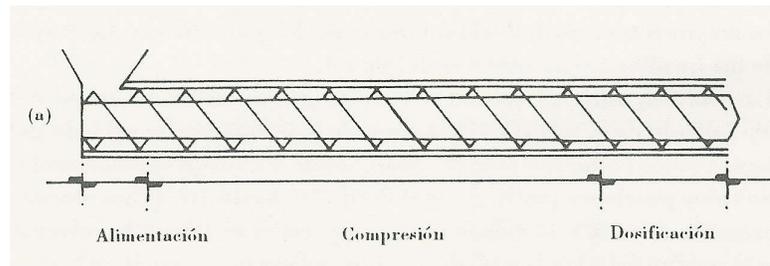


**Figura 14. Tablero de Control.**  
URL//www.emevall.com/images/tabler20control.JPG

## 4 DISEÑO BASICO

### 4.1 DISEÑO DEL TORNILLO DE EXTRUSION

No obstante muchos de los esfuerzos se encaminan para diseñar tornillos que pudieran trabajar con todos los materiales, es preciso usar tornillos de diferentes diseños para procesar diferentes tipos de materiales. Las maquinas de extrusión de plásticos consta de un tornillo de extrusión, el cual transporta, funde, homogeniza y aumenta la presión del material para que pueda pasar a través del dado (boquilla) y así obtener una forma adecuada. (Ver figura 15).



**Figura 15. Zonas de un Tornillo Extrusor. Tomado de Extrusión de Plásticos, Principios Básicos, Luís F. Ramos. Tercera Edición. Pág. 71. Septiembre del 2009.**

El tornillo consta de tres zonas básicas compuesto por tres zonas importantes, la zona de transporte, la cual es la encargada de movilizar los pellets sólidos y ahí mismo comienza la elevación de temperatura al material, la zona de fusión, es donde el material es comprimido y a la vez están sujetos a fricción y esfuerzos cortantes, en esta zona se logra una fusión efectiva y por ultimo la zona de dosificación donde se homogeniza el material fundido y ocurren las mezclas. La estabilidad del proceso y la

del producto que se obtiene, depende de gran medida del diseño del tornillo.

Los parámetros más importantes en el diseño del tornillo son su longitud (L), diámetro (D), el ángulo del filete ( $\theta$ ) y el paso de la rosca (W).

El diseño del tornillo de extrusión tiene las siguientes características:

#### **4.1.1 Longitud (L)**

La máquina extrusora está compuesta por un tornillo extrusor con una longitud de  $1.105m$ , es una longitud para máquinas extrusoras destinada a espacios pequeños de trabajo, como fábricas de mediana producción y en este caso para laboratorios donde se requiere máquinas donde su área de trabajo sean limitadas. El tornillo está fabricado con esa longitud ya que según las recomendaciones de diseñadores de tornillos de extrusión [8], la mínima longitud de un tornillo extrusor son  $1m$ , debido a que el material al procesar tiene que pasar por las tres zonas de la camisa para que el proceso sea completo, lo cual necesita una longitud considerable para que el material durante su recorrido alcance a ser fundido, homogenizado y su presión de salida aumente, si este recorrido es corto, el material no será procesado debidamente, esto podría causar una obstrucción del material por la boquilla afectando la rotación del tornillo extrusor causando una ruptura del mismo.

### 4.1.2 Diámetro (D)

Los diámetros del tornillo extrusor varían de 0.0195m hasta 0.6096m dependiendo de la aplicación [8]. La maquina extrusora esta compuesta con un tornillo extrusor con un diámetro un externo de 0.034m, esta diseñado con este diámetro considerando la longitud ya definida del mismo y manejando rangos para un tornillo extrusor de una longitud mínima de 1m, este diámetro hace que los costos de fabricación y de mantenimiento sean bajos. Tiene un diámetro interno de 0.027m, esto para obtener una buena altura del canal (H), por donde será transportado el material a procesar.

### 4.1.3 Canal (H)

Es la profundidad o diferencia entre el diámetro exterior y diámetro interior del tornillo extrusor por donde se transporta el material a lo largo de las tres zonas por donde es obligado a pasar. Una primera zona de alimentación en la cual entra el polímetro entra en forma granular, si en esta zona el diámetro (D) del tornillo tienen un valor menor de 0.030m, la profundidad del canal se define por  $0.05x(D)$  y si el diámetro es mayor de 0.030mts, la profundidad del canal se define por  $0.02x(D)$ . [9]

Por lo tanto:

$$D = 34 \text{ mm} = 3.4 \text{ cm} = 0.034\text{m}$$

Entonces:

$$H = 0.02x(D) \quad (\text{Ecuación 1})$$

$$H = 0.02x(0.034\text{m})$$

$$\mathbf{H = 0.0068 = 0.007m}$$

En este caso, se diseñó y se fabricó un tornillo extrusor con un diámetro (D) de 0.034m con un canal de profundidad (H) de 0.007m basados en los principios básicos del diseño del tornillo extrusor.

#### **4.1.4 Angulo de Filete ( $\theta$ )**

El transporte del material desde la zona de alimentación hasta la salida, dependen del angulo del filete ( $\theta$ ), basados en los principios básicos de diseño de tornillos, el angulo del filete ( $\theta$ ) no debe ser menor a  $17^\circ$  ni mayor a  $30^\circ$ , debido a que afectaría la velocidad del transporte del material desde la zona de alimentación hasta la salida. [9]

Para la maquina extrusora se diseño un angulo de filete ( $\theta$ ) de  $24^\circ$  por su facilidad y costo de fabricación y que se encuentra además en un rango apropiado basados en los principios básicos de diseños de tornillos.

#### **4.1.5 Paso de la Rosca (w)**

El paso de rosca (W) en un tornillo extrusor es la distancia que avanza un tornillo por cada vuelta que gira. Para determinar que medida debe ser el paso de rosca (W), se aplica en la ecuación 2: [9]

$$w = (\pi) \times (D) \times \tan(\theta) \quad (\text{Ecuación 2})$$

Para la maquina extrusora con las siguientes geometrías de diseño

$$D = 34 \text{ mm} = 3.4 \text{ cm} = 0.034 \text{ m}$$

$$L = 110.5 \text{ cm} = 1.105 \text{ m}$$

$$\Theta = 24^\circ$$

El paso de rosca se define

$$w = (\pi) \times (D) \times \tan(\theta)$$

$$w = (\pi) \times (0.034\text{m}) \times \tan(24^\circ)$$

$$w = 0.0475\text{m}$$

#### 4.2 CAUDAL (Q)

Para determinar el caudal (Q) de la maquina extrusora se tiene en cuenta las características del sistema (Tornillo extrusor y dado).

Donde:

Tornillo Extrusor:

$$D = 34\text{mm} = 3.4\text{cm} = 0.034\text{m}$$

$$L = 110.5\text{cm} = 1.105\text{m}$$

$$H = 7\text{mm} = 0.7\text{cm} = 0.007\text{m}$$

$$\Theta = 24^\circ$$

$$N = 40\text{rpm} = 0.66\text{ rps}$$

Dado (boquilla):

$$L = 6\text{cm}$$

$$R = 0.6\text{cm}$$

Teniendo en cuenta las características del sistema, con la ecuación 3 se define el caudal (Q) en el tornillo extrusor, donde  $\alpha$  y  $\beta$  dependen de la geometría del tornillo y conociéndolas se deduce que si se aumenta el diámetro del tornillo se obtiene un aumento considerable de flujo, al aumentar la profundidad del canal se obtiene una disminución del caudal, pero existe una presión tal que aumenta el caudal.

$$Q=(\alpha)(N) - \beta(\Delta P/\eta) \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

$$\alpha = \frac{1}{2}(\pi^2)(D^2)(H)(\text{sen}\phi)(\text{cos}\phi) \quad (\text{Ecuación 4})$$

$$\beta = \frac{\pi}{12(L)}(D)(H^3)(\text{sen}^2\phi) \quad (\text{Ecuación 5})$$

Reemplazado los valores en las ecuaciones 4 y 5 para obtener  $\alpha$  y  $\beta$ .

$$\alpha = \frac{1}{2}(\pi^2)(D^2)(H)(\text{sen}\phi)(\text{cos}\phi)$$

$$\alpha = 14.83 \text{ cm}^3$$

$$\alpha = 14.83 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$\beta = \frac{\pi}{12(L)}(D)(H^3)(\text{sen}^2\phi)$$

$$\beta = 0.4570 \times 10^{-3} \text{ cm}^3$$

$$\beta = 457 \times 10^{-9} \text{ m}^3$$

Luego reemplazamos en la ecuación 3, para obtener el caudal (Q):

Donde:

$$Q=(\alpha)(N) - \beta(\Delta P/\eta)$$

$$Q = 9.8967 - 0.4570 \times 10^{-3}(\Delta P/\eta) \quad (Q \text{ Tornillo Extrusor})$$

Teniendo en cuenta las características del sistema, con la ecuación 6 se define el caudal (Q) en el dado (boquilla):

$$Q = K(\Delta P/\eta) \quad (\text{Ecuación 6})$$

Donde k:

$$K = (\pi)(Re^4)/(8)(L) (\Delta P/\eta) \quad (\text{Ecuación 7})$$

Reemplazando en la ecuación 7:

$$K = (\pi)(Re^4)/(8)(L) (\Delta P/\eta)$$

$$K = (3.1416)(0.1296\text{cm})/(8)(6\text{cm}) (\Delta P/\eta)$$

$$\mathbf{K = 8.4823 \times 10^{-3} \quad (\text{Constante})}$$

Teniendo el valor de K, podemos definir el caudal (Q), reemplazando en la ecuación 6:

$$Q = K(\Delta P/\eta)$$

$$\mathbf{Q = 8.4223 \times 10^{-3} (\Delta P/\eta) \quad (Q \text{ en el dado (boquilla)})}$$

Ya definidos los caudales del tornillo extrusor y el dado, se igualan las ecuaciones 3 y 6 para obtener el gradiente de presión ( $\Delta P$ ). La viscosidad ( $\eta$ ) del polietileno de baja densidad según experimentos de laboratorio tiene un rango de  $\eta = 10000$  poises.

Por lo tanto:

(Ecuación 3) = (Ecuación 6)

$$(\alpha)(N) - \beta(\Delta P/\eta) = K(\Delta P/\eta)$$

$$9.8967 - 0.4570 \times 10^{-3}(\Delta P/\eta) = 8.4223 \times 10^{-3} (\Delta P/\eta)$$

$$(\Delta P/\eta) = 1107.85$$

$$(\Delta P) = 1107.85/10000 \text{ poises}$$

$$(\Delta P) = 11.0785 \times 10^{-6} \text{ dinas/cm}^2$$

$$(\Delta P) = \mathbf{1.10785 \times 10^{-6} Pa}$$

Este valor de  $(\Delta P)$ , se sustituye de nuevo en las ecuaciones 3 y 6 para hallar los caudales (Q) correspondientes.

$$Q = (\alpha)(N) - \beta(\Delta P/\eta)$$

$$Q = 9.8967 - 0.4570 \times 10^{-3}(\Delta P/\eta)$$

$$Q = 9.3717 \text{ cm}^3/\text{seg}$$

$$\mathbf{Q = 5623 \times 10^{-3} m^3/min} \quad (\mathbf{Q \text{ neto del tornillo extrusor}})$$

$$Q = K(\Delta P/\eta)$$

$$Q = 8.4223 \times 10^{-3} (\Delta P/\eta)$$

$$Q = 9.3716 \text{ cm}^3/\text{seg}$$

$$\mathbf{Q = 5623 \times 10^{-3} m^3/min} \quad (\mathbf{Q \text{ neto del dado}})$$

Observando los resultados obtenidos, se puede afirmar que el caudal (Q), depende de la geometría del tornillo, se puede concluir que si se aumenta el diámetro del tornillo extrusor diseñado, se obtiene un aumento considerable del flujo. También se puede afirmar que el caudal (Q) del tornillo extrusor siempre va ser el mismo al del dado (boquilla), ya que el flujo que va es el mismo hasta la salida. Si el dado cambia de forma se aplica otro tipo de ecuación para obtener el caudal (Q). (Ver figura 16).

Tipo de conducto	Newtoniano	Ley de la potencia
circular	$Q = \frac{\pi R^4}{8L} (\Delta P / \eta)$	$Q = \frac{4n}{3n+1} \frac{\pi R^3}{4} \left( \frac{R \Delta P}{2LK} \right)^{1/n}$
rectangular	$Q = \frac{wH^3}{12L} (\Delta P / \eta)$	$Q = \frac{3n}{2n+1} \frac{wH^2}{6} \left( \frac{H \Delta P}{2LK} \right)^{1/n}$
anular	$Q = B_2 \left( B_1 + \frac{B_2}{\ln K} \right) \frac{\pi}{8L} (\Delta P / \eta)$	—————

donde:

$$B_1 = R^2 (1 - K^2) = (\text{radio ext.})^2 - (\text{radio int.})^2$$

$$B_2 = R^2 (1 + K^2) = (\text{radio ext.})^2 + (\text{radio int.})^2$$

**Figura 16. Ecuación característica del dado (Boquilla). Tomado de Extrusión de Plásticos, Principios Básicos, Luís F. Ramos. Tercera Edición. Pág. 102. Septiembre del 2009.**

### 4.3 SELECCIÓN DE POTENCIA (W)

En general, la potencia (W), es el producto de la fuerza F que se requiere para mover un objeto a una velocidad U.

$$W = F \times U \quad (\text{Ecuación 8})$$

Para la selección de la potencia adecuada para la maquina extrusora, se analiza el consumo de potencia que esta generando el sistema, para esto se debe tener en cuenta las siguientes características ya obtenidas:

D= 3.4 cm

H= 0.7 cm

L= 110.5 cm

$$\Theta = 24^\circ$$

$$\eta = 10000 \text{ dinas seg/cm}^2$$

$$N = 0.66 \text{ rps}$$

$$\Delta P = 11.0785 \times 10^{-6} \text{ dinas/cm}^2$$

$$\Delta P = 1.10785 \times 10^{-6} \text{ Pa}$$

Para determinar el consumo de potencia por el sistema de extrusión, se analiza la zona de compresión, zona donde se requiere la mayor potencia ya que es donde se comprime y se expulsa el material procesado, esta potencia esta definida por la ecuación 9.

$$W = (K1)(\eta)(Z)(N^2) + (K2)(N)(\Delta P) \quad (\text{Ecuación 9})$$

Donde:

$$K1 = \frac{(\pi^3)(D^3)(\text{sen}\theta)}{(H)}(1 + 3\text{sen}^2\theta) \quad (\text{Ecuación 10})$$

$$K2 = \frac{1}{2}(\pi^2)(D^2)(H)(\text{sen}\theta)(\text{cos}\theta) \quad (\text{Ecuación 11})$$

$$Z = \frac{L}{\text{sen}\theta} \quad (\text{Ecuación 12})$$

Se reemplaza los valores en las ecuaciones 10,11 y 12 para obtener el consumo de potencia:

$$K1 = \frac{(\pi^3)(D^3)(\text{sen}\theta)}{(H)}(1 + 3\text{sen}^2\theta)$$

$$\mathbf{K1 = 1059.52} \quad (\mathbf{Constante})$$

$$K2 = \frac{1}{2}(\pi^2)(D^2)(H)(\text{sen}\theta)(\text{cos}\theta)$$

$$\mathbf{K2 = 14.8377} \quad (\mathbf{Constante})$$

$$Z = \frac{L}{\text{sen}\theta}$$

$$Z = 2.716m \quad (\text{Longitud canal del tornillo extrusor})$$

Por lo tanto, reemplazado los valores correspondientes en la ecuación 10, el consumo de potencia requerido (W) en la maquina extrusora es de:

$$W = (K1)(\eta)(Z)(N^2) + (K2)(N)(\Delta P)$$

$$W = 13.80 \times 10^9 \text{ dinas cm/seg} \\ = 1.38 \text{ Kwatt}$$

Por lo tanto

$$1 \text{ Kwatt} = 1.34 \text{HP}$$

$$1.38 \text{ Kwatt} = 1.84 \text{ HP (Potencia de consumo del sistema de extrusión)}$$

Observando los resultados obtenidos, Cabe anotar que este valor solo representa aproximadamente el 25 % de la energía total requerida. Ya que el análisis del consumo de potencia se realiza en la zona de comprensión que es donde se necesita la mayor potencia para comprimir y expulsar el material.

Se puede afirmar que la potencia requerida por el sistema de extrusión, no sobrepasan los límites de diseño, ya que el sistema cuenta con un motor de una potencia (W) de 5HP y según los cálculos de diseño la potencia esta bien seleccionada.

En la figura 17 se muestra el gasto aproximado que se puede obtener con cada uno de los plásticos enumerados por cada HP del motor del sistema de extrusión.

Plástico	kg/hr por HP
PVC rígido	3.0 - 4.5
PVC plastificado	4.5 - 6.0
HIPS	3.5 - 5.5
ABS	2.0 - 4.0
LDPE	3.0 - 4.5
HDPE	2.0 - 4.5
PP	2.0 - 4.5

**Figura 17. Gasto Aproximado en algunos plásticos. Tomado de Extrusión de Plásticos, Principios Básicos, Luís F. Ramos. Tercera Edición. Pág. 102. Septiembre del 2009.**

Se puede afirmar que el material menos eficiente, es el que requiere de mas potencia para alcanzar un determinado gasto.

#### **4.4 TRANSMISION DE POTENCIA**

Para la maquina extrusora debido a que el espacio en la estructura no es muy grande, el motor fue ubicado en la parte de abajo del conjunto de camisas (ver figura 18), de acuerdo a esto, se diseño una transmisión de cadena con dos piñones del mismo diámetro, para que la velocidad de giro transmitida por el motor sea la misma que llegue al eje del tornillo extrusor para que el proceso de extrusion matenga una velocidad constante.



**Figura 18. Ubicación del motor en la estructura. Imagen tomada por Diego Galvis y Jorge Rubio**

Esta transmisión se aplicó en la máquina extrusora debido a que la distancia entre ejes es de 0.6m y se necesitaba transmitir una potencia de 5HP a una velocidad de giro de 40rpm, este tipo de transmisión es ideal para la máquina debido a que el sistema de transmisión por cadenas no produce fricción y trabaja a velocidades bajas. También cuenta con tres rodamientos que sostienen el eje donde va encañado el tornillo extrusor, dos rodamientos son de bola rígidos serie 6200 marca NTN Suramericana, diseñado para el transporte de cargas radiales, pero capaces de soportar cargas de empuje (axiales) moderadas y combinaciones de ambas y también cuenta con un rodamiento de rodillos serie NUP marca NTN Suramericana, diseñado para soportar gran capacidad de carga axial. Su mantenimiento no es costoso y es fácil de aplicarlo, para reducir el ruido y los accidentes por atrapamiento, se diseñó una carcasa que cubre totalmente la transmisión. Así disminuyendo el ruido y evitando los accidentes por atrapamientos.

## **4.5 MATERIALES**

Para la selección de los materiales de la maquina extrusora, se tuvieron en cuenta los siguientes factores:

- Disponición del material en el mercado
- Destino de uso
- Durabilidad
- Costo

Los materiales seleccionados para la estructura, camisa y tornillo extrusor fueron los siguientes:

### **4.5.1 Estructura**

Para la construcción de la estructura del sistema de extrusión se selecciono el siguiente material:

- *Acero 1020 AISI – Cold Rolled*

Debido a que la principal característica de este material es su fácil manipulación y su gran resistencia a cargas (Ver tabla 3), es un material fácil de conseguir en el mercado a un costo bajo.

También es empleado en la fabricación de tuberías, carrocerías, perfilería y electrodomésticos.

Propiedades del *Acero 1020 AISI "Cold Rolled"*:

<b>"Acero 1020 AISI - Cold Rolled" Propiedades Constantes</b>	
<b>Nombre</b>	<b>Valor</b>
Densidad	7,870.0 kg/m <sup>3</sup>
Relacion de Poisson	0,29
Modulo de Young	2.05×e+11 Pa
Fuerzo de Fluencia a la Tension	3.5×e+8 Pa
Fuerzo Ultimo a la Tension	4.2×e+8 Pa

**Tabla 3. Propiedades del Acero 1020 AISI Cold Rolled. Tomado de URL:/www.matweb.com**

#### **4.5.2 Tornillo Extrusor**

Para la fabricación del tornillo extrusor se selecciono el siguiente material:

- *Acero 4140 AISI templado en aceite*

Debido a que la principal característica de este material es su alta templabilidad y su buena resistencia a la fatiga, abrasión e impacto (Ver tabla 4). Es un material fácil de conseguir en el mercado y a un bajo costo teniendo en cuenta sus aplicaciones. Generalmente se usa para piñones pequeños, tijeras, tornillos de alta resistencia entre otras aplicaciones.

Su buena resistencia a altas temperaturas (Ver tablas 5 y 6), es debido a los tratamientos térmicos que se le aplican a este material. Se austeniza a temperatura entre 830°C – 850°C y se da temple en aceite.

Propiedades del Acero 4140 AISI templado en aceite:

<b>Acero 4140 AISI, Templado en aceite. Propiedades Constantes</b>	
<b>Nombre</b>	<b>Valor</b>
Densidad	7,850.0 kg/m <sup>3</sup>
Relación de Poisson	0.29
Modulo de Young	2.05×10 <sup>11</sup> Pa
Conductividad Térmica	42.6 W/m·°C
Esfuerzo de fluencia a la tensión	1.34×10 <sup>9</sup> Pa
Esfuerzo Ultimo a la tensión	1.45×10 <sup>9</sup> Pa

**Tabla 4. Propiedades del Acero 4140 AISI templado en aceite. Tomado de URL:/www.matweb.com**

<b>Expansión térmica</b>	
<b>Temperatura °C</b>	<b>Expansión Térmica 1/°C</b>
100.0	1.22×10 <sup>-6</sup>
400.0	1.37×10 <sup>-6</sup>
600.0	1.46×10 <sup>-6</sup>

**Tabla 5. Expansión Térmica del Acero 4140 templado en aceite. Tomado de URL:/www.matweb.com**

<b>Calor Especifico</b>	
<b>Temperatura °C</b>	<b>Calor Especifico J/kg·°C</b>
200.0	473.0
400.0	519.0
600.0	561.0

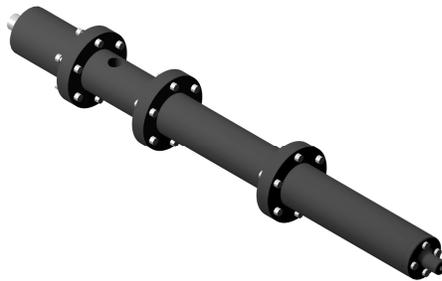
**Tabla 6. Calor Específico del Acero 4140 Templado en aceite. Tomado de URL:/www.matweb.com**

### 4.5.3 Camisa

Para la fabricación de la camisa se selecciono el siguiente material:

- Acero 8630 AISI templado en aceite

Debido a que este material esta destinado al fabricación del componente mas importante de la maquina extrusora que es la camisa, la cual contiene en su interior al tornillo de extrusión. La superficie de la camisa debe ser muy rugosa para aumentar las fuerzas que soportara el material y permitir que este fluya a lo largo de la camisa. Para evitar la corrosión y el desgaste mecánico, la camisa suele construirse de aceros muy resistentes que le confiere una elevada resistencia, en la mayoría de los casos superior a la del tornillo.



**Figura 19. Camisa. Elaborada por Diego Galvis y Jorge Rubio**

En este caso el acero 8630 AISI templado en aceite es una buena opción para la fabricaron de este componente, debido a que sus propiedades mecánicas y térmicas dan una confiabilidad en su trabajo (Ver tablas 7 y 8). También se debe que tener en cuenta, que es un material que se consigue fácil en el mercado a un mediano costo.

Propiedades del Acero 8630 AISI templado en aceite:

<b>Acero 8630 AISI Templado en aceite. Propiedades Constantes.</b>	
<b>Nombre</b>	<b>Valor</b>
Densidad	7,850.0 kg/m <sup>3</sup>
Relación de Poisson	0.29
Modulo de Young	2.05×10 <sup>11</sup> Pa
Calor Especifico	475.0 J/kg·°C
Conductividad Térmica	46.6 W/m·°C
Esfuerzo de Fluencia a la tensión	8.76×10 <sup>8</sup> Pa
Esfuerzo Ultimo de Tensión	1.06×10 <sup>9</sup> Pa

**Tabla 7 Propiedades del acero 8630 AISI templado en aceite. Tomado de URL:/www.matweb.com**

<b>Expansion Termica</b>	
<b>Temperatura °C</b>	<b>Expansion Termica 1/°C</b>
100.0	1.12×10 <sup>-6</sup>
200.0	1.22×10 <sup>-6</sup>
500.0	1.4×10 <sup>-6</sup>

**Tabla 8. Expansión térmica del acero 8630 templado en aceite. Tomado de URL:/www.matweb.com**

## **4.6 SOLDADURA**

Para la aplicación de la soldadura durante la construcción de la maquina extrusora se tuvieron en cuenta los siguientes factores:

- Tipo del material
- Uso destinado del material
- Soldadura Apropiada para cada material
- Costo de la soldadura

La soldadura aplicada para la construcción y fabricación de la estructura, camisa y tornillo extrusor fueron las siguientes:

### **4.6.1 Estructura**

Para la construcción de la estructura se utilizo la siguiente soldadura:

IDENTIFICACION: West Arco Super E613

CLASIFICACION: Aws E-6013

Debido a su bajo costo y su buena durabilidad, este tipo de soldadura es un electrodo de tipo europeo de fácil manipulación, desarrollado para toda clase de soldaduras que requieran poca penetración.

#### **4.6.1.1 Descripción de la soldadura**

El metal que se deposita produce una capa uniforme, lisa, sin entalladuras ni socavaciones en los costados dejando cordones de muy

buena presentación con cualquier tipo de equipo soldador incluyendo los del bajo voltaje del circuito abierto.

#### **4.6.1.2 Aplicaciones típicas**

Construcción de hierro y aceros en general, carpintería de lamina delgada, fabricaron de puertas, ventanas, rejas, ductos, ensamble de carrocerías y ornamentación en general.

#### **4.6.2 Tornillo Extrusor**

Para la fabricación del tornillo extrusor se utilizo la siguiente soldadura:

CLASIFICACION: Gridur 600

Es una soldadura con alta dureza para aplicaciones con alto esfuerzo y temperaturas altas. Sus aplicaciones varias desde dientes de palas mecánicas hasta patines de orugas. Es una soldadura ideal para resistir abrasión e impacto. Su bajo costo en el mercado hace que sea seleccionada para este tipo de fabricaron.

##### **4.6.2.1 Descripción de la Soldadura**

En un electrodo de revestimiento rutilico de gran rendimiento, donde se obtiene un metal depositado resistente a desgaste por alta abrasión e impacto moderado. Los cordones son libres de poros y causa leve

chisporroteo. La escoria abundante se desprende fácilmente y es maquinable únicamente con esmeril.

### **4.6.3 Camisa**

Para la fabricación de la camisa se utilizó la siguiente soldadura:

IDENTIFICACION: West Arco E-7018

CLASIFICACION: Aws E-7018

Debido a su calidad y bajo costo, es un electrodo cuyo revestimiento es de tipo básico, bajo hidrógeno, para ser utilizado con corriente directa.

#### **4.6.3.1 Descripción de la Soldadura**

Debido al polvo de hierro, tiene una alta tasa de deposición y bajas pérdidas por salpicaduras. Su extremo de arco gratificado le da un excelente encendido. El depósito de soldadura da una excelente calidad radiográfica.

#### **4.6.3.2 Aplicaciones Típicas**

Se utiliza para soldaduras de acero al carbono de hasta 70000 lbs/pulg<sup>2</sup> de resistencia a la tensión, en aplicaciones en estructuras, tuberías y tanques a presión, calderas, vagones de ferrocarriles. Etc.

## 5 DISEÑO DETALLADO

### 5.1 ESTRUCTURA BASE

#### 5.1.1 Fuerzas Presentes en la Estructura Base

La estructura base (ver figura 20) recibe las siguientes fuerzas en la parte superior:

- Camisa parte 1= 11.4kg (Ver figura 21)
- Camisa parte 2= 24.2kg (Ver figura 22)
- Camisa parte 3= 24.2kg (Ver figura 23)
- Camisa parte 4= 1.7kg (Ver figura 24)
- Dado= 1.7kg (Ver Anexos A)
- Tornillo Sin Fin= 5.2kg (Ver Anexos A)
- Tornilleria= 1.5kg (Ver Anexos A)
- Protector camisa parte 1= 3.2kg (Ver Anexos A)
- Protector camisa 2,3 y 4= 6.3kg (Ver Anexos A)

La fuerza total que recibe la estructura base en la parte superior es de 95.8kg.

$$\begin{aligned} \text{Fuerza total} &= 95.8\text{kg} \times 9.81\text{m}/\text{seg}^2 \\ &= \mathbf{939.798\text{ N}} \end{aligned}$$

Como la fuerza se encuentra apoyada en dos soportes, entonces:

$$939.798\text{N} / 2 = \mathbf{469.899\text{N}} \quad (\text{Para cada soporte})$$

La estructura base recibe la siguiente fuerza en la parte inferior:

- Motor Eléctrico = 45kg

La fuerza total que recibe la estructura base en la parte inferior es de 45kg.

$$\begin{aligned} \text{Fuerza total} &= 45\text{kg} \times 9.81\text{m/seg}^2 \\ &= \mathbf{441.45\text{N}} \end{aligned}$$

Como la fuerza se encuentra apoyada en dos soportes, entonces:

$$441.45\text{N} / 2 = \mathbf{220.725\text{ N}} \quad (\text{Para cada soporte})$$

### 5.1.2 Áreas Presentes en la Estructura Base

Las áreas presentes de la estructura base son:

Parte superior donde va apoyado el conjunto de la camisa:

- A1 del soporte uno =  $2.5047 \times 10^{-3}\text{m}^2$
- A2 del soporte dos =  $2.5047 \times 10^{-3}\text{m}^2$
- Área total =  $0.0050094\text{m}^2$

Parte inferior donde va apoyado el motor eléctrico:

- A1 del soporte uno =  $1.840701 \times 10^{-2}\text{m}^2$
- A2 del soporte dos =  $1.840701 \times 10^{-2}\text{m}^2$
- Área total =  $0.036802\text{m}^2$

### 5.1.3 Factor de Seguridad en la Estructura Base

Para calcular el esfuerzo de diseño y así obtener un factor de seguridad, se utilizó el software ANSYS (Ver numeral 5), donde se obtuvieron los siguientes datos:

- Esfuerzo último del material = 420Mpa
- Esfuerzo de diseño = 82.13Mpa

Por lo consiguiente reemplazando en la ecuación 13 se obtiene el factor de seguridad ( $\eta$ ) para la estructura base.

$$(\eta) = \text{Esfuerzo último del material} / \text{Esfuerzo de diseño} \quad (\text{Ecuación 13})$$

$$(\eta) = 4200\text{Mpa} / 821.27\text{Mpa}$$

$$(\eta) = 5.1138 \quad (\text{Factor de Seguridad Estructura base})$$

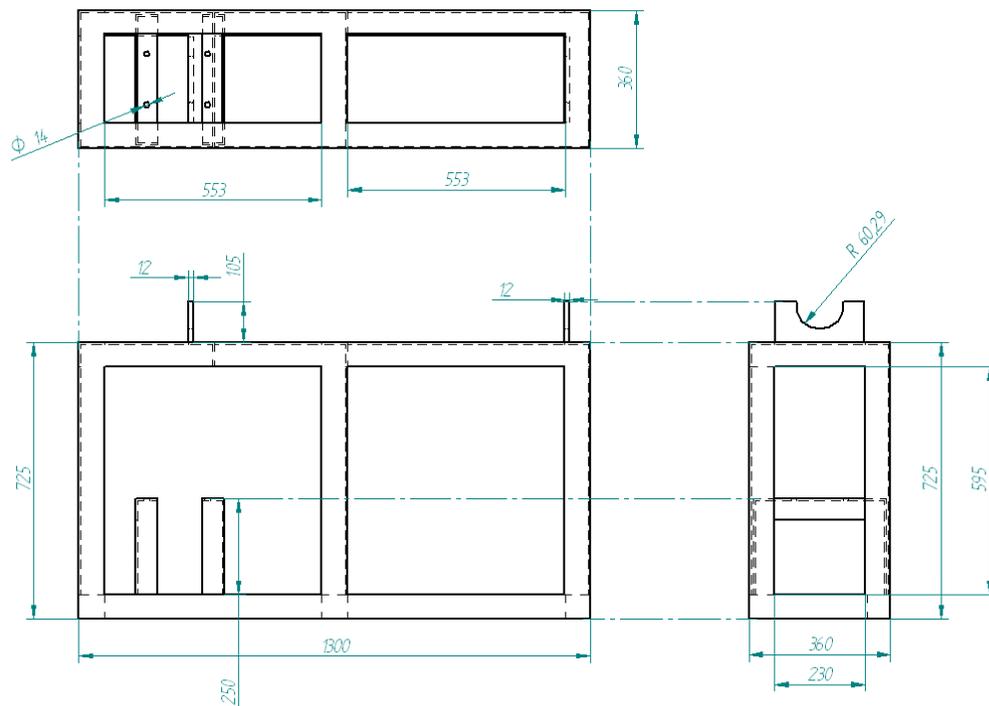


Figura 20. Planos Estructura Base. Escala 2:1. Medida en milímetros.

Elaborada por Diego Galvis y Jorge Rubio

## 5.2 CONJUNTO DE CAMISAS

### 5.2.1 Fuerzas presentes en el Conjunto de Camisas

Conociendo que el tornillo extrusor que va dentro del conjunto de camisas esta diseñado con un diámetro que va en aumento desde el principio hasta el final de su longitud (Ver figura 15), para que el proceso de extrusión del material sea correcto, esto genera un gradiente de presión dentro del conjunto de las camisas.

Obteniendo de la ecuación 6 y 7 se sabe que el gradiente de presión generado dentro del conjunto de las camisas durante el proceso de extrusión equivale a  $(\Delta P) = 1.10785 \times 10^{-6} \text{ Pa}$

Por lo tanto como el gradiente de presión generado dentro del conjunto de camisas por el material mientras es procesado es muy bajo se toma la presión atmosférica mas el  $\Delta P$  que equivale a 101.325Pa para llevar a un mayor esfuerzo el conjunto de camisas.

### 5.2.2 Áreas presentes en el Conjunto de Camisas

Se toma el área interna de la camisa que es por donde fluye el material (ver figuras 21, 22,23 y 24), por lo tanto las áreas internas presentes en el conjunto de camisas son:

- Camisa parte 1 =  $4.8322 \times 10^{-2} \text{ m}^2$
- Camisa parte 2 =  $7.0759 \times 10^{-2} \text{ m}^2$
- Camisa parte 3 =  $0.11011 \text{ m}^2$
- Camisa parte 4 =  $0.15123 \text{ m}^2$

Obteniendo así un área total de  $0.380421 \text{ m}^2$

### 5.2.3 Factor de seguridad de Conjunto de Camisas

Para calcular el esfuerzo de diseño y así obtener un factor de seguridad, se utilizó el software ANSYS (Ver numeral 5), donde se obtuvieron los siguientes datos:

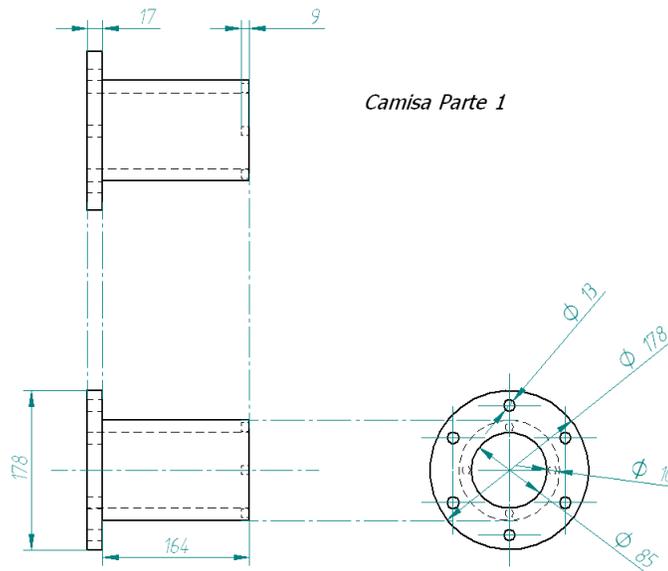
- Esfuerzo ultimo del material = 1060Mpa
- Esfuerzo de diseño = 205Mpa

Por lo consiguiente reemplazando en la ecuación 13 se obtiene el factor de seguridad ( $\eta$ ) para el conjunto de camisas.

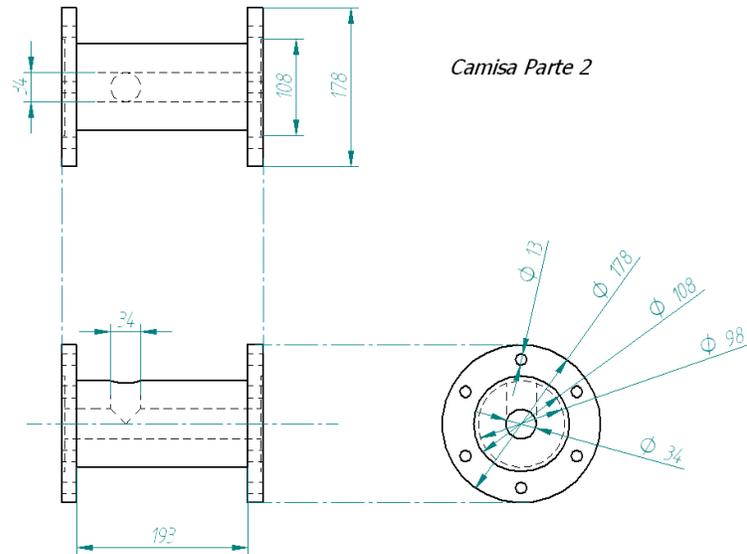
$(\eta) = \text{Esfuerzo ultimo del material} / \text{Esfuerzo de diseño}$

$(\eta) = 1060\text{Mpa} / 205\text{Mpa}$

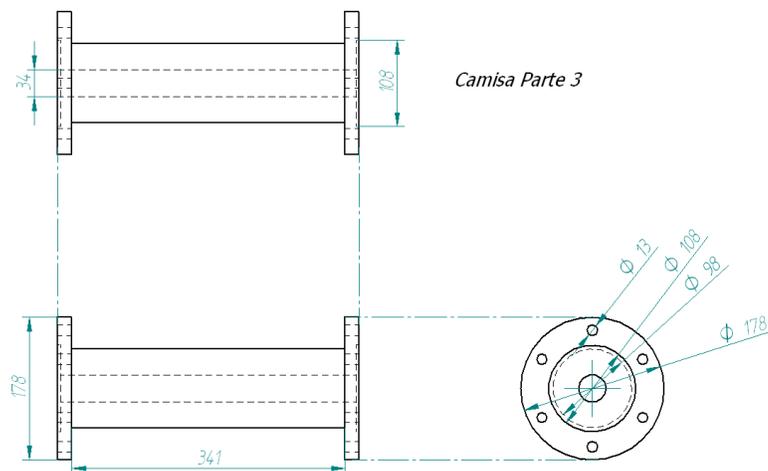
**$(\eta) = 5.17$  (Factor de Seguridad Conjunto de Camisas)**



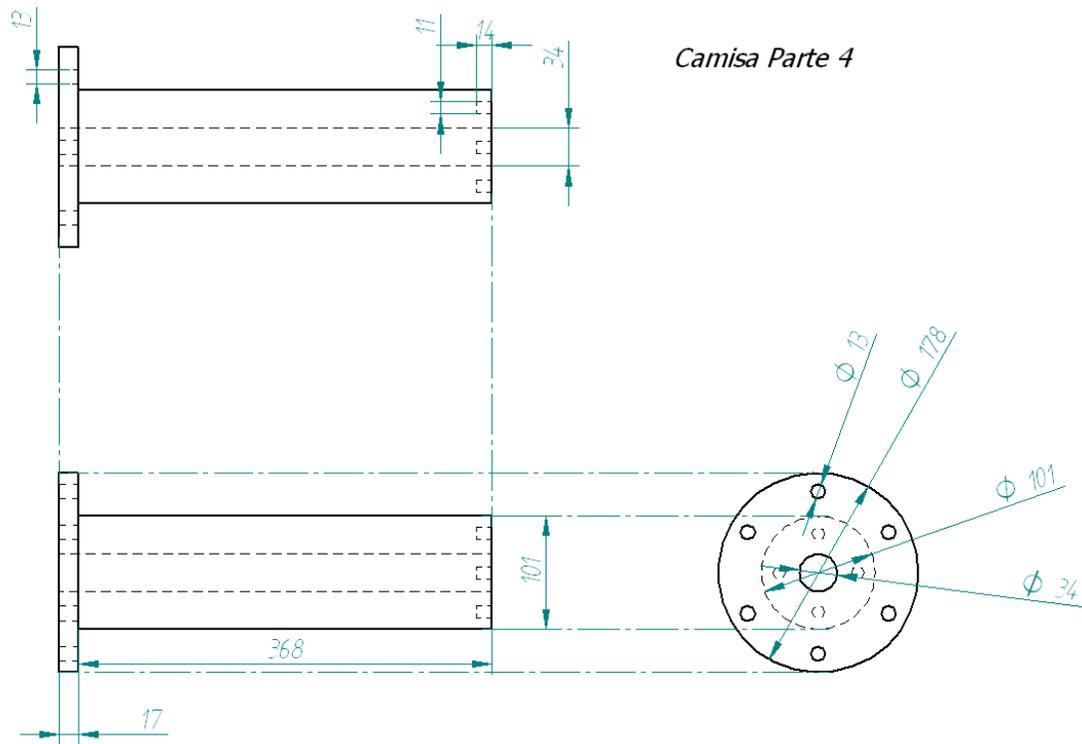
**Figura 21. Camisa parte 1. Escala 2:1. Medidas en milímetros. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio.**



**Figura 22. Camisa parte 2. Escala 2:1. Medidas en milímetros. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio.**



**Figura 23. Camisa parte 3. Escala 2:1. Medidas en milímetros. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio.**



**Figura 24. Camisa parte 4. Escala 2:1. Medidas en milímetros. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio.**

## 6 ANALISIS TERMICO Y ESTRUCTURAL DE LOS COMPONENTES DE MAQUINA EXTRUSORA

### 6.1 ANALISIS DE LA ESTRUCTURA BASE

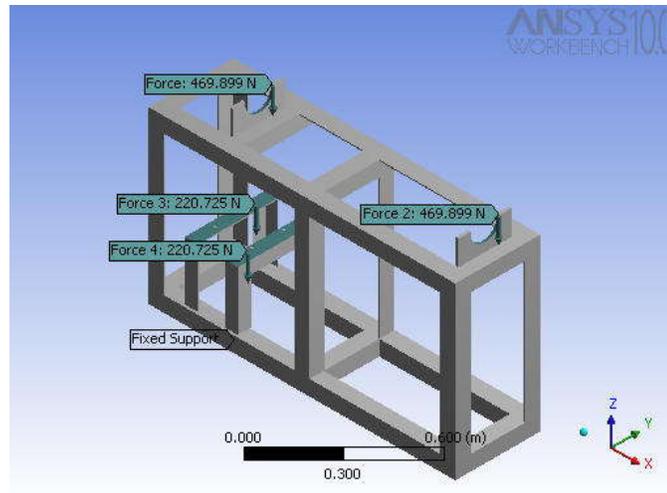


Figura 25. Ambiente Geométrico estructura base. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio.

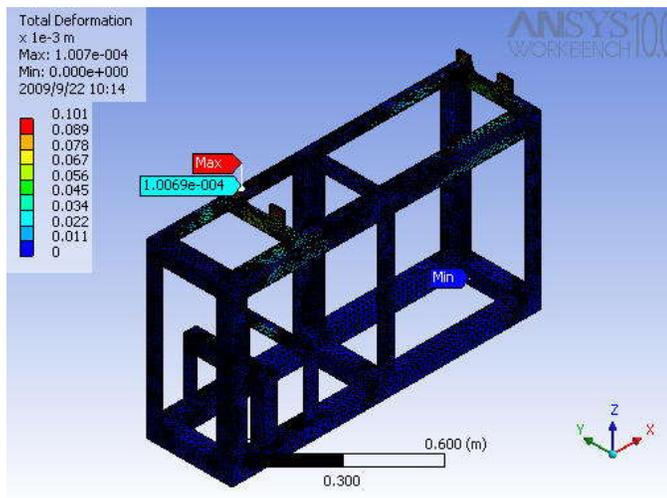


Figura 26. Deformación Total Estructura. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio.

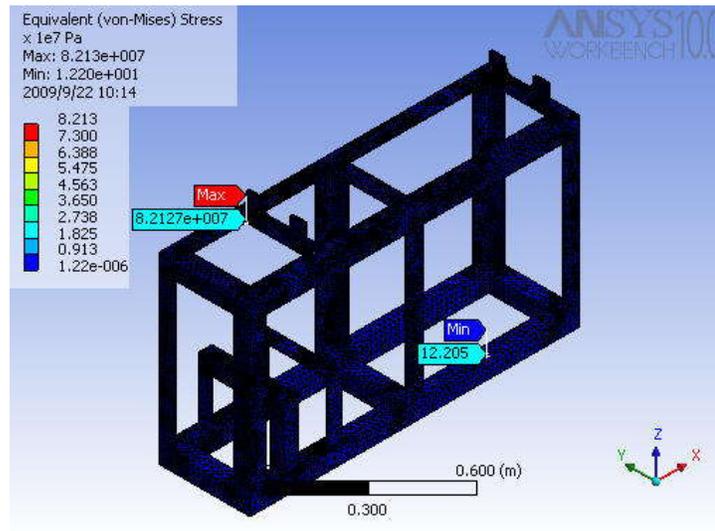


Figura 27. Esfuerzos Equivalentes. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio.

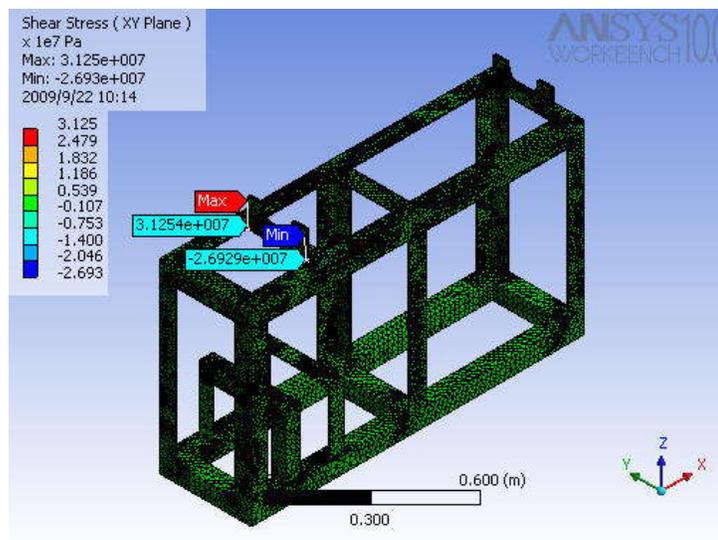
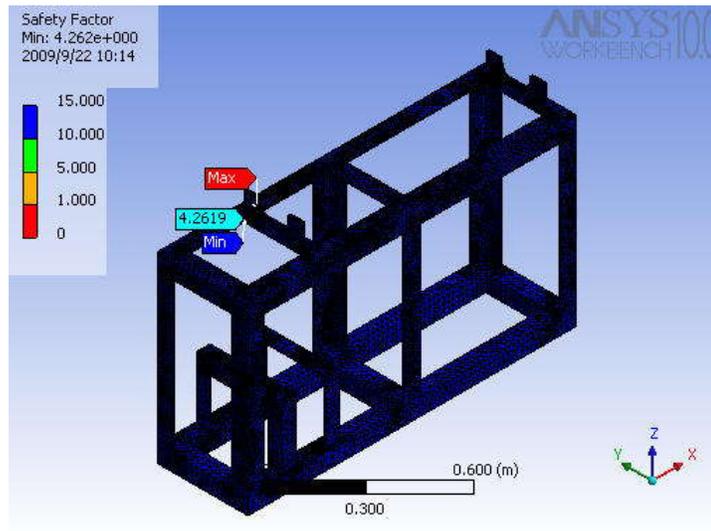


Figura 28. Esfuerzos Cortantes. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio.



**Figura 29. Factor de Seguridad. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio.**

### **6.1.1 Interpretación de los resultados para la estructura base de la maquina extrusora.**

La interpretación de los resultados para la estructura después de aplicadas las cargas (ver figura 25) y simulados en el software ANSYS son:

#### **6.1.1.1 Deformación Total**

La deformación total que se ha obtenido para la estructura por medio del software ANSYS (ver figura 26), con un valor máximo de  $1.007 \times 10^{-4} \text{m}$ , se localiza en la parte superior de la estructura. La deformación indica que la estructura ha tenido un desplazamiento debido a la carga que se

recibe del conjunto de camisas, lo cual este pequeño cambio, no afecta la integridad del componente.

#### **6.1.1.2 Esfuerzos Equivalentes**

Los esfuerzos equivalentes que se han obtenido para la estructura por medio del software ANSYS (ver figura 27), con un valor máximo de 82.13Mpa, se localiza en la parte superior de la estructura. El valor que se ha obtenido indica que la estructura puede soportar la carga que recibe del conjunto de camisas y el peso del motor eléctrico.

#### **6.1.1.3 Esfuerzos Cortantes**

Los esfuerzos cortantes que se han obtenido para la estructura por medio del software ANSYS (ver figura 28), con un valor máximo de 31.25Mpa, se localiza en la parte superior de la estructura. El valor que se ha obtenido indica que la estructura puede soportar la carga que recibe del conjunto de camisas y el peso del motor eléctrico.

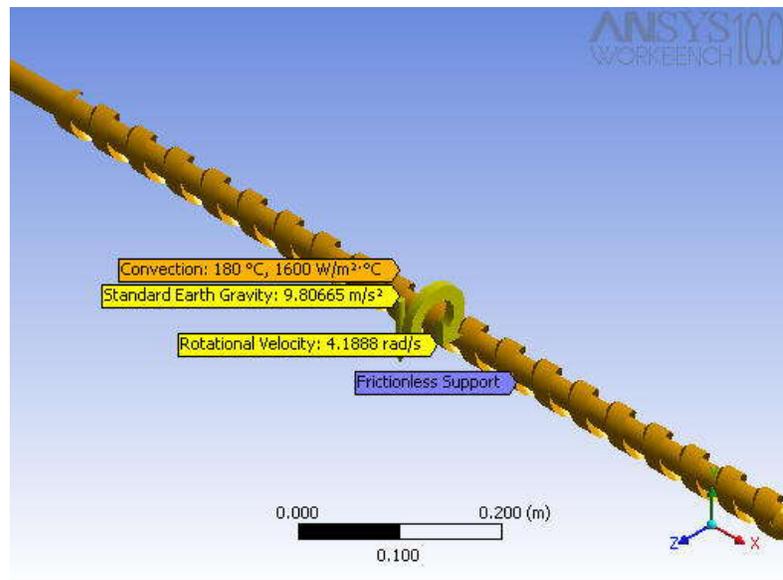
#### **6.1.1.4 Factor de Seguridad**

El factor de seguridad que se han obtenido para la estructura por medio del software ANSYS (ver figura 29), con un valor de 4.26, indica que la estructura es adecuada para soportar las cargas, ya que esta diseñada para la industria.

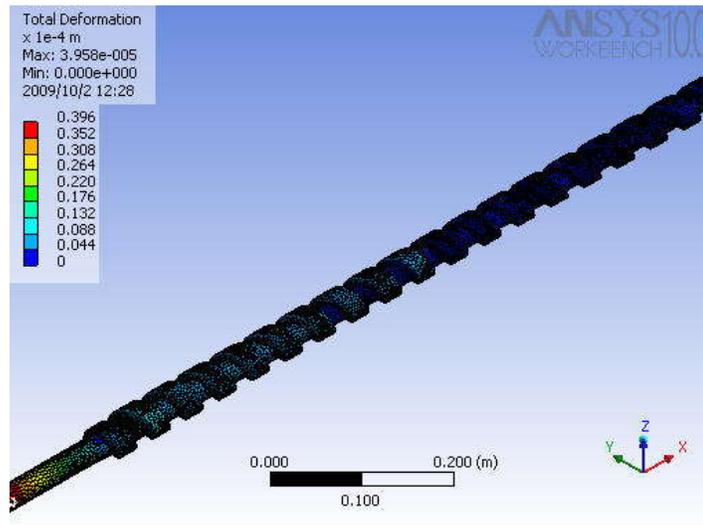
## 6.2 ANALISIS DEL TORNILLO EXTRUSOR

Se realizaron dos análisis estructurales diferentes al tornillo extrusor, un análisis estructural a una temperatura de 180°C, la cual es la temperatura de trabajo para el procesamiento del polietileno de baja densidad y un análisis estructural a una temperatura de 250°C, la cual es la temperatura máxima que se llevara el tornillo extrusor.

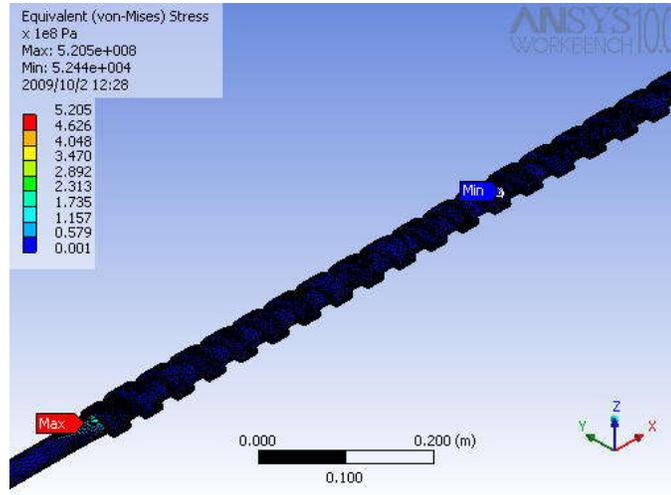
### 6.2.1 Análisis Estructural a 180°C



**Figura 30. Ambiente geométrico del tornillo extrusor a una temperatura de 180°C. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio**



**Figura 31. Deformación total del tornillo extrusor. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio.**



**Figura 32. Esfuerzos Equivalentes. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio.**

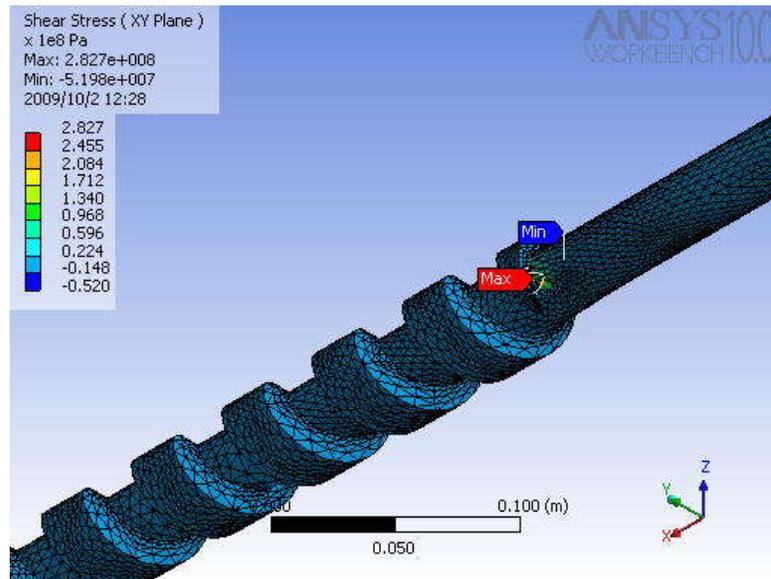


Figura 33. Esfuerzos Cortantes. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio.

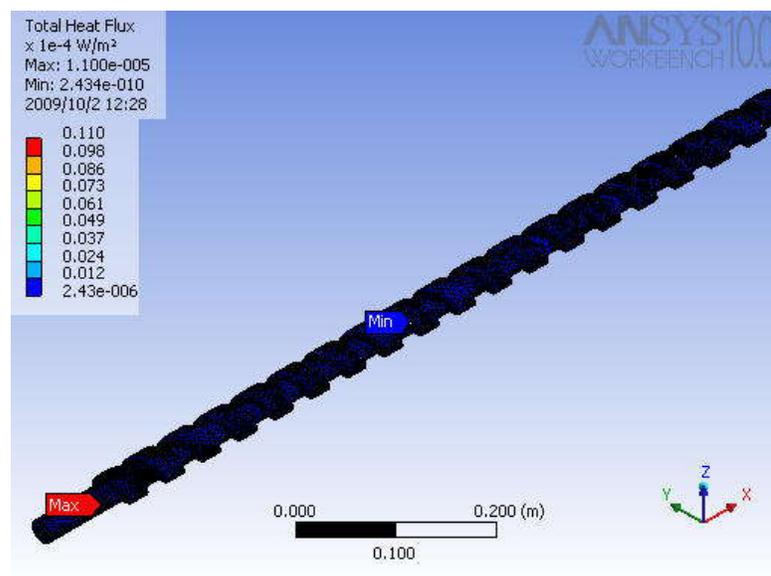
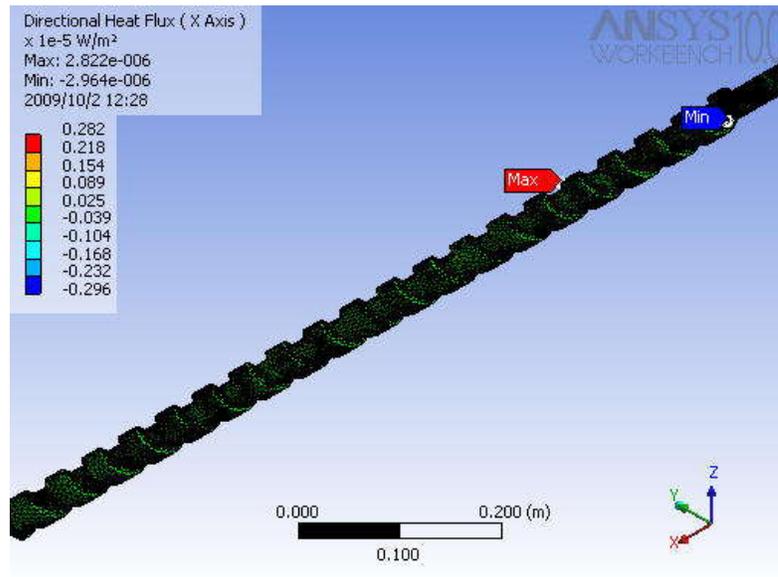
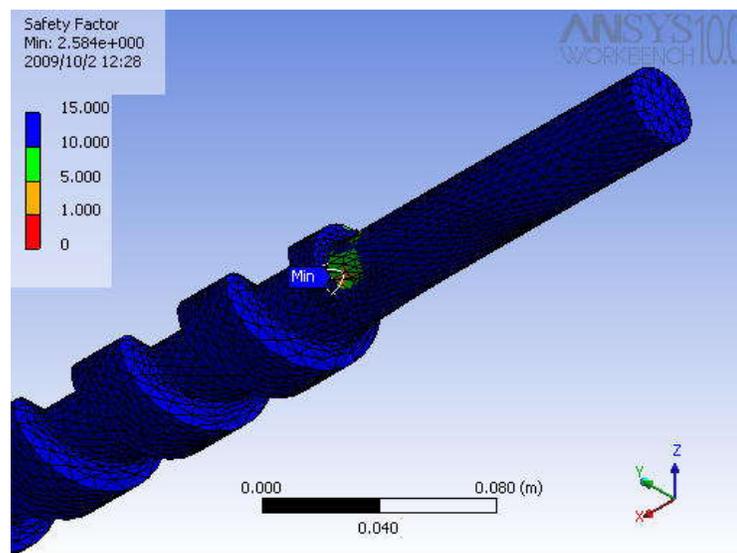


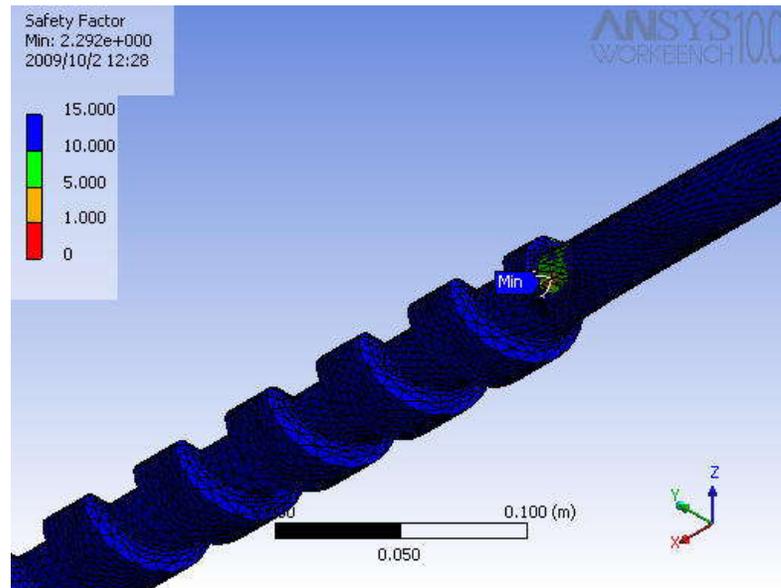
Figura 34. Flujo de calor total. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio.



**Figura 35. Dirección del Flujo de calor. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio**



**Figura 36. Factor de seguridad de esfuerzos equivalentes. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio**



**Figura 37. Factor de seguridad de esfuerzos cortantes. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio.**

### **6.2.1.1 Interpretación de los resultados para el tornillo extrusor a una temperatura de 180°C**

La interpretación de los resultados para el tornillo extrusor después de aplicadas las cargas (ver figura 30) a una temperatura de 180°C y simulados en el software ANSYS son:

#### **6.2.1.1.1 Deformación Total**

La deformación total que se ha obtenido para el tornillo extrusor a una temperatura de 180°C por medio del software ANSYS (ver figura 31), con un valor máximo de  $3.958 \times 10^{-5} \text{m}$  ubicado en la parte del cuñero, indica que el tornillo extrusor ha tenido un desplazamiento debido al movimiento de giro, lo cual este pequeño cambio, no afecta la integridad del componente.

#### **6.2.1.1.2 Esfuerzos Equivalentes**

Los esfuerzos equivalentes que se han obtenido para el tornillo extrusor a una temperatura de 108°C por medio del software ANSYS (ver figura 32), con un valor máximo de 520.5Mpa, se localiza en la parte del cuñero del tornillo extrusor. El valor que se ha obtenido indica que el tornillo extrusor puede soportar las cargas que recibe (ver figura 30).

#### **6.2.1.1.3 Esfuerzos Cortantes**

Los esfuerzos cortantes que se han obtenido para el tornillo extrusor a una temperatura de 180°C por medio del software ANSYS (ver figura 33), con un valor máximo de 282.7Mpa, se localiza en la parte del cuñero del tornillo extrusor. El valor que se ha obtenido indica que el tornillo extrusor puede soportar las cargas que recibe (ver figura 30).

#### **6.2.1.1.4 Flujo de Calor Total**

El flujo de calor total que se han obtenido para el tornillo extrusor a una temperatura de 180°C por medio del software ANSYS (ver figura 34), con un valor máximo de  $1.10 \times 10^{-5} \text{W/m}^2$ , se localiza en la parte del cuñero del tornillo extrusor.

#### **6.2.1.1.5 Dirección de Flujo de Calor**

La dirección del flujo de calor que se ha obtenido para el tornillo extrusor a una temperatura de 180°C por medio del software ANSYS (ver figura 35), con un valor máximo de  $2.822 \times 10^{-6} \text{W/m}^2$ . La figura indica la dirección que toma el flujo de calor en el tornillo de extrusor.

#### **6.2.1.1.6 Factor de Seguridad de Esfuerzos Equivalentes**

El factor de seguridad que se han obtenido para el tornillo extrusor a una temperatura de 180°C por medio del software ANSYS (ver figura 36), con un valor de 2.58, indica que el tornillo extrusor es adecuado para soportar las cargas que recibe a esta temperatura (ver figura 30).

#### **6.2.1.1.7 Factor de Seguridad de Esfuerzos Cortantes**

El factor de seguridad que se han obtenido para el tornillo extrusor a una temperatura de 180°C por medio del software ANSYS (ver figura 37), con un valor de 2.29, indica que el tornillo extrusor es adecuado para soportar las cargas que recibe a esta temperatura (ver figura 30).

## 6.2.2 Análisis Estructural a 250°C

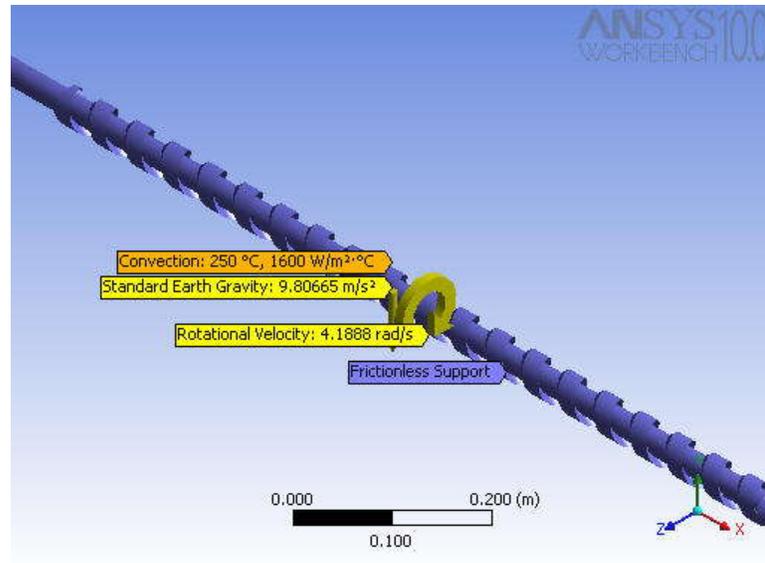


Figura 38. Ambiente Geométrico del tornillo extrusor a una temperatura de 250°C. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio

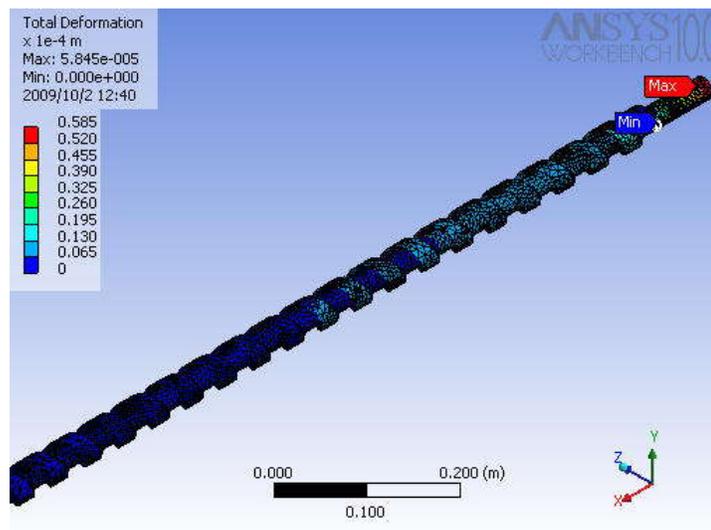


Figura 39. Deformación total del tornillo extrusor. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio

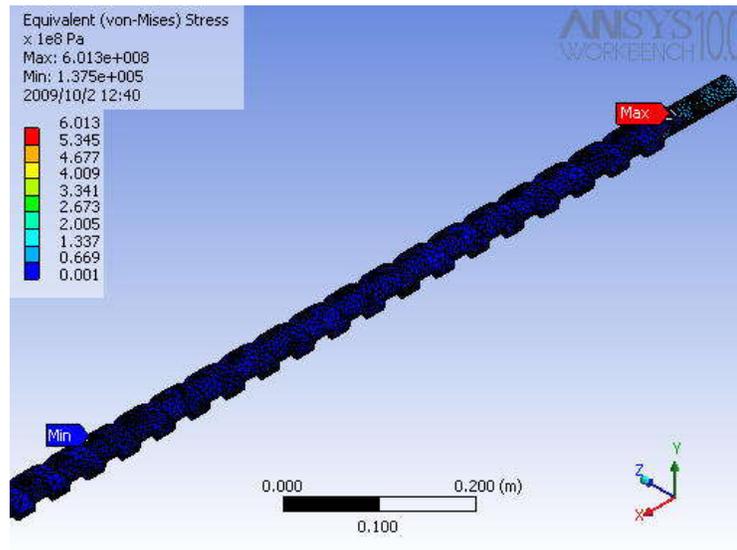


Figura 40. Esfuerzo Equivalente. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio.

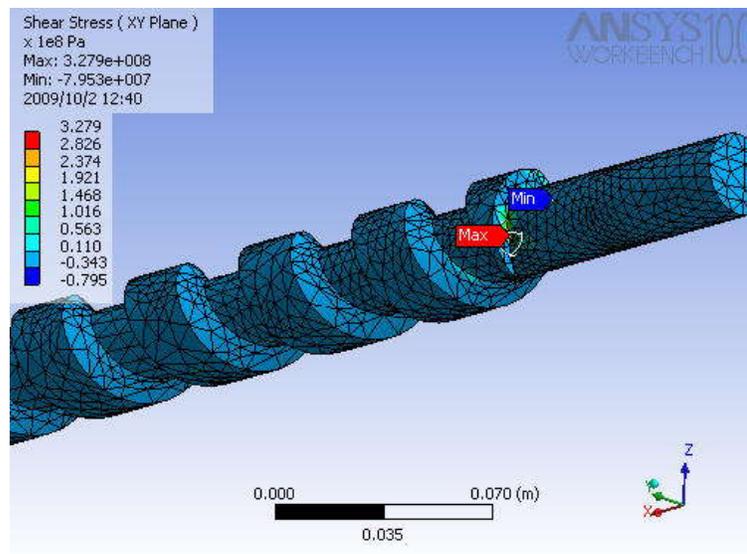


Figura 41. Esfuerzo Cortante. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio.

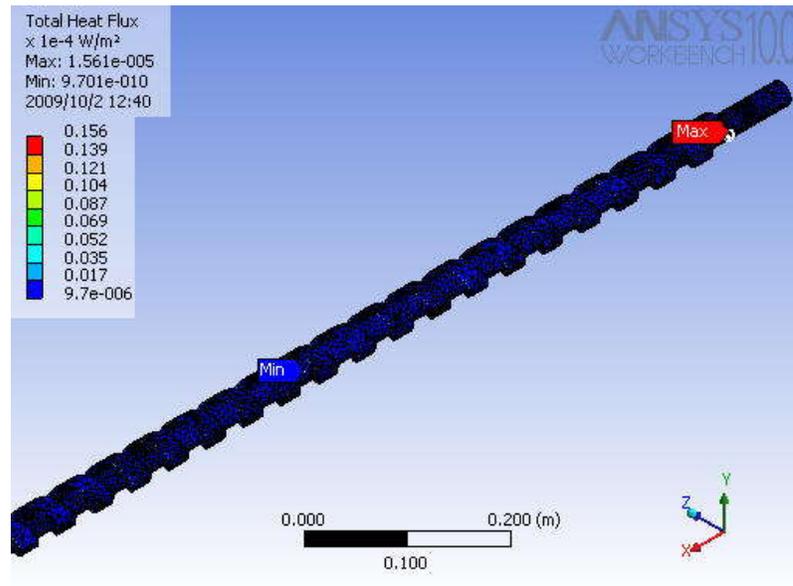


Figura 42. Flujo de Calor Total. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio

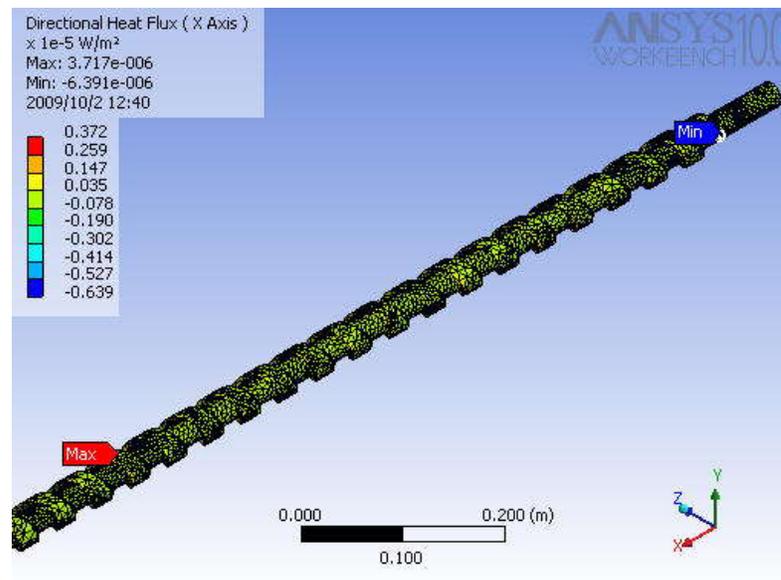
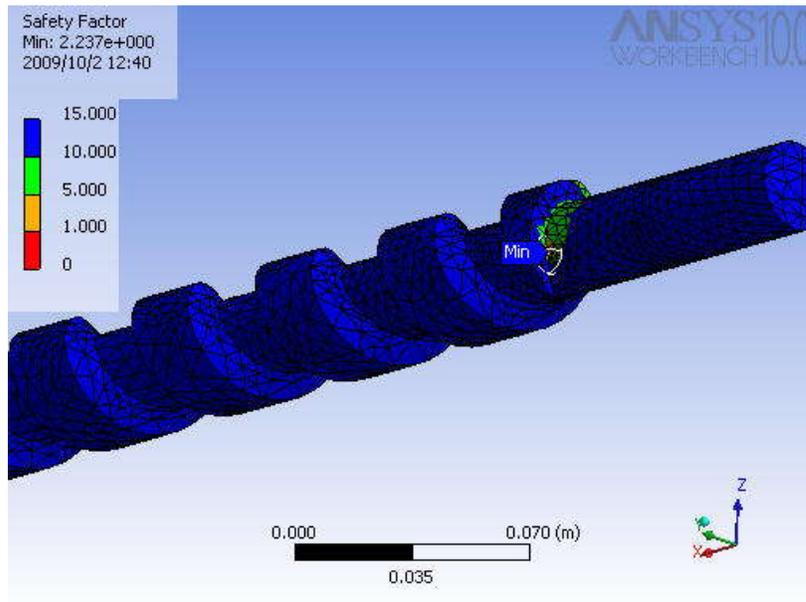
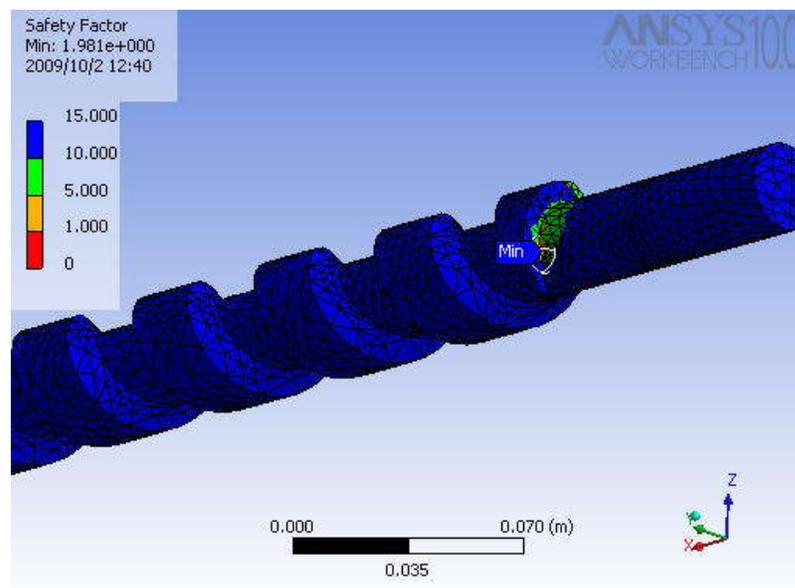


Figura 43. Dirección del Flujo de calor. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio.



**Figura 44. Factor de Seguridad del Esfuerzo Equivalente. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio**



**Figura 45. Factor de Seguridad del Esfuerzo Cortante. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio.**

### **6.2.2.1 Interpretación de los resultados para el tornillo extrusor a una temperatura de 250°C**

La interpretación de los resultados para el tornillo extrusor después de aplicadas las cargas (ver figura 38) a una temperatura de 250°C y simulados en el software ANSYS son:

#### **6.2.2.1.1 Deformación Total**

La deformación total que se ha obtenido para el tornillo extrusor a una temperatura de 250°C por medio del software ANSYS (ver figura 39), con un valor máximo de  $5.845 \times 10^{-5} \text{m}$  ubicado en la parte del cuñero, indica que el tornillo extrusor ha tenido un desplazamiento debido al movimiento de giro, lo cual este pequeño cambio, no afecta la integridad del componente.

#### **6.2.2.1.2 Esfuerzos Equivalentes**

Los esfuerzos equivalentes que se han obtenido para el tornillo extrusor a una temperatura de 250°C por medio del software ANSYS (ver figura 40), con un valor máximo de 601.3Mpa, se localiza en la parte del cuñero del tornillo extrusor. El valor que se ha obtenido indica que el tornillo extrusor puede soportar las cargas que recibe (ver figura 38).

#### **6.2.2.1.3 Esfuerzos Cortantes**

Los esfuerzos cortantes que se han obtenido para el tornillo extrusor a una temperatura de 250°C por medio del software ANSYS (ver figura 41), con un valor máximo de 327.9Mpa, se localiza en la parte del cuñero del tornillo extrusor. El valor que se ha obtenido indica que el tornillo extrusor puede soportar las cargas que recibe (ver figura 38).

#### **6.2.2.1.4 Flujo de Calor Total**

El flujo de calor total que se han obtenido para el tornillo extrusor a una temperatura de 250°C por medio del software ANSYS (ver figura 42), con un valor máximo de  $3.717 \times 10^{-5} \text{W/m}^2$ , indica el valor de la velocidad con que se transfiere el calor.

#### **6.2.2.1.5 Dirección de Flujo de Calor**

La dirección del flujo de calor que se ha obtenido para el tornillo extrusor a una temperatura de 250°C por medio del software ANSYS (ver figura 43), con un valor máximo de  $2.822 \times 10^{-6} \text{W/m}^2$ . La figura indica la dirección que toma el flujo de calor en el tornillo de extrusor.

#### **6.2.2.1.6 Factor de Seguridad de Esfuerzos Equivalentes**

El factor de seguridad que se han obtenido para el tornillo extrusor a una temperatura de 250°C por medio del software ANSYS (ver figura 44), con

un valor de 2.23, indica que el tornillo extrusor es adecuado para soportar las cargas que recibe a esta temperatura (ver figura 38).

#### **6.2.2.1.7 Factor de Seguridad de Esfuerzos Cortantes**

El factor de seguridad que se han obtenido para el tornillo extrusor a una temperatura de 250°C por medio del software ANSYS (ver figura 45), con un valor de 1.98, indica que el tornillo extrusor es adecuado para soportar las cargas que recibe a esta temperatura (ver figura 38).

### **6.3 ANALISIS DEL CONJUNTO DE CAMISAS**

Se realizaron dos análisis estructurales diferentes al conjunto de camisas, un análisis estructural a una temperatura de 180°C, la cual es la temperatura de trabajo para el procesamiento del polietileno de baja densidad y un análisis estructural a una temperatura de 250°C, la cual es la temperatura máxima que podrá soportar el conjunto de camisas.

### 6.3.1 Análisis Estructural a 180°C

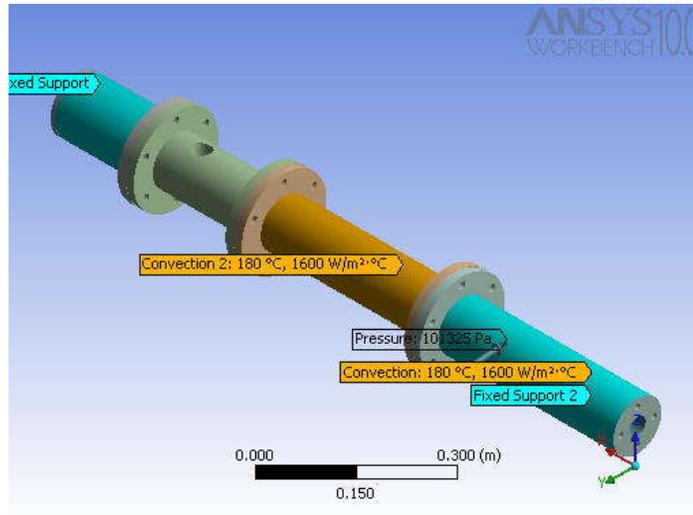


Figura 46. Ambiente Geométrico del Conjunto de Camisas a una temperatura de 180°C. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio.

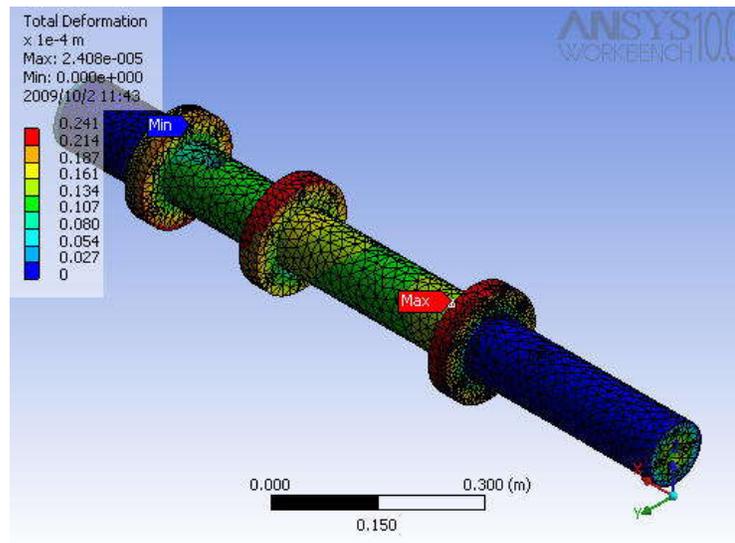


Figura 47. Deformación Total del Conjunto de Camisas. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio.

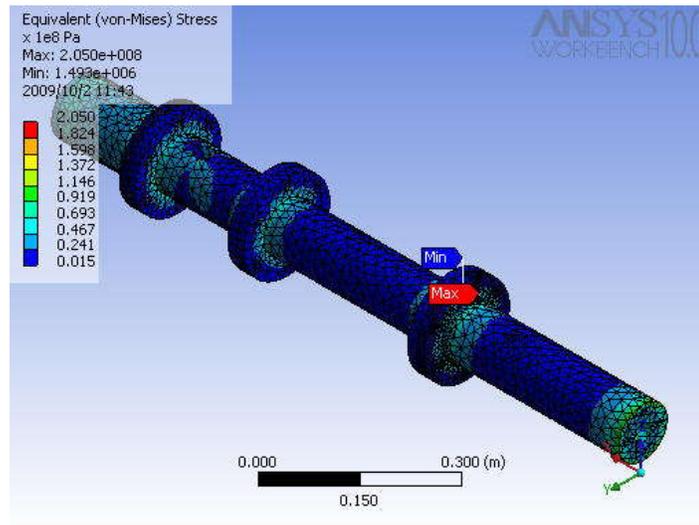


Figura 48. Esfuerzos Equivalentes. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio.

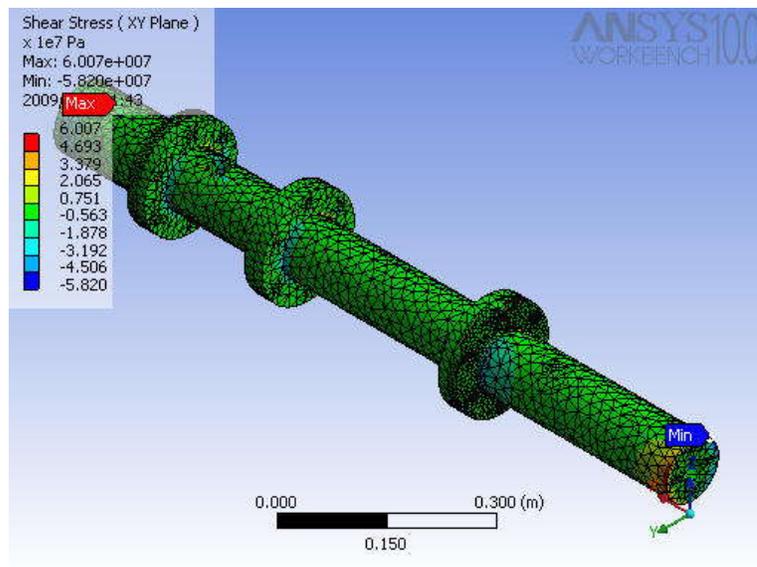


Figura 49. Esfuerzos Cortantes. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio.

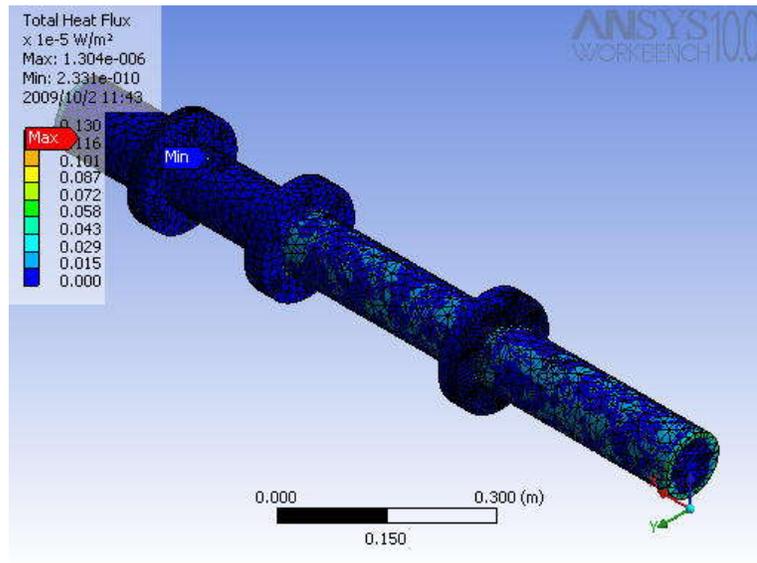


Figura 50. Flujo de Calor Total. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio

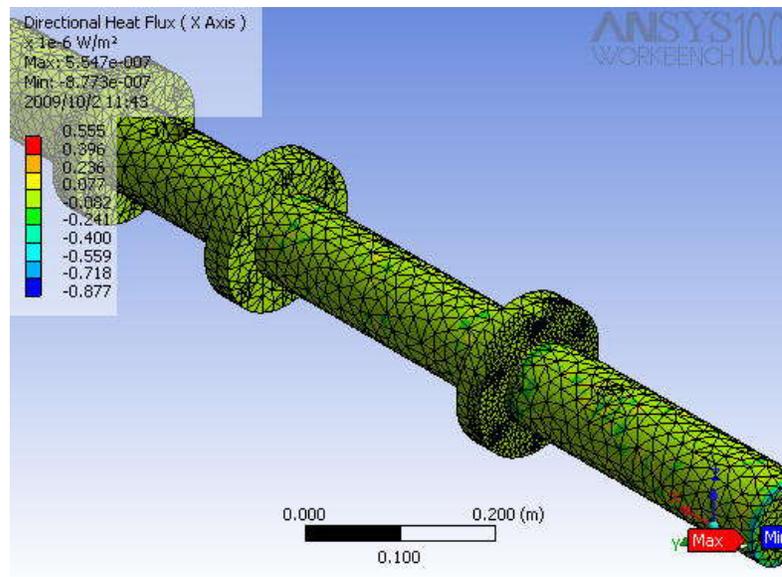
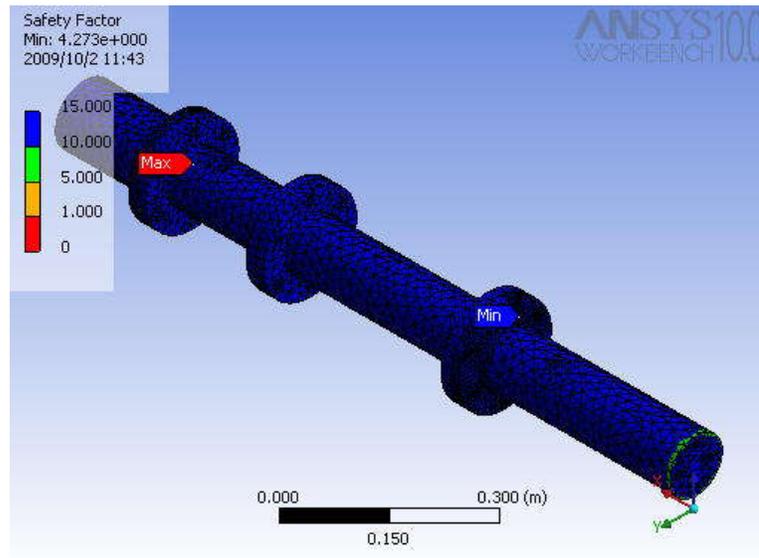
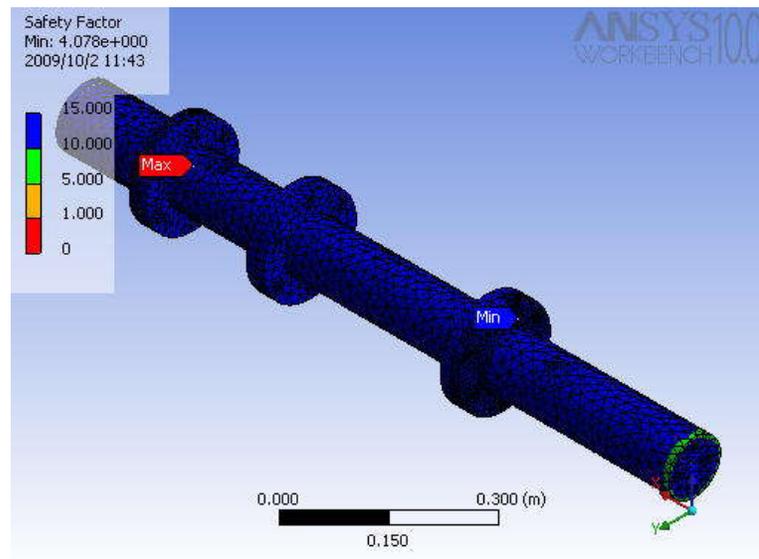


Figura 51. Dirección del Flujo de Calor. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio



**Figura 52. Factor de Seguridad del esfuerzo Equivalente. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio**



**Figura 53. Factor de Seguridad del esfuerzo Cortante. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio.**

### **6.3.1.1 Interpretación de los resultados para el Conjunto de Camisas a una temperatura de 180°C**

La interpretación de los resultados para el conjunto de camisas después de aplicadas las cargas (ver figura 46) a una temperatura de 180°C y simulados en el software ANSYS son:

#### **6.3.1.1.1 Deformación Total**

La deformación total que se ha obtenido para el conjunto de camisas a una temperatura de 180°C por medio del software ANSYS (ver figura 47), con un valor máximo de  $2.408 \times 10^{-5} \text{m}$  ubicado entre la parte de la junta de la camisa 3 con la camisa 4, indica que el conjunto de camisas ha tenido un desplazamiento, lo cual este pequeño cambio, no afecta la integridad del componente.

#### **6.3.1.1.2 Esfuerzos Equivalentes**

Los esfuerzos equivalentes que se han obtenido para el conjunto de camisas a una temperatura de 108°C por medio del software ANSYS (ver figura 48), con un valor máximo de 205Mpa, se localiza en junta de la camisa 4. El valor que se ha obtenido indica que el conjunto de camisas puede soportar las cargas que recibe (ver figura 46).

#### **6.3.1.1.3 Esfuerzos Cortantes**

Los esfuerzos cortantes que se han obtenido para el conjunto de camisas a una temperatura de 180°C por medio del software ANSYS (ver figura 49), con un valor máximo de 60.07Mpa, se localiza en la parte superior de la camisa 1. El valor que se ha obtenido indica que el conjunto de camisas puede soportar las cargas que recibe (ver figura 46).

#### **6.3.1.1.4 Flujo de Calor Total**

El flujo de calor total que se han obtenido para el conjunto de camisas a una temperatura de 180°C por medio del software ANSYS (ver figura 50), con un valor máximo de  $1.304e-6W/m^2$ , se localiza en la parte de la camisa 1.

#### **6.3.1.1.5 Dirección de Flujo de Calor**

La dirección del flujo de calor que se ha obtenido para el conjunto de camisas a una temperatura de 180°C por medio del software ANSYS (ver figura 51), con un valor máximo de  $5.547x10e-7W/m^2$ . La figura indica la dirección que toma el flujo de calor en el conjunto de camisas.

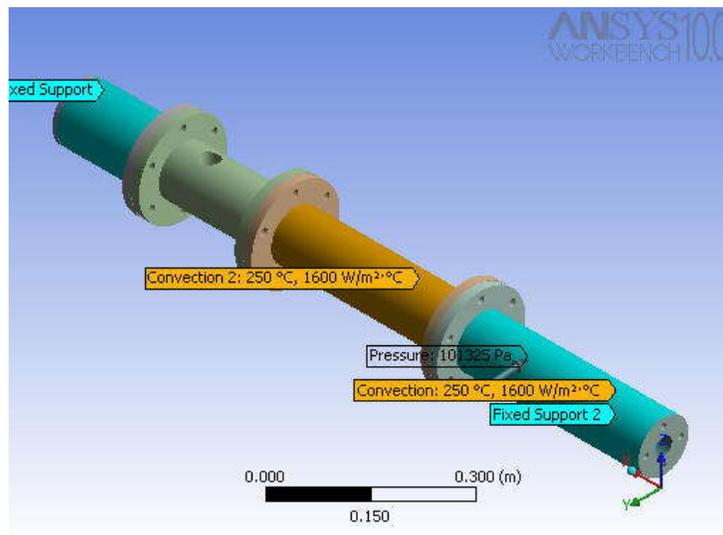
### 6.3.1.1.6 Factor de Seguridad de Esfuerzos Equivalentes

El factor de seguridad que se han obtenido para el conjunto de camisas a una temperatura de 180°C por medio del software ANSYS (ver figura 52), con un valor de 4.27, indica que el conjunto de camisas es adecuado para soportar las cargas que recibe a esta temperatura (ver figura 46).

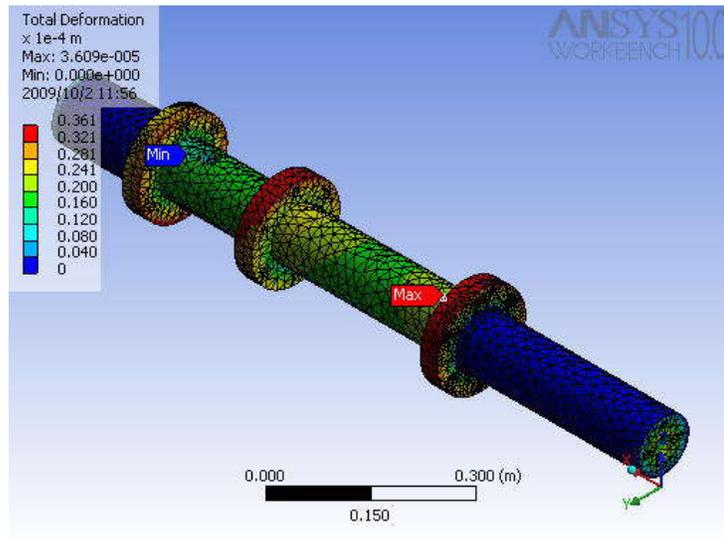
### 6.3.1.1.7 Factor de Seguridad de Esfuerzos Cortantes

El factor de seguridad que se han obtenido para el conjunto de camisas a una temperatura de 180°C por medio del software ANSYS (ver figura 53), con un valor de 4.07, indica que el tornillo extrusor es adecuado para soportar las cargas que recibe a esta temperatura (ver figura 46).

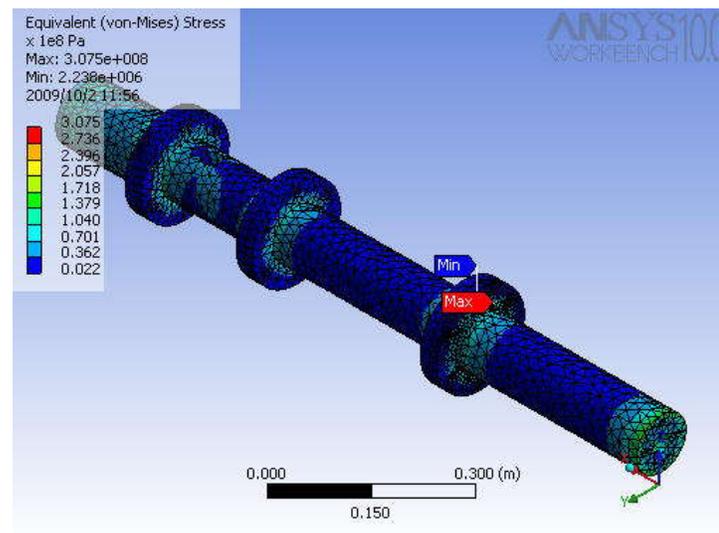
## 6.3.2 Análisis Estructural a 250°C



**Figura 54. Ambiente Geométrico del Conjunto de Camisas a una temperatura de 250°C. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio.**



**Figura 55. Deformación total del Conjunto de las Camisas. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio.**



**Figura 56. Esfuerzos Equivalentes. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio.**

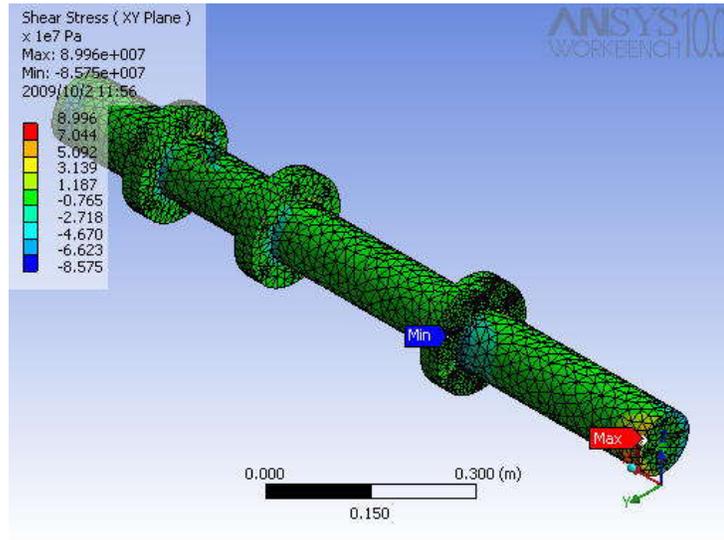


Figura 57. Esfuerzos Cortantes. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio.

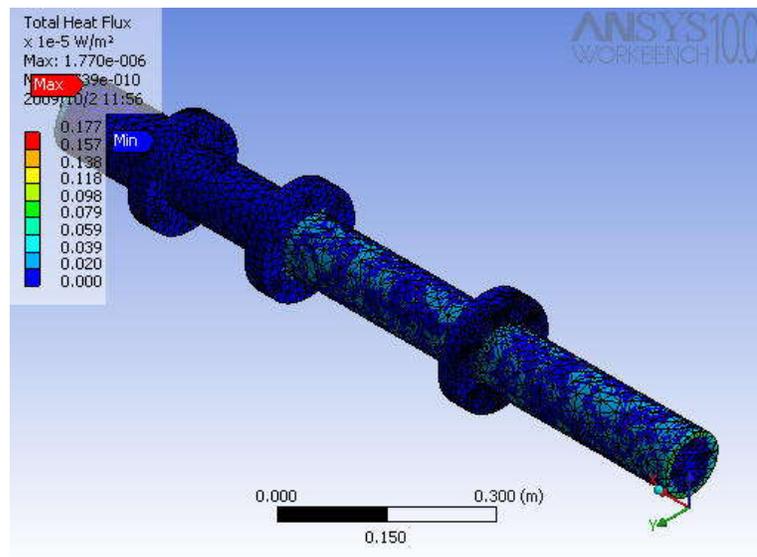
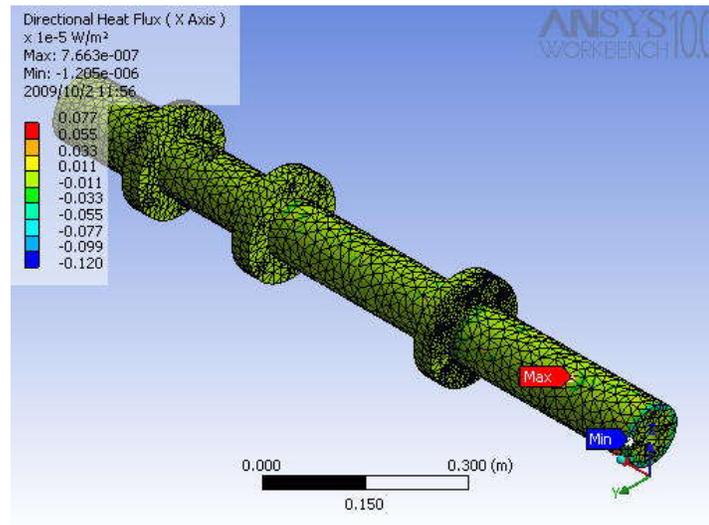
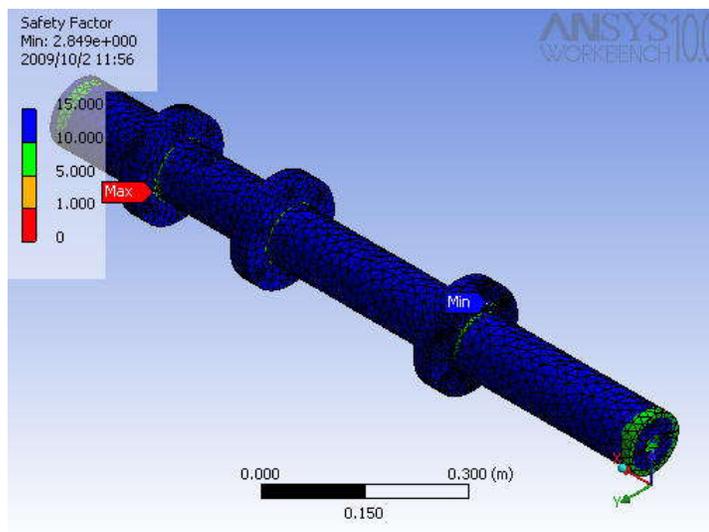


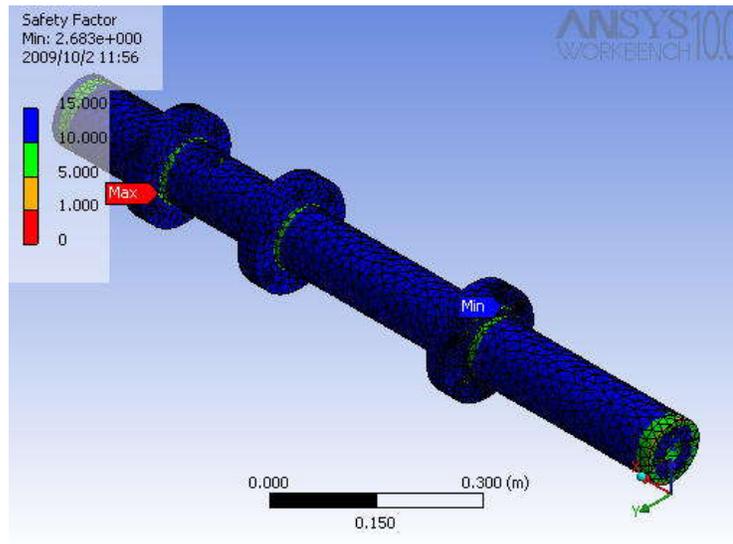
Figura 58. Flujo de Calor Total. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio.



**Figura 59. Dirección del Flujo de Calor. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio.**



**Figura 60. Factor de Seguridad del Esfuerzo Equivalente. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio.**



**Figura 61. Factor de Seguridad del Esfuerzo Cortante. Elaborado por Diego Galvis y Jorge Rubio.**

### **6.3.2.1 Interpretación de los resultados para el Conjunto de Camisas a una temperatura de 250°C**

La interpretación de los resultados para el conjunto de camisas después de aplicadas las cargas (ver figura 54) a una temperatura de 250°C y simulados en el software ANSYS son:

#### **6.3.2.1.1 Deformación Total**

La deformación total que se ha obtenido para el conjunto de camisas a una temperatura de 250°C por medio del software ANSYS (ver figura 55), con un valor máximo de  $3.069 \times 10^{-5} \text{m}$  ubicado en la junta de la camisa 3 y camisa 4, indica que el conjunto de camisas ha tenido un desplazamiento, lo cual este pequeño cambio, no afecta la integridad del componente.

#### **6.3.2.1.2 Esfuerzos Equivalentes**

Los esfuerzos equivalentes que se han obtenido para el conjunto de camisas a una temperatura de 250°C por medio del software ANSYS (ver figura 56), con un valor máximo de 307.5Mpa, se localiza en la parte de la junta de la camisa 4 con la camisa 3. El valor que se ha obtenido indica que el conjunto de camisas puede soportar las cargas que recibe (ver figura 54).

#### **6.3.2.1.3 Esfuerzos Cortantes**

Los esfuerzos cortantes que se han obtenido para el conjunto de camisas a una temperatura de 250°C por medio del software ANSYS (ver figura 57), con un valor máximo de 89.96Mpa, se localiza en la parte final de la camisa 4. El valor que se ha obtenido indica que el conjunto de camisas puede soportar las cargas que recibe (ver figura 54).

#### **6.3.2.1.4 Flujo de Calor Total**

El flujo de calor total que se han obtenido para el conjunto de camisas a una temperatura de 250°C por medio del software ANSYS (ver figura 58), con un valor máximo de  $1.77 \times 10^{-6} \text{W/m}^2$ , indica el valor de la velocidad con que se transfiere el calor.

#### **6.3.2.1.5 Dirección de Flujo de Calor**

La dirección del flujo de calor que se ha obtenido para el conjunto de camisas a una temperatura de 250°C por medio del software ANSYS (ver figura 59), con un valor máximo de  $7.66 \times 10^{-7} \text{ W/m}^2$ . La figura indica la dirección que toma el flujo de calor en conjunto de camisas.

#### **6.3.2.1.6 Factor de Seguridad de Esfuerzos Equivalentes**

El factor de seguridad que se han obtenido para el conjunto de camisas a una temperatura de 250°C por medio del software ANSYS (ver figura 60), con un valor de 2.84, indica que el conjunto de camisas es adecuado para soportar las cargas que recibe a esta temperatura (ver figura 54).

#### **6.3.2.1.7 Factor de Seguridad de Esfuerzos Cortantes**

El factor de seguridad que se han obtenido para el conjunto de camisas a una temperatura de 250°C por medio del software ANSYS (ver figura 61), con un valor de 2.68, indica que el conjunto de camisas es adecuado para soportar las cargas que recibe a esta temperatura (ver figura 54).

## 7 PRUEBAS

### 7.1 METODOLOGIA DE LA PRUEBA

La metodología durante las pruebas de la maquina extrusora se desarrollo para obtener dos variables, temperatura versus tiempo de procesamiento del material (T vs t) y de ahí determinar la velocidad de producción de la maquina extrusora.

Esta prueba total se realizo por medio de cinco pruebas, en cada una se realizo 3 tomas de datos para obtener de 3 tiempos distintos sin variar la temperatura y así promediar y tener un valor total de tiempo. Cada prueba se llevo a cabo en temperaturas distintas en las dos secciones de la camisa, desde 100°C hasta los 180°C, temperatura máxima de utilización del material (Ver anexos B), estas temperaturas ya estaban definidas por los estudiantes, en la sección 1, la temperatura se vario desde los 100°C hasta los 140°C y en la sección 2, la temperatura se vario desde los 140°C hasta los 180°C, estas temperaturas están basadas en conceptos del proceso del polietileno. En el laboratorio se tenía un bulto de 15 kilos del material, se decidió utilizar 3 kilos por prueba y 1 kilo por toma de datos en cada prueba, para obtener un buen promedio (ver figura 62).

Finalizado su proceso se anoto su peso respectivo del material producido para verificar que el material se haya procesado en su totalidad.



**Figura 62. Material en la tolva de alimentación para el desarrollo de las pruebas. Tomada por Diego Galvis y Jorge Rubio.**

Terminada la toma de datos en cada prueba, se cambio la variable de temperatura, aumentandola cada 30 minutos de 10°C en 10°C en cada sección, hasta llegar la última toma de datos que finalizaba con una temperatura del procesamiento del material en 140°C en la sección 1 y 180°C en la sección 2, temperatura máxima del proceso del polietileno de baja densidad.

La toma de datos en las distintas pruebas se llevo a cabo en una tabla donde se anotaron los valores respectivos en cada temperatura correspondiente. (Ver tabla 9).

	DATOS 1	DATOS 2	DATOS 3	PROM. DATOS
<i>TEMPERATURA 1 (100 y 140) °c</i>				
<i>TEMPERATURA 2 (110 y 150)°c</i>				
<i>TEMPERATURA 3 (120 y 160) °c</i>				
<i>TEMPERATURA 4 (130 y 170) °c</i>				
<i>TEMPERATURA 5 (140 y 180)°c</i>				

**Tabla 9. Tabla para la obtención de datos durante las pruebas.**

## **7.2 PASOS DURANTE EL DESARROLLO DE LAS PRUEBAS**

Los pasos durante el desarrollo de las pruebas a la maquina extrusora, fueron los siguientes:

- Antes de conectar la máquina a la red eléctrica, se observo que los variadores de temperatura de cada sección estuviera en cero y que los interruptores estuvieran en posición OFF, se observo que no hubieran objetos que estuvieran obstruyendo el paso del material al tornillo en la tolva de alimentación y por ultimo se conecto la maquina a la red eléctrica de 220v.
- Se cambio la posición de los interruptores a ON para encender la maquina y en los variadores de temperatura de cada sección se modifiko hasta la temperatura de trabajo.
- Una vez encendida la maquina y los variadores de temperatura marcando el valor deseado, se espero por una hora, tiempo necesario para el calentamiento total de la maquina, se recomienda

cumplir el tiempo de calentamiento necesario, para evitar sellamiento dentro de la camisa por parte del material, debido a que la maquina no se encuentra a la temperatura ideal para iniciar el proceso de extrusión.

- Cuando el tiempo calentamiento de la maquina se haya completado y se encuentre en su *temperatura 1* (100°C y 140°C), se ingreso un kilo del material en la tolva de alimentación, una vez el material se encuentre en la tolva de alimentación, se puso en marcha el motor para dar inicio con proceso del material, puesto en marcha el motor se toma el *tiempo 1*, hasta que el total del material ingresado en la tolva se haya procesado, cuando el material ya procesado deje de fluir por la boquilla, se apago el motor obteniendo el *tiempo 1*, se ingreso otro kilo del material y así sucesivamente hasta obtener las tres tomas de datos de la prueba. Una vez se finalizo la recopilación de datos de la prueba 1, se anota sus respectivos pesos del material para corroborar que el material procesado este completo.
- Para realizar la siguiente prueba, se colocaron los variadores de temperatura de las dos secciones en el valor deseado, se dejo calentar la maquina por 30 minutos, que es el tiempo que requiere la maquina para que el cambio de temperatura se cumpla, una vez el tiempo total de calentamiento se completo, se dio inicio a la toma de las siguientes pruebas, *temperatura 2* (110°C y 150°C), *temperatura 3* (120°C y 160°C), *temperatura 4* (130°C y 170°C) y *temperatura 5* (140°C y 180°C), hasta obtener el total de datos de las 5 pruebas.

- Finalizada la toma de datos de las pruebas, se verifico que no quedara material residual dentro de la camisa, para evitar un sellamiento del material al enfriarse la maquina. (Ver figura 65).
- Para apagar la maquina se llevo los variadores de temperatura a su estado inicial (0°C) y los interruptores a OFF, por ultimo se desconecto la maquina.

## 8 ANALISIS DE RESULTADOS

Esta prueba se baso en analizar el tiempo de procesamiento del polietileno de baja densidad (LDPE) variando la temperatura en las dos secciones de la camisa de la maquina extrusora, de esta prueba se obtuvieron los valores del tiempo con respecto a la temperatura. (Ver tabla 10).

	Tiempo1(min)	Tiempo2(min)	Tiempo3(min)	Tiempo Total (min)
<b>TEMPERATURA 1 (100 - 140) °c</b>	14.50	16.33	15.10	<b>15.31</b>
<b>TEMPERATURA 2 (110 - 150)°c</b>	15.10	16.30	13.13	<b>14.44</b>
<b>TEMPERATURA 3 (120 - 160) °c</b>	13.06	12.10	12.20	<b>12.45</b>
<b>TEMPERATURA 4 (130 - 170) °c</b>	11.59	11.48	11.34	<b>11.48</b>
<b>TEMPERATURA 5 (140 - 180)°c</b>	10.01	10.38	10.05	<b>10.14</b>

Tabla 10. Promedio del tiempo total de las prueba.

Tiempo Total del Proceso del Polietileno

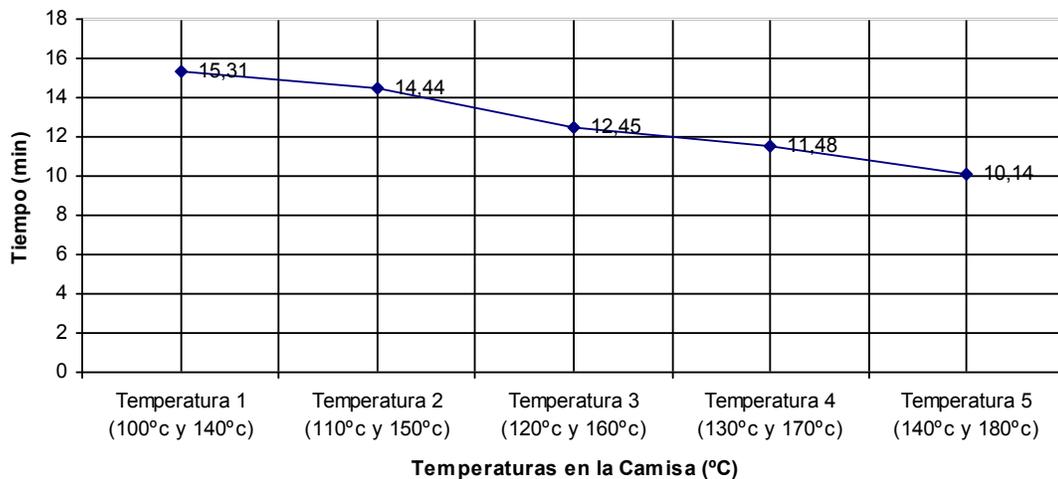
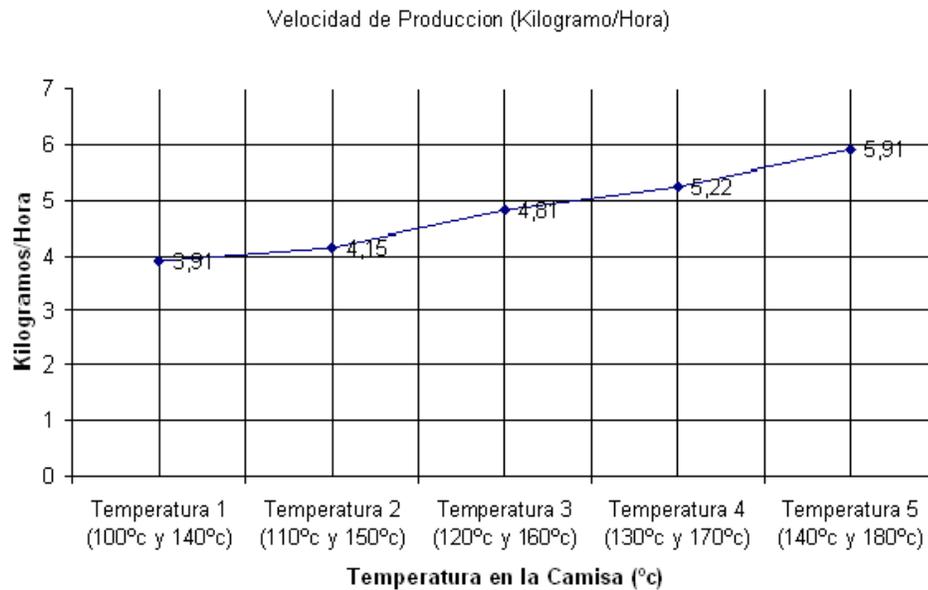


Figura 63. Grafica (Tiempo del procesamiento del polietileno versus Temperatura)



**Figura 64. Grafica (Velocidad de Producción versus Temperatura)**

Analizando el tiempo del procesamiento del polietileno de baja densidad (LDPE) con respecto a la variación de temperatura y según las tablas y la graficas obtenida se puede afirmar que haciendo un estudio detallado del tiempo de procesamiento del material y para cada temperatura y haciendo una comparación entre estas.

<b><i>Temperatura</i></b>	<b><i>Tiempo Total(min)</i></b>
Temperatura 1	15,31
Temperatura 2	14,44
Temperatura 3	12,45
Temperatura 4	11,48
Temperatura 5	10,14

**Tabla 11. Tiempo Total obtenido en cada prueba.**

Se llego a la conclusión que el menor tiempo del procesamiento del material se obtiene en la máxima temperatura de trabajo de la maquina extrusora. Según la graficas de tiempo del procesamiento del polietileno versus la temperatura y velocidad de producción versus temperatura (ver figuras 63 y 64), se puede observar que a medida que se aumenta las temperaturas en las secciones de la camisa, el tiempo del procesamiento del material disminuye y la velocidad aumenta. Esto quiere decir que ha mayor temperatura el material se funde mas rápido y así el proceso de extrusión del polietileno de baja densidad (LDPE) es mas veloz. (Ver tabla 11).



**Figura 65. Fin del proceso de extrusión durante las pruebas. Imagen tomada por Diego Galvis y Jorge Rubio.**

## 9 MANUAL DE ARME Y DESARME DE MAQUINA EXTRUSORA

### 9.1 OBJETIVO

Garantizar que el desarme y el arme de la máquina extrusora de polietileno se realice siguiendo estrictamente el paso a paso que se encuentra contemplado en este procedimiento para que sea seguro y confiable a la hora de colocar en funcionamiento dicho equipo.



**Figura 66. Maquina Extrusora. Imagen tomada por Diego Galvis y Jorge Rubio.**

## **9.2 RECURSO HUMANO**

Para efectuar el procedimiento de desmontaje y montaje de máquina extrusora se necesita de:

- Una persona que conozca del armado y desarmado de la maquina extrusora
- Un ayudante de mecánica, no se requiere que la persona sea capacitada ni entrenada.

### **9.2.1 Equipos, Instrumentos y herramientas.**

- Destornillador mediano de pala
- Destornillador mediano de estrella
- Llaves de distintos diámetros para tornillos y pernos
- Martillo de caucho
- Alicates
- Llave de tubo
- Llave de nombre “Hombre solo”
- Copas de distintos diámetro.
- Una palanca corta

**Nota:** Antes de proceder con el desarmado de la máquina extrusora se debe colocar en funcionamiento las dos resistencias, durante cuarenta minutos hasta que se caliente el conjunto de las camisas, para poder extraer sin inconvenientes los siguientes elementos de la máquina: boquilla y tornillo sin fin.

### **9.3 PROCEDIMIENTOS PREVIOS AL TRABAJO**

- Aliste la herramienta previamente a utilizar para el desarmado y el armado de la máquina, mencionada en el ítem 3.
- Para poner en funcionamiento las dos resistencias revise la conexión eléctrica de estas. Cerciórese que este en buen estado los cables, enchufe, terminales, etc
- Revise e inspeccione el motor eléctrico y el tablero de los botones de puesta en marcha y parada del motor, como también los botones de activación y desactivación de las resistencias.
- Observe si el motor gira.

### **9.4 PROCEDIMIENTO PASO A PASO**

#### **9.4.1 Desarme de Máquina Extrusora**

Retire la tolva de la extrusora, como se observa en la figura 66.



**Figura 67. Retiro de Tolva. Imagen tomada por Diego Galvis y Jorge Rubio.**

Retire los tornillos que sostiene la carcasa de las camisas tres y cuatro con un destornillador, como se observa en la figura 67 .



**Figura 68. Remoción de Tornillos de carcaza. Imagen tomada por Diego Galvis y Jorge Rubio.**

Retire la carcaza que cubre las camisas tres y cuatro de la extrusora, como se observa en la figura 68.



**Figura 69. Remoción de carcaza de camisa 3 y 4. Imagen tomada por Diego Galvis y Jorge Rubio.**

Retire los tornillos que sostienen la carcaza en la camisa uno con un destornillador (ver figura 69).



**Figura 70. Remoción de Tornillos de carcaza de camisa 1. Imagen tomada por Diego Galvis y Jorge Rubio.**

Retire la carcasa de la camisa uno, como se observa en la figura 70.



**Figura 71. Remoción de carcasa de camisa 1. Imagen tomada por Diego Galvis y Jorge Rubio.**

Retire los tornillos de la base de la tolva con un destornillador (ver figura 71).



**Figura 72. Retiro de Tornillos de base de Tolva. Imagen tomada por Diego Galvis y Jorge Rubio.**

Una vez retirado el tornillo que ajusta la base de la tolva, retire esta de la camisa uno (ver figura 72).



**Figura 73. Remoción de base de Tolva. Imagen tomada por Diego Galvis y Jorge Rubio.**

Retire los tornillos que sostienen la tapa lateral de la máquina extrusora con un destornillador y después retire esta (ver figura 73).



**Figura 74. Remoción de Tornillos y Tapa lateral. Imagen tomada por Diego Galvis y Jorge Rubio.**

Retire los tornillos que sostienen la tapa frontal de la máquina extrusora con un destornillador (ver figura 74).



**Figura 75. Remoción de Tornillos de Tapa Frontal. Imagen tomada por Diego Galvis y Jorge Rubio.**

Una vez removido los tornillos que sostienen la tapa frontal, proceda a retirar la tapa (ver figura 75).



**Figura 76. Retiro de Tapa Frontal de Máquina Extrusora. Imagen tomada por Diego Galvis y Jorge Rubio.**

Retire el pin de unión de las dos puntas de la cadena con un alicate, como se observa en la figura 76.



**Figura 77. Remoción de pin de cadena. Imagen tomada por Diego Galvis y Jorge Rubio.**

Una vez retirado el pin de la cadena, proceda a remover la cadena del motor, ver figura 77.



**Figura 78. Remoción de cadena desde el motor. Imagen tomada por Diego Galvis y Jorge Rubio.**

Afloje la termocupla en la camisa cuatro de la rosca que la sostiene, mediante un alicate o una llave de acuerdo a la dimensión de la tuerca de esta (ver figura 78).



**Figura 79. Afloje de Tuerca en Termocupla de camisa 4. Imagen tomada por Diego Galvis y Jorge Rubio.**

Una vez aflojado el tornillo que sostiene la termocupla en la camisa cuatro retire esta de la camisa (ver figura 79).



**Figura 80. Remoción de Termocupla en camisa 4. Imagen tomada por Diego Galvis y Jorge Rubio.**

Afloje los tornillos que sostienen los cables de unión entre las dos resistencias tanto en la camisa tres como en la cuatro (ver figura 80).

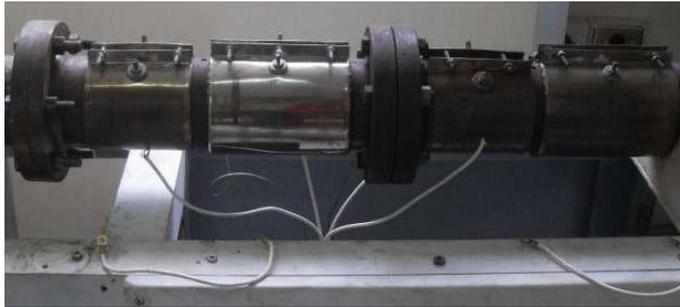


**Figura 81 Afloje de Tornillos de cable de resistencias. Imagen tomada por Diego Galvis y Jorge Rubio.**

Una vez soltado los tornillos de los cables de las resistencias, proceda a retirar todos los cables de dichas resistencias (ver figura 81 y 82).



**Figura 82. Remoción de cable en resistencia. Imagen tomada por Diego Galvis y Jorge Rubio.**



**Figura 83. Resistencias sin cables. Imagen tomada por Diego Galvis y Jorge Rubio.**

Destorquee y remueva los pernos de sujeción de la boquilla de la extrusora con una llave (ver figura 83).



**Figura 84. Destorqueo de pernos de boquilla. Imagen tomada por Diego Galvis y Jorge Rubio.**

Una vez removido los pernos de sujeción de la boquilla, proceda a retirar la boquilla de la camisa cuatro (ver figura 83).



**Figura 85. Remoción de boquilla. Imagen tomada por Diego Galvis y Jorge Rubio.**

Inserte una palanca en el agujero de la tolva e instale una llave de tubo en el extremo izquierdo del sin fin, y mueva hacia la izquierda la palanca y la llave de tubo para sacar el sin fin (ver figura 84).



**Figura 86. Movimiento con palanca y llave para sacar sin fin. Imagen tomada por Diego Galvis y Jorge Rubio.**

Inserte un destornillador de pala o una palanca en el extremo derecho del sin fin para remover este hacia fuera y después tome el sin fin con un hombre sólo y halé este hacia fuera para removerlo fácilmente (ver figura 85 y 86).



**Figura 87. Remoción de sin fin desde extremo derecho. Imagen tomada por Diego Galvis y Jorge Rubio.**



**Figura 88. Remoción de sin fin con destornillador y hombre sólo. Imagen tomada por Diego Galvis y Jorge Rubio.**

#### **9.4.2 Armado de Maquina Extrusora**

Para el armado de la máquina extrusora, realice este en forma inversa al desarme de cada uno de sus componentes, teniendo principal cuidado de no perder los componentes que han sido desarmados y a la vez tener cuidado de no dañar los componentes a la hora del ensamble.

**NOTA:** *No golpee fuertemente el sin fin para no dañar este, y tenga cuidado con la fuerza aplicada en los pernos de la boquilla y de los tornillos de las demás piezas para no dañar las roscas de estos.*

#### **9.5 ENTREGA DEL TRABAJO**

Durante el procedimiento de desarme y arme de la máquina Extrusora se requiere la supervisión de una persona que conozca del desarme y arme de la máquina, para garantizar la aplicación correcta de este procedimiento.

## CONCLUSIONES

Se diseñó, construyó y probó una máquina extrusora de polietileno de baja densidad (LDPE) de tornillo simple, que permitió procesar el material en forma de pelets para su implementación como práctica de laboratorio en la asignatura de diseño de máquinas y procesos de manufactura.

Se elaboraron los planos detallados de la máquina extrusora de polietileno de baja densidad (LDPE), con base en los procesos de diseño y simulaciones realizadas.

La estructura, el tornillo extrusor y la camisa de la máquina extrusora de polietileno de baja densidad (LDPE), pueden resistir cargas estructurales y térmicas sin verse afectada la integridad estructural y térmica de estos componentes.

Los esfuerzos equivalentes calculados mediante el software de elementos finitos ANSYS Workbench V10.0 indican que la máquina extrusora de polietileno de baja densidad (LDPE), pueden soportar cargas estructurales y térmicas sin inconvenientes con un factor de seguridad ( $\eta$ ) mínimo de 1.98 y con un máximo de 4.26. Esto se debe a que los esfuerzos equivalentes no superan al esfuerzo último de los materiales seleccionados.

Se concluyó que el menor tiempo del procesamiento del material se obtiene en la máxima temperatura de trabajo de la máquina extrusora, a medida que se aumenta las temperaturas en las secciones de la camisa, el tiempo del procesamiento del material disminuye y la velocidad aumenta, quiere decir que a mayor temperatura el material se funde más rápido y así el proceso de extrusión del polietileno de baja densidad (LDPE) sea más veloz.

## RECOMENDACIONES

Cubrir los cables que están conectados a las resistencias eléctricas con un material resistente a altas temperaturas para evitar el daño de ellos mismos, debido a la alta radiación de calor generada por las resistencias cuando la maquina extrusora se encuentra generando el proceso de extrusión.

Cubrir la carcasa protectora de la camisa en su interior con un material que evite la radiación generada por las resistencias eléctricas en el lugar donde esta ubicada la maquina cuando esta se encuentra funcionamiento, para un buen desarrollo del trabajo de los operadores de la maquina en comodidad y para evitar quemaduras que en algunos casos, dependiendo de la temperatura de trabajo puedan ser graves.

Antes de poner en funcionamiento la maquina extrusora de polietileno de baja densidad (LDPE), asegurase que todos los pernos por los cuales se encuentra unida la camisa, estén en su posición y no falte ninguno, ya que esto podría generar fugas durante el proceso de extrusión.

Implementar un sistema de supervisión cada mes, para verificar estado de los pernos que une la camisa y del dado (boquilla), para asegurar un buen proceso de extrusión.

Se puede utilizar polietileno de alta densidad (PEHD), ya que la temperatura del proceso de extrusion de este material (150°C y 200°C), no supera los 250°C, que es la temperatura maxima que se puede utilizar la maquina, para evitar que se afecte la integridad estructural y térmica de los componentes.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] ASKELAND, Donald R. Ciencia e Ingeniería de los Materiales, 3 ed. Internacional Thompson Editores 1998 México.
- [2] MICHAELI, W. H. Greif, H. Kaufmann, Tecnología de los plásticos. Libro de texto con preguntas., F.J Vossebürger Ed. Hanser, 1992.
- [3] OSSWALD, Tim A. Materials Science of polymers for Engineers, 2 ed. Hanser 1996.
- [4] ANGUITA, Ramon. Extrusión de plásticos. 1 ed. Limusa 1977.
- [5] RAMOS, Luís F. Principios básicos de extrusión de plásticos, Limusa 1993 México.
- [6] SCHMID, Steven. Manufactura, Ingeniería y Tecnología, 4ed. Pearson Educación 2002 México.
- [7] ALVAREZ, Maria L. El ABC de los Plásticos, 1 ed. Universidad Iberoamericana.
- [8] MORTON, Jones. Procesamiento de Plásticos, 2 ed. Limusa 2004 México.
- [9] BILLMEYER, Fred W. Ciencias de los Polímeros. 2 ed. Editorial Reverte 2004 España.

## **ANEXOS**

### **ANEXO A. POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD (LDPE)**

#### **INFORMACION DEL MATERIAL**

Familia de termoplásticos comerciales muy similares fabricados en cantidades industriales y en calidades muy variadas. Suelen diferenciarse por su densidad (una buena medida de la cristalinidad), pero desde un punto de vista científico la mejor distinción es el grado de ramificación de las cadenas. El primer polietileno, más tarde llamado PEBD, era y sigue siendo fabricado por un proceso de alta presión que utiliza un iniciador/catalizador de radical libre y es un polímero con un alto grado de ramificación de las cadenas. Con posterioridad, se desarrollaron procesos de baja presión utilizando catalizadores relacionados o Ziegler-Natta que permiten obtener una molécula mucho más lineal y cristalinidades generalmente superiores.

Estos son los polietilenos de alta densidad (PE-HD); esta tecnología se utiliza hoy día para fabricar una familia de Polietilenos (químicamente) conexos y todos son lineales - ULDPE (PE de ultra alta densidad), LLDPE (PE lineal de baja densidad), MDPE (PE de media densidad), HMWPE (PE de alto peso molecular) y UHMWPE (PE de ultra alto peso molecular). Por otra parte, copolímeros de PE (p.ej. con acetato de vinilo o acrilatos) son normalmente polímeros ramificados.

#### **DESCRIPCION GENERAL**

Termoplástico comercial, semicristalino (un 50% típicamente), blanquecino, blando, flexible y tenaz - incluso a temperaturas bajas - con excelentes propiedades eléctricas pero una resistencia a las temperaturas débil. Su resistencia química también es muy buena pero es propenso al

agrietamiento bajo carga ambiental, su resistencia a los rayos UV es mediocre y tiene propiedades de protección débiles, salvo con el agua.

Sus aplicaciones incluyen contenedores, recubrimientos químicamente resistentes, películas (transparentes cuando son delgadas) para el embalaje etc. así como aislamientos de cables eléctricos y núcleos de cables UHF.

### Propiedades Eléctricas

Constante Dieléctrica @1MHz	2,2-2,35
Factor de Disipación a 1 MHz	1-10 x 10 <sup>-4</sup>
Resistencia Dieléctrica ( kV mm <sup>-1</sup> )	27
Resistividad de Volumen ( Ohmcm )	10 <sup>15</sup> -10 <sup>18</sup>
Resistividad Supeficial ( Ohm/sq )	10 <sup>13</sup>

### Propiedades Físicas

Absorción de Agua - en 24 horas ( % )	<0,015
Densidad ( g cm <sup>-3</sup> )	0,92
Indice de Oxígeno Límite ( % )	17
Indice Refractivo	1,51
Inflamabilidad	HB
Resistencia a la Radiación	Aceptable
Resistencia a los Ultra-violetas	Mala

### Propiedades Mecánicas

Alargamiento a la Rotura ( % )	400
Dureza - Rockwell	D41-46 - Shore
Módulo de Tracción ( GPa )	0,1-0,3
Resistencia a la Tracción ( MPa )	5-25
Resistencia al Impacto Izod ( J m <sup>-1</sup> )	>1000

### Propiedades Térmicas

Calor Específico ( J K <sup>-1</sup> kg <sup>-1</sup> )	1900-2300
Coefficiente de Expansión Térmica ( x10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup> )	100-200
Conductividad Térmica a 23C ( W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	0,33
Temperatura de Deflección en Caliente - 0.45MPa ( C )	50
Temperatura de Deflección en Caliente - 1.8MPa ( C )	35

Temperatura Máxima de Utilización ( C )	90-180
Temperatura Mínima de Utilización ( C )	-60

### Resistencia Química

Acidos - concentrados	Buena- Aceptable
Acidos - diluidos	Buena
Alcalís	Buena
Alcoholes	Buena
Cetonas	Buena- Aceptable
Grasas y Aceites	Buena- Aceptable
Halógenos	Aceptable- Buena
Hidro-carbonios halógenos	Aceptable- Buena
Hidrocarburos Aromáticos	Aceptable- Buena

### Propiedades para Polietileno - Baja Densidad Película

Property		Value
Alargamiento a la Rotura	%	100- 700
Factor de Disipación @1MHz		0,0003
Permeabilidad al Agua @25C	$\times 10^{-13} \text{ cm}^3 \cdot \text{cm cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$	70
Permeabilidad al Agua @38C	$\times 10^{-13} \text{ cm}^3 \cdot \text{cm cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$	120
Permeabilidad al Dióxido de Carbono @25C	$\times 10^{-13} \text{ cm}^3 \cdot \text{cm cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$	10
Permeabilidad al Hidrógeno @25C	$\times 10^{-13} \text{ cm}^3 \cdot \text{cm cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$	8
Permeabilidad al Nitrógeno @25C	$\times 10^{-13} \text{ cm}^3 \cdot \text{cm cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$	0,7
Permeabilidad al Oxígeno @25C	$\times 10^{-13} \text{ cm}^3 \cdot \text{cm cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$	2
Resistencia al Desgarro Inicial	$\text{g } \mu\text{m}^{-1}$	1,2- 10,3
Resistencia Dieléctrica a 25 $\mu\text{m}$ de grosor	$\text{kV mm}^{-1}$	200
Temperatura de Sellado en Caliente	C	120- 204

## **ANEXO B. MANUAL DE MANTENIMIENTO.**

Este manual contiene 10 recomendaciones para el buen mantenimiento de la maquina y sus componentes,ademas para que asi, siempre esten en optimas condiciones.

Los pasos para un buen mantenimiento de la maquina extrusora son:

- 1- Mantenga simple bien engrasado la cadena y sus piñones, Un tiempo adecuado para este proceso de engrasamiento es de 80 dias o 1500 horas de trabajo, en caso de que por rozamiento,friccion o otra anomalia no posea grasa en ella se debe lubricar inmediatamente con GRASA LITIO EP.



- 2- Mantener templada la cadena para evitar daños en ella y sus elementos de giro o cuñas.
- 3- Mantener los ejes del motor y de la maquina alineados. Revisar alineacion cada vez q se realice un desarme y arme de la maquina.

- 4- Al sacar el tornillo sin fin de la camisa, se debe limpiar de residuos de material que quedan despues de un proceso.



- 5- Revisar contactos en el tablero de control para evitar daños en la configuracion ON/OFF.



- 6- No dejar la tolva en su pocision de extrusion, si no en posicion desfuncional para evitar que se introduzcan materiales no apropiados diferentes al polietileno.



7- Engrasar rodamientos de bola y axial para su buen funcionamiento y mantener su estado optimo.



8- Limpiar de polvo y mugre con un trapo humedo de varsol o gasolina, pero solo la estructura y sus tapas protectoras.

9- Mantener desconectado el toma corriente si la maquina no va a ser utilizada.

10-Si se va a realizar un desarme de la maquina es recomendable limpiar la camisa introduciendola en gasolina para mantenerla limpia y libre de residuos.

## ANEXO C. ANALISIS ESTADISTICO DE LA TOMA DE DATOS.

La media aritmética o promedio de los valores esta dado por la formula:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum (X_i) \quad \text{con } X_i \quad (i= 1,2,3,\dots,n)$$

La varianza esta dada una constante que representa una medida de dispersión media de una variable aleatoria  $x$ , respecto a su valor medio o esperado. Puede interpretarse como medida de "variabilidad" de la variable y esta dada por la formula:

$$S^2(x) = \frac{1}{n-1} \sum (x_i - \bar{x})^2$$

Error: El error de la medida es la desviación que presentan las medidas prácticas de una variable de proceso con relación a las medidas teóricas o ideales, como resultado de las imperfecciones de los aparatos y de las variables parásitas que afectan al proceso.

$$e = \frac{S}{\sqrt{n-1}}$$

Porcentaje de error es la diferencia entre la medición correcta y la obtenida. Muchas veces el error se expresa en porcentaje de la medición correcta o también como un porcentaje de todo el rango de medición del instrumento utilizado y esta dado por la siguiente formula:

$$(\%)e = \frac{S}{\bar{x} \sqrt{n-1}} * 100$$

### PRUEBA 1

*Determinación del porcentaje de error en la toma de tiempos.*

	Tiempo1(min)	Tiempo2(min)	Tiempo3(min)	Tiempo Total (min)
TEMPERATURA 1 (100 - 140) °c	14.50	16.33	15.10	15.31

$\bar{x}$  = 15.31 seg  
 $S$  = 0.8703  
 $e$  = 0.615  
 $(\%)e$  = 4.01%

### PRUEBA 2

	Tiempo1(min)	Tiempo2(min)	Tiempo3(min)	Tiempo Total (min)
TEMPERATURA 2 (110 - 150) °c	15.10	16.30	13.13	14.44

$\bar{x}$  = 14.44 seg  
 $S$  = 2.80  
 $e$  = 1.98  
 $(\%)e$  = 13.7%

### PRUEBA 3

	Tiempo1(min)	Tiempo2(min)	Tiempo3(min)	Tiempo Total (min)
TEMPERATURA 3 (120 - 160) °c	13.06	12.10	12.20	12.45

$\bar{x}$  = 12.45 seg  
 $S$  = 0.278  
 $e$  = 0.1965  
 $(\%)e$  = 1.5 %

**PRUEBA 4**

	Tiempo1(min)	Tiempo2(min)	Tiempo3(min)	Tiempo Total (min)
<i>TEMPERATURA 4 (130 - 170) °c</i>	11.59	11.48	11.34	<i>11.48</i>

$$\bar{x} = 11.48 \text{ seg}$$

$$S = 0.2565$$

$$e = 0.1873$$

$$(\%)e = 1.6\%$$

**PRUEBA 5**

	Tiempo1(min)	Tiempo2(min)	Tiempo3(min)	Tiempo Total (min)
<i>TEMPERATURA 5 (140 - 180)°c</i>	10.01	10.38	10.05	<i>10.14</i>

$$\bar{x} = 10.14 \text{ seg}$$

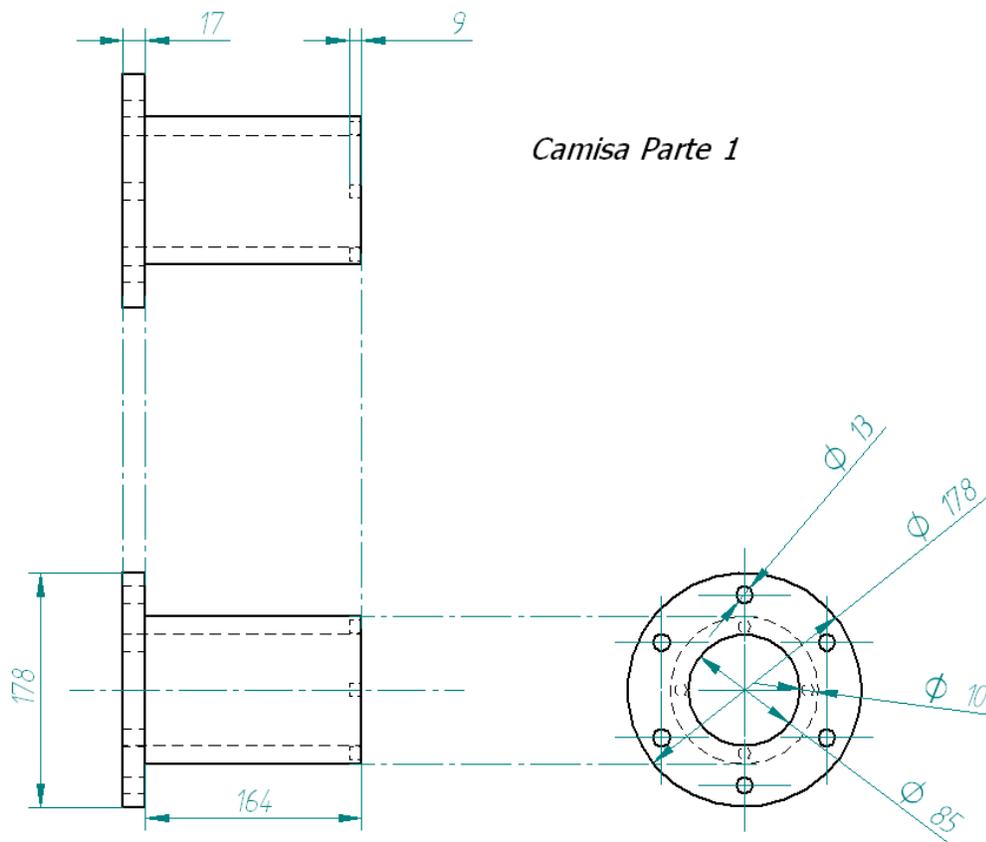
$$S = 0.0413$$

$$e = 2.92E-02$$

$$(\%)e = 0.28\%$$



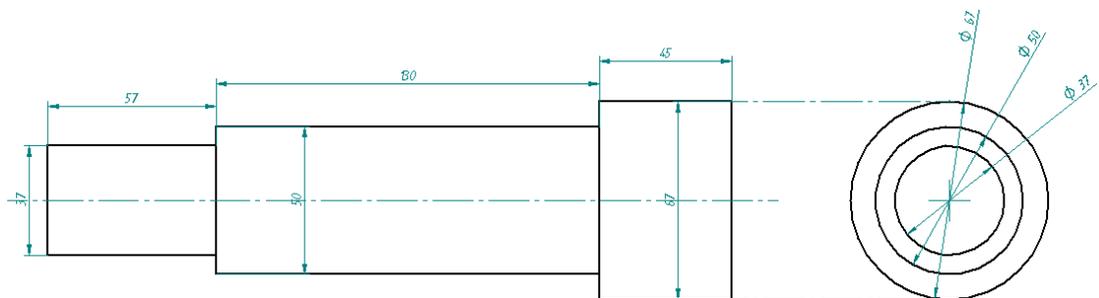
# CAMISA PARTE 1



	Nombre	Fecha
Dibujó	Diego Galvis Florez	Octubre de 2009
	Jorge Rubio Cordon	Camisa Parte 1
Material	Acero 8630 AISI	
Escala	2 : 1	

## EJE CAMISA PARTE 1

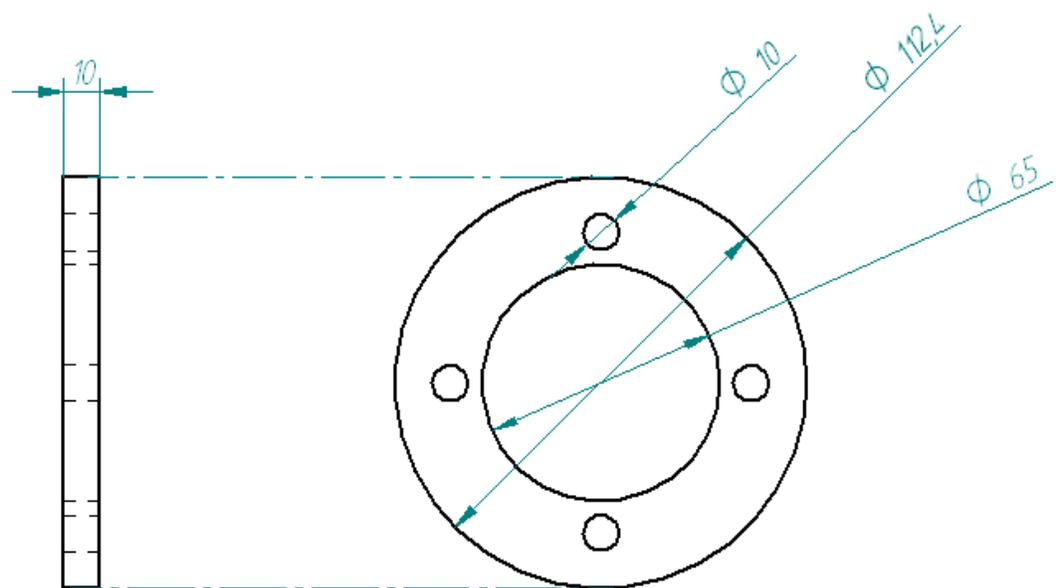
*Eje Camisa 1*



	Nombre	Fecha
Dibujó	Diego Galvis Florez	Octubre de 2009
	Jorge Rubio Cordon	
Material	Acero 8630 AISI	Eje Camisa Parte 1
Escala	2 : 1	

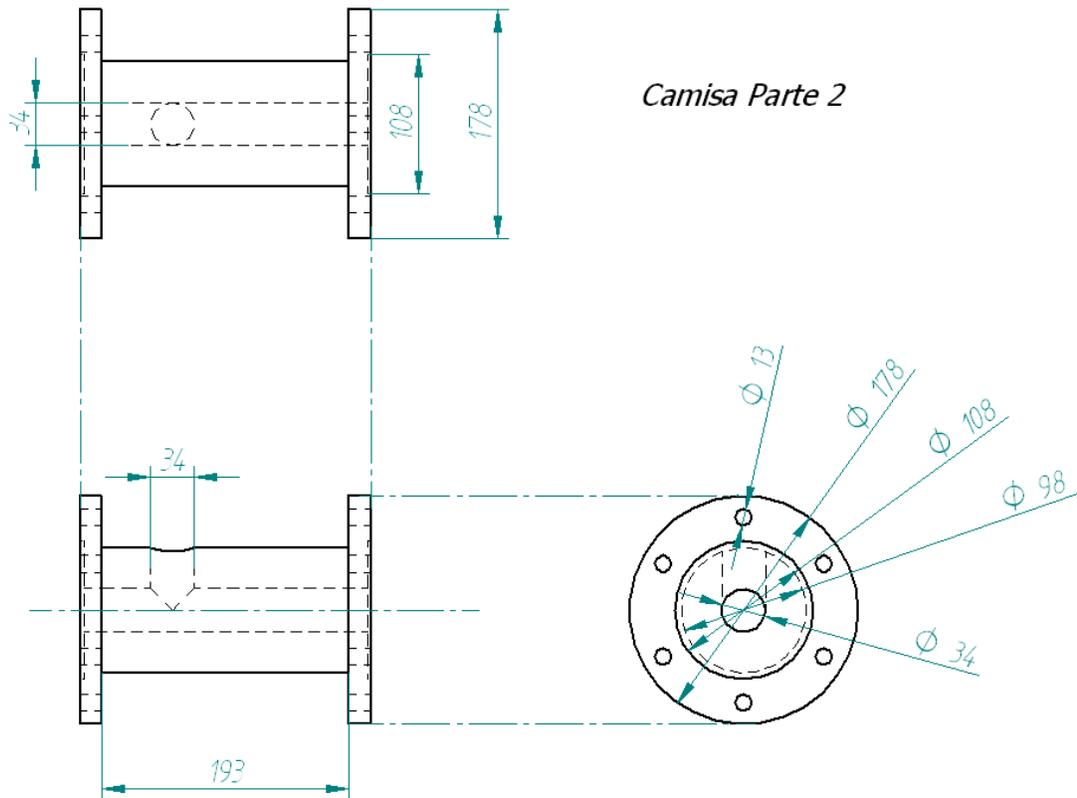
## TAPA CAMISA PARTE 1

*Tapa Camisa Parte 1*



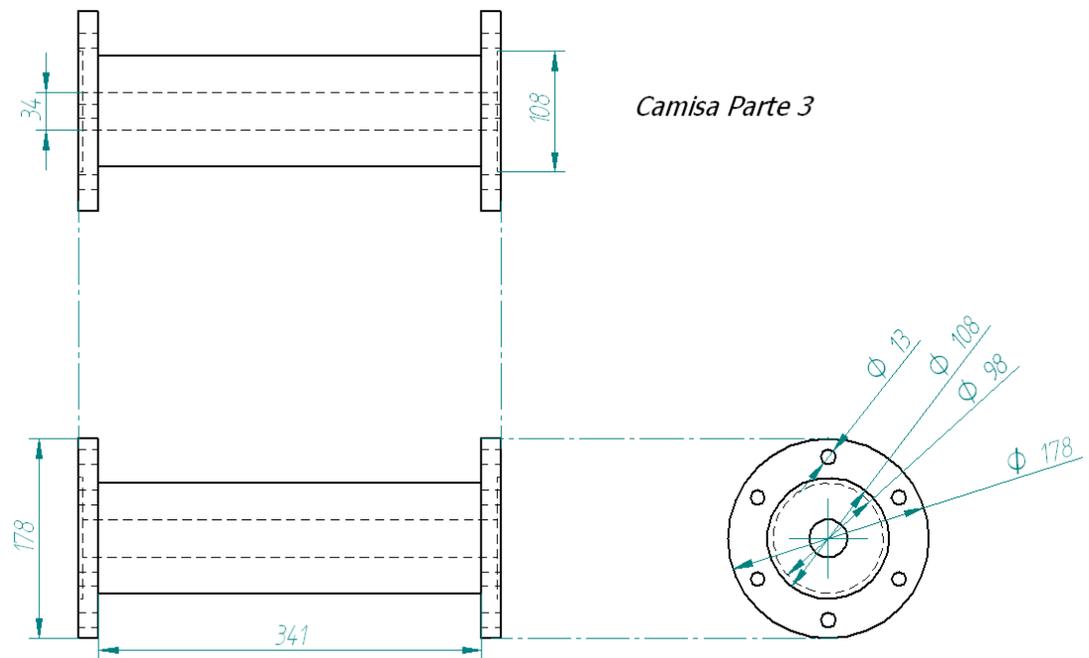
	Nombre	Fecha
Dibujó	Diego Galvis Florez	Octubre de 2009
	Jorge Rubio Cordon	
Material	Acero 8630 AISI	Tapa Camisa Parte 1
Escala	2 : 1	

## CAMISA PARTE 2



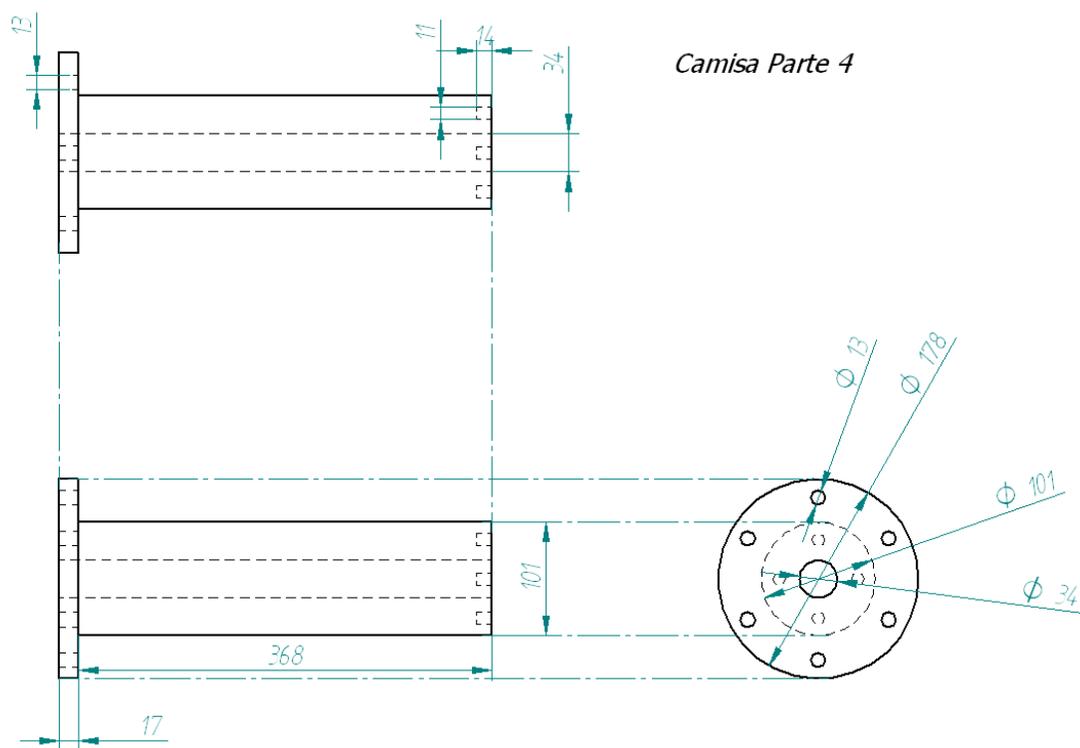
	Nombre	Fecha
Dibujó	Diego Galvis Florez	Octubre de 2009
	Jorge Rubio Cordon	
Material	Acero 8630 AISI	Camisa Parte 2
Escala	2 : 1	

### CAMISA PARTE 3



	Nombre	Fecha
Dibujó	Diego Galvis Florez	Octubre de 2009
	Jorge Rubio Cordon	
Material	Acero 8630 AISI	Camisa Parte 3
Escala	2 : 1	

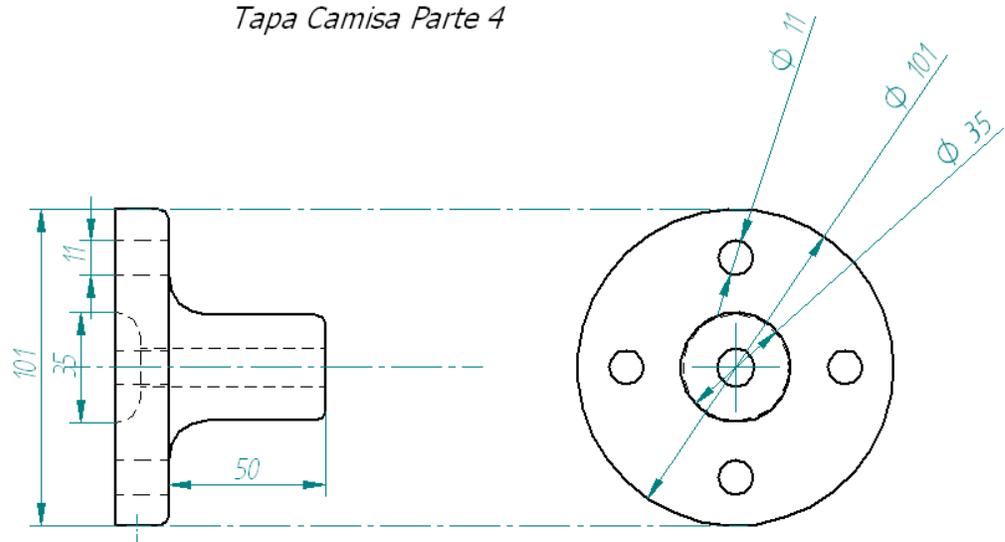
# CAMISA PARTE 4



	Nombre	Fecha
Dibujó	Diego Galvis Florez	Octubre de 2009
	Jorge Rubio Cordon	
Material	Acero 8630 AISI	Camisa Parte 4
Escala	2 : 1	

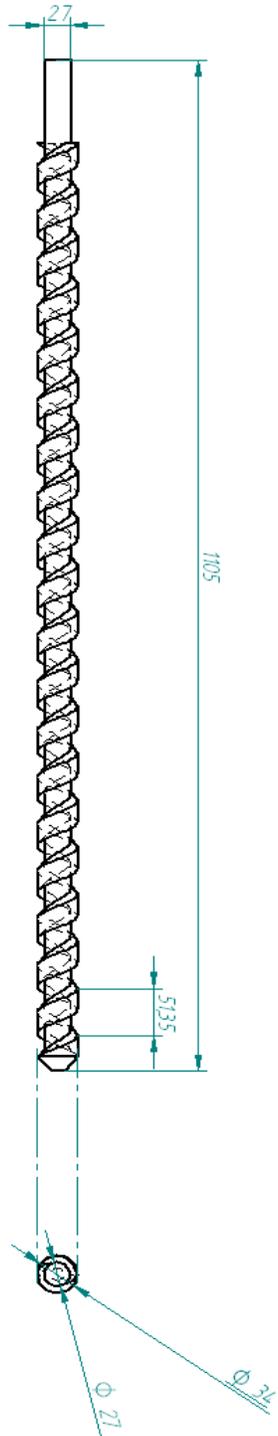
## TAPA CAMISA PARTE 4

*Tapa Camisa Parte 4*



	Nombre	Fecha
Dibujó	Diego Galvis Florez	Octubre de 2009
	Jorge Rubio Cordon	
Material	Acero 8630 AISI	Tapa Camisa Parte 4
Escala	2 : 1	

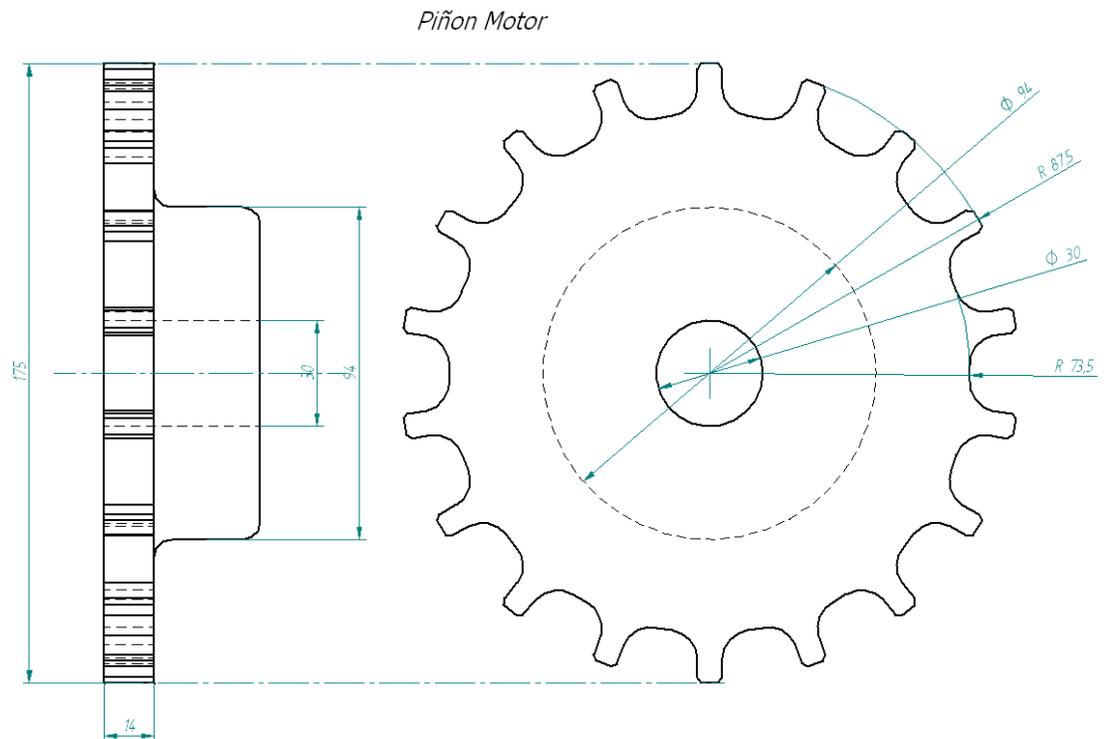
# TORNILLO SIN FIN



*Sin Fin*

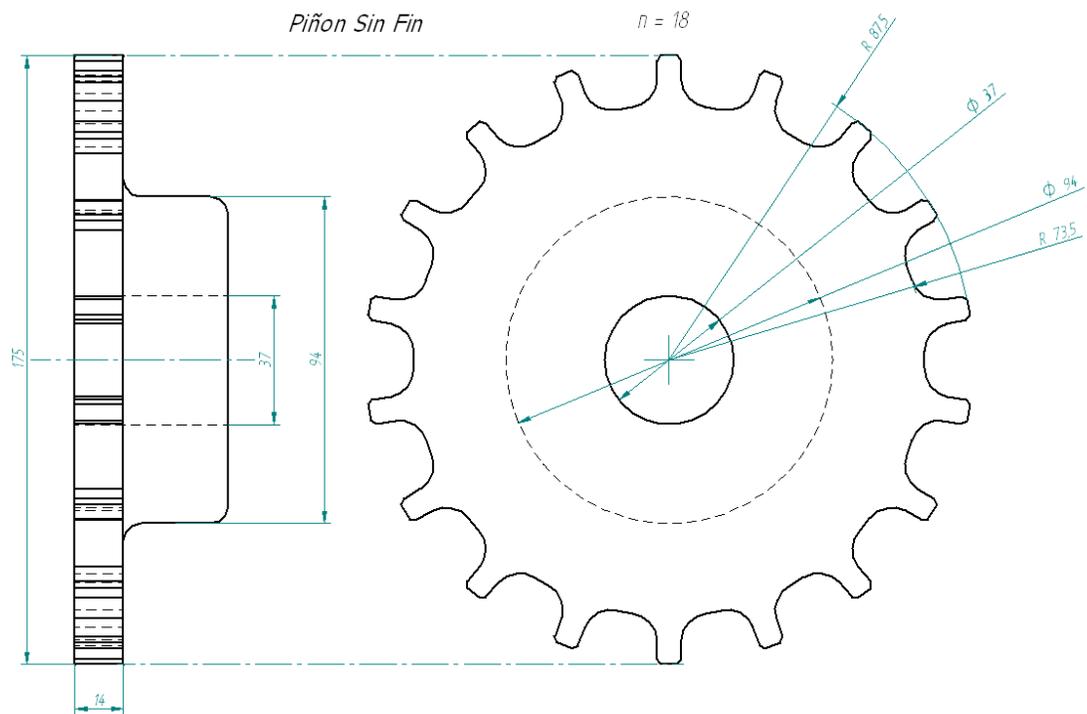
	Nombre	Fecha
Dibujó	Diego Galvis Florez	Octubre de 2009
	Jorge Rubio Cordon	
Material	Acero 4140 AISI	Tornillo Sin Fin
Escala	2 : 1	

## PIÑÓN MOTOR



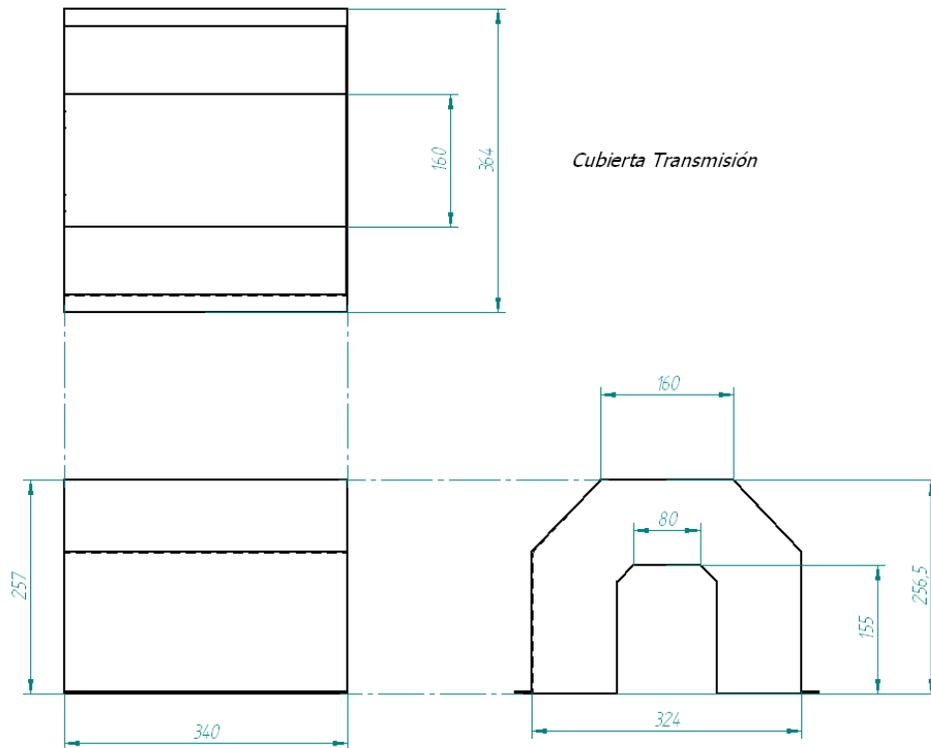
	Nombre	Fecha
Dibujó	Diego Galvis Florez	Octubre de 2009
	Jorge Rubio Cordon	
Material	Acero 1018 AISI	Piñon Motor
Escala	2 : 1	

# PIÑÓN SIN FIN



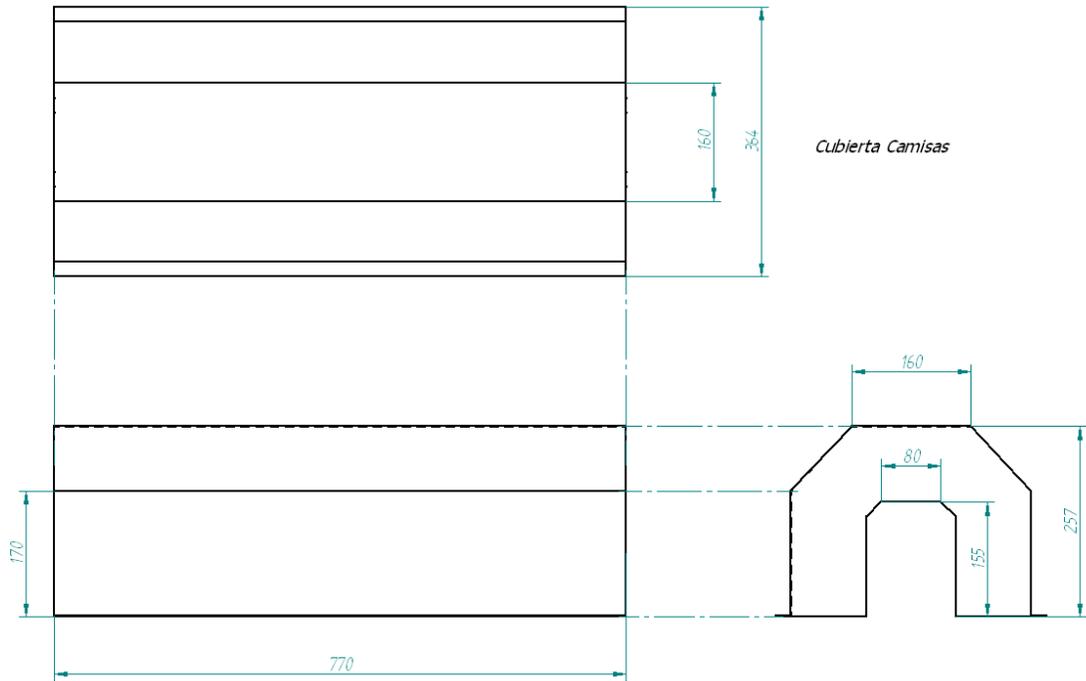
	Nombre	Fecha
Dibujó	Diego Galvis Florez	Octubre de 2009
	Jorge Rubio Cordon	
Material	Acero 1018 AISI	Piñon Sin Fin
Escala	2 : 1	

## CUBIERTA TRANSMISION



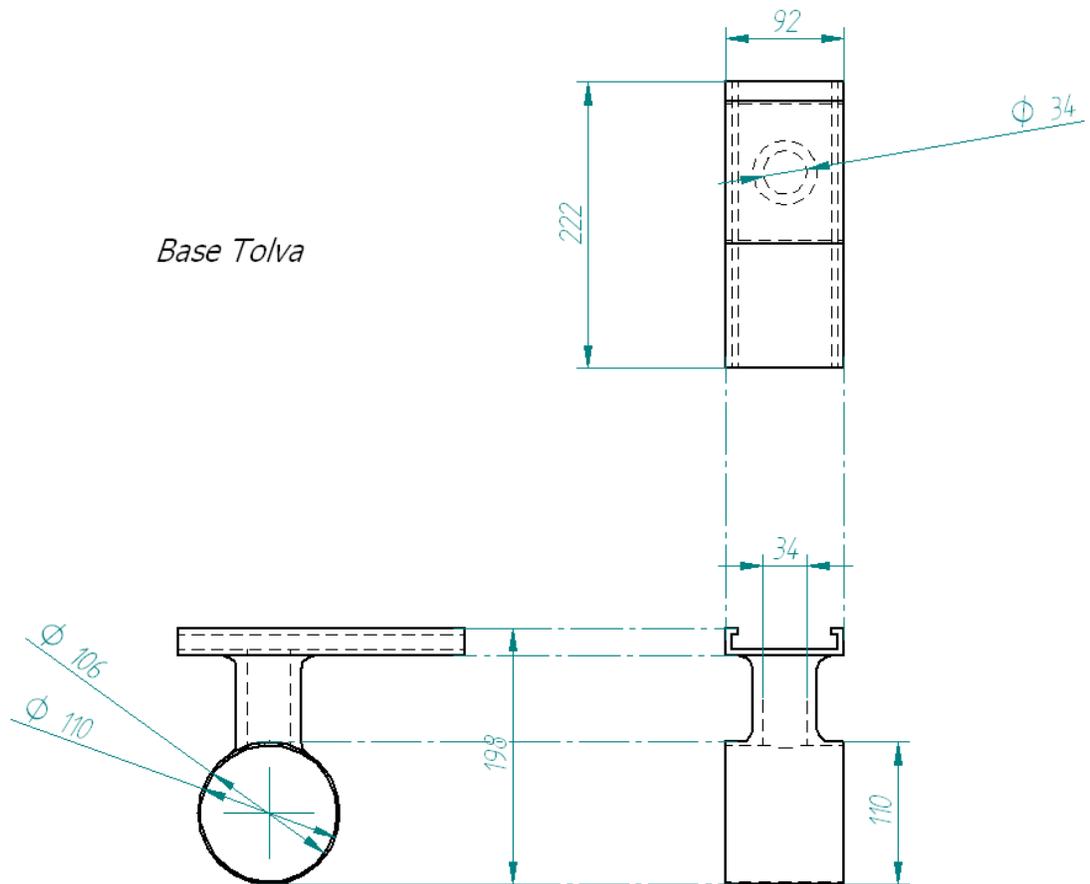
	Nombre	Fecha
Dibujó	Diego Galvis Florez	Octubre de 2009
	Jorge Rubio Cordon	
Material	Acero 420 AISI	Cubierta Transmision
Escala	2 : 1	

## CUBIERTA CAMISAS



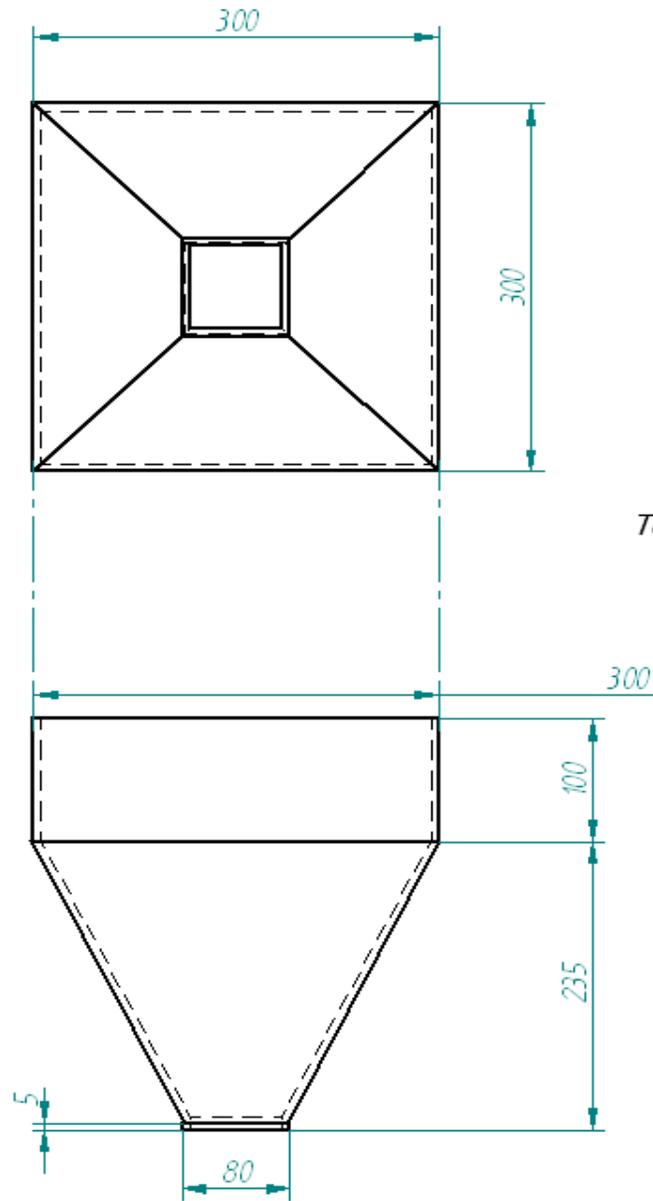
	Nombre	Fecha
Dibujó	Diego Galvis Florez	Octubre de 2009
	Jorge Rubio Cordon	
Material	Acero 420 AISI	Cubierta Camisas
Escala	2 : 1	

# BASE TOLVA



	Nombre	Fecha
Dibujó	Diego Galvis Florez	Octubre de 2009
	Jorge Rubio Cordon	
Material	Acero 420 AISI	Base Tolva
Escala	2 : 1	

# TOLVA



*Tolva*

	Nombre	Fecha
Dibujó	Diego Galvis Florez	Octubre de 2009
	Jorge Rubio Cordon	
Material	Acero 420 AISI	Tolva
Escala	2 : 1	