



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas**

**Carrera de Ingeniería en Mecatrónica**

**MÁQUINA PARA SUAVIZAR EL BORDE DEL ALA DE SOMBREROS DE FIELTRO  
DE LANA PREVIO AL PROCESO DE COSIDO PARA PEQUEÑAS EMPRESAS DE  
SOMBREROS ARTESANALES**

**Trabajo de grado previo a la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica**

Autor:

Artos Antamba Bryan Wilson

Director:

MSc. Valencia Aguirre Fernando Vinicio

Ibarra - Ecuador

2024



**Universidad Técnica del Norte**  
**Biblioteca Universitaria**  
**Autorización de uso y publicación**  
**a favor de la Universidad Técnica del Norte**

**1. Identificación de la Obra**

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

<b>Datos del Autor</b>			
Cédula de identidad	1005346810		
Apellidos y Nombres	Artos Antamba Bryan Wilson		
Dirección	San Juan de Ilumán, Barrio Santo Domingo, entre Bolivar e Intiñan		
Email	bwartosa@utn.edu.ec		
Teléfono fijo		Teléfono móvil	0990479390
<b>Datos de la Obra</b>			
Tema	Máquina para suavizar el borde del ala de sombreros de fieltro de lana previo al proceso de cosido para pequeñas empresas de sombreros artesanales		
Apellidos y Nombres	Artos Antamba Bryan Wilson		
Fecha	2 de febrero de 2024		
Programa	Pregrado		
Título por el que opta	Ingeniero en Mecatrónica		
Director	MSc. Valencia Aguirre Fernando Vinicio		

## 2. CONSTANCIAS

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

Ibarra, a los 02 días del mes de febrero de 2024

### EL AUTOR:



(Firma).....

Nombre: Artos Antamba Bryan Wilson



**Universidad Técnica del Norte**  
**Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas**  
**Certificación del director del trabajo de grado**

En mi calidad de director del trabajo de grado “Máquina para suavizar el borde del ala de sombreros de fieltro de lana previo al proceso de cosido para pequeñas empresas de sombreros artesanales”, presentado por el egresado Artos Antamba Bryan Wilson, que opta por el título de ingeniero en Mecatrónica, certifico que el mencionado proyecto fue realizado bajo mi dirección.

Ibarra, 02 de febrero de 2024

MSc. Valencia Aguirre Fernando Vinicio  
Director de Tesis

## **Dedicatorias**

Dedico el presente trabajo a Dios, a mis padres por su amor, sacrificios y apoyo durante toda mi vida y en el transcurso de mis estudios sin el cual esto no hubiese sido posible.

A mis hermanos por su apoyo y compañía, siempre han estado ahí para mí, en los buenos y malos momentos.

A mis amigos, por su amistad y momentos que nunca olvidaré, han sido una fuente de inspiración y motivación para mí.

Bryan

## **Agradecimientos**

Quiero agradecer a todas las personas que conocí en mi vida universitaria en la Universidad Técnica del Norte que de una u otra manera me apoyaron y brindaron muchos momentos felices en esta etapa de mi vida. A los profesores por brindar su tiempo, conocimiento y dedicación en mi carrera profesional. También agradezco de forma especial al MSc. Fernando Valencia y MSc. Milton Gavilanez por su orientación y apoyo durante este proyecto. Su confianza y paciencia me han permitido alcanzar buenos resultados.

# Índice general

<b>Autorización de uso y publicación a favor de la Universidad Técnica del Norte</b>	<b>II</b>
<b>Declaración</b>	<b>III</b>
<b>Certificación del director del trabajo de grado</b>	<b>IV</b>
<b>Dedicatorias</b>	<b>V</b>
<b>Agradecimientos</b>	<b>VI</b>
<b>Índice general</b>	<b>VII</b>
<b>Índice de figuras</b>	<b>XIII</b>
<b>Índice de tablas</b>	<b>XVII</b>
<b>Resumen</b>	<b>XIX</b>
<b>Abstract</b>	<b>1</b>
<b>Introducción</b>	<b>2</b>
<b>I. Marco referencial</b>	<b>7</b>
1.1. Antecedentes . . . . .	7
1.2. Marco teórico . . . . .	9
1.2.1. El sombrero de lana en el contexto cultural ecuatoriano . . . . .	9

1.2.2.	Pueblos indígenas en la sierra . . . . .	9
1.2.3.	Vestimenta del chagra . . . . .	10
1.2.4.	Moda actual . . . . .	10
1.2.5.	Definiciones en el contexto del sombrero de paño . . . . .	11
	¿Qué es un proceso artesanal? . . . . .	11
	¿Qué es el fieltro de lana? . . . . .	12
	El sombrero . . . . .	12
	Metodología de diseño de productos . . . . .	13
	Pensamiento de diseño . . . . .	13
	Diseño para la manufactura y ensamble (DFMA) . . . . .	14
1.2.6.	Herramientas y materiales en la confección del sombrero de paño . . . . .	14
1.2.7.	Proceso de confección artesanal del sombrero de paño . . . . .	17
1.2.8.	Proceso de suavizado del borde del ala del sombrero . . . . .	18
1.2.9.	El diseño mecánico . . . . .	19
	Intercambio entre piezas y diseño para el desmontaje . . . . .	19
	Condiciones de movilidad . . . . .	19
	Condiciones de transporte . . . . .	20
1.2.10.	Máquinas dobladoras de textiles en la industria . . . . .	20
1.2.11.	Máquina dobladora de tejido artesanal . . . . .	21
1.2.12.	Máquina dobladora y cortadora de tela . . . . .	21
1.2.13.	Prototipo de máquina dobladora de tela . . . . .	22
1.2.14.	Bosquejos del diseño de la máquina . . . . .	23
<b>II.</b>	<b>Marco metodológico</b>	<b>24</b>
2.1.	Análisis de la encuesta sobre los parámetros de correcto suavizado . . . . .	24
2.1.1.	Parámetros a considerar . . . . .	24
2.2.	Especificaciones de diseño . . . . .	25
2.2.1.	Fuente de energía . . . . .	26
2.2.2.	Dimensiones de la máquina . . . . .	26
2.2.3.	Modo de operación . . . . .	27

2.2.4.	Seguridad . . . . .	27
2.2.5.	Enfoque ergonómico . . . . .	27
2.3.	Selección del motor . . . . .	28
2.3.1.	Velocidad lineal . . . . .	28
2.3.2.	Velocidad angular . . . . .	30
2.3.3.	Potencia y par motor . . . . .	32
2.3.4.	Diagrama funcional . . . . .	35
	Voz del cliente . . . . .	35
	Voz del ingeniero . . . . .	36
	Requisitos del motor . . . . .	37
	Nivel cero . . . . .	37
	Nivel uno . . . . .	38
	Funciones primarias (Nivel 1) . . . . .	38
	Nivel dos . . . . .	39
	Funciones secundarias (Nivel 2) . . . . .	39
2.3.5.	Alternativas de selección . . . . .	40
2.3.6.	Características técnicas . . . . .	43
2.3.7.	Evaluación de las alternativas . . . . .	43
	Alterativas ponderadas y selección del motor . . . . .	44
2.4.	Transmisión de potencia . . . . .	45
2.4.1.	Potencia de diseño . . . . .	45
2.4.2.	Tipo de perfil de correa . . . . .	46
2.4.3.	Relación de transmisión . . . . .	47
2.4.4.	Polea motriz . . . . .	48
2.4.5.	Polea conducida . . . . .	49
2.4.6.	Distancia entre centros . . . . .	50
2.4.7.	Longitud y selección de la correa . . . . .	52
2.4.8.	Ángulos de contacto . . . . .	54
2.4.9.	Tensiones de la correa . . . . .	55

	Coeficiente de rozamiento entre polea y correa . . . . .	57
	Ángulo del trapecio que forma la sección de la correa . . . . .	58
	Cálculo de las tensiones de la correa . . . . .	58
2.4.10.	Vida útil de la correa . . . . .	59
2.5.	Diseño del eje . . . . .	63
2.5.1.	Cálculo de las reacciones . . . . .	63
	Reacciones en el plano X - Y . . . . .	65
	Reacciones en el plano X - Z . . . . .	66
	Equilibrio rotacional . . . . .	67
2.5.2.	Aspectos a considerar . . . . .	68
2.5.3.	Determinación del tipo de esfuerzo . . . . .	69
2.5.4.	Diagrama de fuerza cortante y momento flector en el plano X-Y . . . . .	69
2.5.5.	Diagrama de fuerza cortante y momento flector en el plano X-Z . . . . .	70
2.5.6.	Diagrama del momento torsor . . . . .	71
2.5.7.	Propiedades del material del eje . . . . .	72
2.5.8.	Concentradores de esfuerzos . . . . .	73
2.5.9.	Sensibilidad a la muesca . . . . .	73
2.5.10.	Concentradores de esfuerzos para cargas cíclicas . . . . .	74
2.5.11.	Esfuerzos normales y cortantes mínimos y máximos . . . . .	75
2.5.12.	Esfuerzos alternantes y medios . . . . .	77
2.5.13.	Teoría de la máxima energía de distorsión (Criterio de Von Mises) . . . . .	78
2.5.14.	Límite de resistencia a la fatiga y resistencia a la fatiga a vida finita . . . . .	79
2.5.15.	Factores de Marin . . . . .	81
2.5.16.	Cálculo del límite de resistencia a la fatiga real y para la vida finita . . . . .	85
2.5.17.	Criterios de falla a la fatiga de Goodman . . . . .	86
2.5.18.	Criterios de falla a la fatiga de Soderberg . . . . .	87
	Selección del eje . . . . .	88
2.6.	Selección de rodamientos . . . . .	88
2.6.1.	Consideraciones para la selección . . . . .	88

2.6.2.	Selección del tipo de rodamiento . . . . .	89
2.6.3.	Especificaciones del rodamiento . . . . .	90
2.6.4.	Factor de seguridad a carga estática . . . . .	92
2.6.5.	Vida útil . . . . .	93
2.6.6.	Vida nominal SKF . . . . .	95
2.6.7.	Rodamiento seleccionado . . . . .	100
2.7.	Diseño de resortes . . . . .	101
2.7.1.	Tipo de resorte y su función en la máquina . . . . .	101
2.7.2.	Consideraciones de diseño . . . . .	102
2.7.3.	Cálculo de la precarga . . . . .	102
2.7.4.	Cálculo de la carga de diseño . . . . .	104
2.7.5.	Material del resorte . . . . .	105
2.7.6.	Suposición de diámetro de alambre . . . . .	106
2.7.7.	Índice del resorte . . . . .	107
2.7.8.	Diámetro medio . . . . .	109
2.7.9.	Factor cortante directo . . . . .	109
2.7.10.	Resistencia a la tracción del alambre . . . . .	110
2.7.11.	Resistencia cortante . . . . .	111
2.7.12.	Constante del resorte . . . . .	111
2.7.13.	Número de espiras activas . . . . .	112
2.7.14.	Tipo de extremo del resorte . . . . .	113
2.7.15.	Longitud sólida . . . . .	114
2.7.16.	Longitud de trabajo . . . . .	115
2.7.17.	Altura de choque . . . . .	115
2.7.18.	Longitud inicial . . . . .	116
2.7.19.	Longitud libre . . . . .	117
2.7.20.	Longitud de cierre . . . . .	117
2.7.21.	Fuerza de cierre . . . . .	118
2.7.22.	Esfuerzo cortante máximo . . . . .	118

2.7.23. Factor de seguridad . . . . .	119
2.7.24. Resumen del resorte diseñado . . . . .	120
<b>III. Resultados</b>	<b>121</b>
3.1. Componentes de la máquina . . . . .	121
3.2. Tiempos de funcionamiento . . . . .	124
3.2.1. Sombreros de paño de 2 milímetros de espesor . . . . .	126
3.2.2. Sombreros de paño de 3 milímetros de espesor . . . . .	127
3.3. Error en el proceso . . . . .	128
3.4. Eficiencia . . . . .	130
3.4.1. Eficiencia en los sombreros de 2 milímetros de espesor . . . . .	130
3.4.2. Eficiencia en los sombreros de 3 milímetros de espesor . . . . .	130
3.5. Análisis de resultados . . . . .	131
3.5.1. Conformidad del artesano con el suavizado . . . . .	131
3.6. Análisis estático . . . . .	132
3.6.1. Cargas en la estructura . . . . .	132
3.6.2. Resultado de desplazamiento . . . . .	133
3.6.3. Resultado del factor de seguridad . . . . .	134
3.7. Ensamble de la máquina . . . . .	134
3.8. Costos de implementación . . . . .	139
3.8.1. Costos directos . . . . .	139
3.8.2. Costos indirectos . . . . .	140
3.8.3. Costo total . . . . .	140
3.8.4. Análisis de rentabilidad . . . . .	140
<b>IV. Conclusiones, Recomendaciones y Trabajo a futuro</b>	<b>142</b>
4.1. Conclusiones . . . . .	142
4.2. Recomendaciones . . . . .	144
4.3. Trabajo a futuro . . . . .	145

0.1. Anexo 1: Encuesta sobre los parámetros de correcto suavizado del borde del ala del sombrero . . . . .	151
0.2. Anexo 2: Manual de operación del motor . . . . .	155
0.3. Anexo 3: Manual de poleas en V de Intermec S.A. . . . .	158
0.4. Anexo 4: Referencia de la correa seleccionada en el mercado . . . . .	163
0.5. Anexo 5: Propiedades del acero inoxidable AISI 4340 . . . . .	165
0.6. Anexo 6: Rodamientos de inserción rígidos de bolas SKF . . . . .	168
0.7. Anexo 7: Encuesta de satisfacción sobre el suavizado del ala de los sombreros .	170
0.8. Anexo 8: Planos mecánicos . . . . .	172
0.9. Anexo 9: Manual de usuario . . . . .	188

# Índice de figuras

1.1. Vestimenta tradicional del pueblo Kayambi . . . . .	9
1.2. Vestimenta del chagra ecuatoriano . . . . .	10
1.3. Sombreros de paño con detalles de totora en la moda actual A. Sombrero de copa plana con adorno, B. Sombrero tipo campana con inspiración del Antisana, C. Sombrero de copa cilíndrica y ala redonda, D. Sombrero de copa semi elíptica y ala redonda con inspiración en la vegetación andina, E. Sombrero con ala asimétrica con inspiración del Antisana. . . . .	11
1.4. Fieltro . . . . .	12
1.5. Sombrero de paño . . . . .	12
1.6. Diagrama de flujo de la Metodología de diseño . . . . .	13
1.7. Suavizado artesanal y dobléz del borde del ala . . . . .	18
1.8. Dobladora de tejido textil artesanal . . . . .	21
1.9. Dobladora y cortadora de tela . . . . .	22
1.10. Prototipo de máquina dobladora de tela . . . . .	22
1.11. Bosquejos de la máquina suavizadora. A) Vista de planta, B) Vista isométrica, C) Vista frontal, D) Vista lateral derecha. . . . .	23
2.1. Partes de la máquina suavizadora del borde del ala de sombreros . . . . .	25
2.2. Mueble de altura adaptable. A) Indicación de los pernos, B) Mueble con mayor altura, C) Mueble con menor altura. . . . .	28
2.3. Medición del perímetro del ala del sombrero . . . . .	29
2.4. Radio del suavizador superior. A)Vista isométrica, B)Vista frontal . . . . .	31

2.5. Inercia inicial del mecanismo de suavizado . . . . .	32
2.6. Diagrama funcional de nivel cero del motor . . . . .	37
2.7. Diagrama funcional de nivel uno del motor . . . . .	38
2.8. Diagrama funcional de nivel dos del motor . . . . .	39
2.9. Motor y controlador electrónico . . . . .	45
2.10. Factores de servicio típicos . . . . .	45
2.11. Correas clásicas . . . . .	47
2.12. Diámetro exterior de la polea motriz . . . . .	48
2.13. Tabla de diámetros exteriores recomendados . . . . .	49
2.14. Polea conducida . . . . .	50
2.15. Distancia entre los centros de las poleas . . . . .	51
2.16. Referencia de la correa (Anexo 4) . . . . .	53
2.17. Correa de referencia A46 . . . . .	53
2.18. Ángulos de contacto en las poleas . . . . .	54
2.19. Tensiones de la correa . . . . .	55
2.20. Coeficientes de fricción para diferentes materiales de poleas y correas . . . . .	57
2.21. Ángulo del trapecio de la correa tipo A . . . . .	58
2.22. Parámetros de durabilidad para algunas secciones de correas en V . . . . .	60
2.23. Parámetros de tensión-pasada para correas en V . . . . .	61
2.24. Reacciones y tensiones en el eje . . . . .	63
2.25. Cargas en el plano X - Y . . . . .	65
2.26. Cargas en el plano X - Z . . . . .	66
2.27. Relación de esfuerzo - tiempo de tipo alternante . . . . .	69
2.28. Diagrama de carga cortante y momento flector en el plano X-Y . . . . .	70
2.29. Diagrama de carga cortante y momento flector en el plano X-Z . . . . .	71
2.30. Diagrama del momento torsor . . . . .	72
2.31. Resistencias requeridas del acero AISI 4340 (Anexo 5) . . . . .	72
2.32. Sensibilidad a la muesca $q$ para aceros y aluminios . . . . .	73
2.33. Sensibilidad a la muesca $q_{cortante}$ para aceros y aluminios . . . . .	74

2.34. Diagrama S-N a partir de resultados de ensayos a la fatiga axial invertidos . . . .	80
2.35. Parámetros en el factor de la condición de acabado superficial de Marin . . . . .	82
2.36. Efecto de la temperatura de operación en la resistencia a la tensión del acero . .	84
2.37. Factores de confiabilidad $k_e$ correspondientes a 8 desviaciones estándar porcentuales del límite de resistencia a la fatiga . . . . .	85
2.38. Carga radial en el rodamiento . . . . .	89
2.39. Ángulos de contacto de diversos tipos de rodamientos . . . . .	89
2.40. Rodamiento de inserción rígido de bolas . . . . .	90
2.41. Nomenclatura del rodamiento de inserción rígido de bolas . . . . .	91
2.42. Tabla de rodamientos de inserción rígidos de bolas (Anexo 6) . . . . .	91
2.43. Capacidad de carga estática básica seleccionada (Anexo 6) . . . . .	93
2.44. Factores de cálculo para rodamientos de inserción rígidos de bolas . . . . .	94
2.45. Factor de ajuste de la vida útil $a_1$ . . . . .	96
2.46. Valores orientativos para el factor $n_c$ para distintos niveles de contaminación . .	96
2.47. Diagrama de la temperatura de viscosidad según los grados de viscosidad de la ISO . . . . .	98
2.48. Cálculo de la viscosidad nominal $v_1$ . . . . .	99
2.49. Factor $a_{SKF}$ para el rodamiento seleccionado . . . . .	100
2.50. Fuerza de compresión de los resortes . . . . .	101
2.51. Enumeración de las piezas de la parte inferior del mecanismo de suavizado . .	103
2.52. Vista de sección del Diagrama de Cuerpo Libre del resorte a compresión . . . .	105
2.53. Materiales comunes de alambre para resortes . . . . .	106
2.54. Diámetros de alambre disponibles por tipo de alambre . . . . .	107
2.55. Parámetros dimensionales de los resortes helicoidales de compresión . . . . .	108
2.56. Coeficientes y exponentes para el cálculo de la resistencia a la tracción del alambre	110
2.57. Constantes físicas de diferentes materiales . . . . .	112
2.58. Estilos de tratamientos en los extremos de la espiral de resortes helicoidales de compresión . . . . .	113
2.59. Varias longitudes en diferentes etapas del resorte helicoidal de compresión . . .	114

2.60. Esfuerzos combinados cortante directo y cortante por torsión . . . . .	118
3.1. Espesores del paño de los sombreros. A) Espesor de 2 (mm) y B) Espesor de 3 (mm) . . . . .	124
3.2. Sombreros para las pruebas de funcionamiento . . . . .	125
3.3. Operación de la máquina de suavizado, A) Sombrero talla 55, B) Sombrero talla 57, C) Sombrero talla 59 . . . . .	125
3.4. Tiempo de suavizado para sombreros de espesor de 2 (mm) . . . . .	126
3.5. Tiempo de suavizado para sombreros de espesor de 3 (mm) . . . . .	127
3.6. A) Sombrero antes del suavizado, B) Sombrero después del suavizado, C) Sombrero con el borde cocido . . . . .	131
3.7. Vista del borde cosido del sombrero . . . . .	132
3.8. Carga en la estructura de la máquina . . . . .	133
3.9. Desplazamiento máximo en la estructura . . . . .	133
3.10. Factor de seguridad de la estructura . . . . .	134
3.11. Limpieza y unión del tablero de la máquina . . . . .	134
3.12. A) Pletina cortada, B) Pletina pintada . . . . .	135
3.13. Tablero pintado . . . . .	135
3.14. Eje superior completo . . . . .	136
3.15. Pletina inferior instalada . . . . .	136
3.16. Motor y banda instalados . . . . .	137
3.17. A) Instalación de la carcasa, B) Resultado de la instalación . . . . .	137
3.18. Estante instalado . . . . .	138
3.19. Máquina ensamblada . . . . .	138

# Índice de tablas

1.1. Materiales y herramientas para la confección de sombreros de paño. . . . .	15
2.1. Medición del perímetro de sombreros . . . . .	29
2.2. Voz del cliente . . . . .	35
2.3. Voz del ingeniero . . . . .	36
2.4. Requisitos del motor . . . . .	37
2.5. Funciones primarias (Nivel 1) . . . . .	38
2.6. Funciones secundarias (Nivel 2) . . . . .	40
2.7. Alternativa 1: Motor de embrague o mecánico . . . . .	41
2.8. Alternativa 2: Motor con controlador electrónico . . . . .	42
2.9. Características técnicas de los motores . . . . .	43
2.10. Evaluación de parámetros . . . . .	43
2.11. Tabla de reacciones en el eje . . . . .	68
2.12. Tabla con las masas para el cálculo de la precarga . . . . .	103
3.1. Componentes de la máquina . . . . .	121
3.2. Tabla de tiempos de suavizado para sombreros de paño de 2 (mm) de espesor .	126
3.3. Tabla de tiempos de suavizado para sombreros de paño de 3 (mm) de espesor .	128
3.4. Tabla de error absoluto y porcentual para sombreros de paño de 2 (mm) de espesor	129
3.5. Tabla de error absoluto y porcentual para sombreros de paño de 3 (mm) de espesor	129
3.6. Costos directos del proyecto . . . . .	139
3.7. Costos indirectos del proyecto . . . . .	140
3.8. Costo total . . . . .	140

## Resumen

El sector artesanal de los sombreros de paño en el país requiere desarrollo pues las técnicas tradicionales que emplean los maestros artesanos son las mismas que hace décadas, además los años de trabajo bajo esta modalidad les han traído problemas en su salud y no han alcanzado el crecimiento económico esperado. En este proyecto, se describe el proceso de construcción de una máquina para el suavizado del ala de los sombreros de paño, este paso se caracteriza por ser uno de los que más esfuerzo conlleva en la confección de la prenda de vestir. Se parte por el contexto del sombrero de paño en el Ecuador para luego describir el proceso de confección, también se lleva a cabo una entrevista con un artesano para comprender de mejor manera los requerimientos y necesidades a satisfacer. Seguidamente, se analizan dispositivos textiles que cumplan una función similar y se presentan bosquejos de diseño de la máquina suavizadora. Posteriormente, se establecen las especificaciones de diseño seguido de la selección del motor, el tipo de transmisión de potencia, se diseña el eje, los resortes y se seleccionan los rodamientos adecuados. Se utiliza un software de diseño mecánico para la simulación de esfuerzos en elementos clave y corroborar los factores de seguridad. Se detalla el proceso de construcción y ensamble de la máquina. Se realizan las pruebas de funcionamiento y como resultado se obtiene que los sombreros son procesados de la forma esperada, en menor tiempo y cumpliendo las expectativas del artesano beneficiado.

**Palabras clave:** Sombreros, artesanías, producción, mecánica.

## **Abstract**

The handicraft sector of cloth hats in the country requires development because the traditional techniques used by the master craftsmen are the same as decades ago, also the years of work under this modality have brought them problems in their health and have not achieved the expected economic growth. This project describes the construction process of a machine for the softening of the brim of cloth hats, this step is characterized for being one of those that involves more effort in the manufacture of the garment. We start with the context of the cloth hat in Ecuador to then describe the manufacturing process, and we also conduct an interview with an artisan to better understand the requirements and needs to be satisfied. Next, textile devices that fulfill a similar function are analyzed and design sketches of the softening machine are presented. Subsequently, design specifications are established followed by motor selection, power transmission type, shaft design, spring design, and selection of appropriate bearings. Mechanical design software is used to simulate stresses in key elements and corroborate safety factors. The construction and assembly process of the machine is detailed. The result is that the hats are processed as expected, in less time and meeting the expectations of the beneficiary artisan.

***Keywords:*** Hats, handicrafts, production, mechanics.

# Introducción

## Planteamiento del problema

Ecuador se caracteriza por ser un país principalmente exportador de materia prima y productos semi elaborados, el país ha configurado un esquema de intercambio comercial basado en una oferta de exportación centrada en materias primas como petróleo, café y cacao [1]. La elaboración de sombreros de fieltro de lana de oveja, también conocido como paño, se viene realizando desde hace mucho tiempo debido a que muchos indígenas y mestizos salían a comprar estas prendas en otras ciudades del país. Por esto, varios artesanos aprendieron este arte y se dedicaron a la confección de sombreros, los cuales son comercializados en los domicilios de los artesanos en la parroquia San Juan de Ilumán, que en su mayoría han construido negocios familiares y son productos de calidad comercializados a nivel nacional e internacional [2]

Para la elaboración de estos sombreros se sigue un proceso mayormente manual donde se usan moldes y maquinarias artesanales [3]. Las sombrererías en su capacidad de producción realizan el proceso artesanal en diferentes pasos, uno de los que más tiempo y esfuerzo conlleva

es el de doblar el borde del ala de los sombreros, ya que, se emplean herramientas de madera, planchas calentadas a fuego y esfuerzo físico por parte del artesano para llevarlo a cabo, entonces se presenta la necesidad de cambiar la manera en que se realiza este proceso para evitar problemas en la salud del trabajador por los años de trabajo, además de dinamizar el proceso para aumentar la producción de la empresa.

El material base de los sombreros de paño es la lana de oveja, la cual se convierte en fieltro mediante un proceso de planchado y vapor de agua [4], para darle forma al sombrero se requiere realizar una fuerza suficiente con los dedos, manos y antebrazos para su elaboración (Dueñas, 2020), este esfuerzo repetitivo puede provocar lesiones en articulaciones o músculos como, por ejemplo, el síndrome de túnel carpiano, dolor en los tendones o la enfermedad de De Quervain [5].

Se plantea una máquina para suavizar el borde del ala de sombreros de paño previo a ser cosido para reducir el tiempo de ejecución del proceso artesanal e incrementar la capacidad de producción de la empresa.

### **Objetivo general**

Desarrollar una máquina para suavizar el borde del ala de sombreros de fieltro de lana en sombrererías artesanales.

### **Objetivos específicos**

- Determinar los principales parámetros para el correcto suavizado del borde del ala del sombrero de lana.
- Diseñar el equipo mediante herramientas computacionales de diseño mecánico para validar los parámetros requeridos.
- Implementar la máquina al menor costo posible para realizar pruebas de funcionamiento.
- Validar el funcionamiento de la máquina mediante ensayos para determinar el correcto suavizado del ala del sombrero.

### **Justificación**

El sombrero artesanal hecho de paño en Ecuador es una prenda de vestir cuya producción no es muy grande dado su proceso de elaboración artesanal. Esta indumentaria es comúnmente utilizada por personas de las provincias de la sierra, los llamados chagras y por nacionalidades y pueblos indígenas del Ecuador. “El traje de los hombres chagras se compone con sombrero, bufanda, poncho, zamarro y botas con espuelas, mientras que la vestimenta de las mujeres chagras luce un faldón, blusa bordada, chal, collares y sombrero” [6].

En el proceso de formado del sombrero se requiere doblar el borde del ala para después coser y que adquiera firmeza, artesanalmente este paso del proceso toma varios minutos por unidad ya que se lleva a cabo usando herramientas de madera, planchas de hierro al fuego, franelas y

vapor de agua, esto es debido a que el paño es un textil no tejido que tiene un espesor mayor que los textiles comunes por lo que para realizar su doblez es necesario que el paño previamente se suavice con calor y vapor de agua.

Montalvo [7], realizó un estudio acerca de la factibilidad para la creación de una pequeña empresa productora y comercializadora de sombreros de lana en San Juan de Ilumán, cantón Otavalo. En su investigación determina que la producción anual de los sombreros de lana es elevada dada su aceptación en el mercado nacional e internacional mencionando que, si todas las sombrererías artesanales elaborasen sombreros a mayor volumen, es decir industrialmente, la oferta aumentaría satisfaciendo la demanda del mercado. También se acota que, del total de la demanda, la demanda a captar es su proyecto es del 10 %, por lo que aún existe un margen grande de rentabilidad en la industria de los sombreros de lana. Con estos datos se establece que la implementación de la máquina suavizadora del ala de sombreros aportará en la industrialización de la empresa auspiciante apoyando su crecimiento.

En base a esto, se plantea un proyecto para diseñar y fabricar una máquina que permita suavizar el borde del ala de sombreros de paño para su posterior doblado y cosido, con los objetivos de prevenir lesiones en extremidades superiores del artesano, disminuir el tiempo de ejecución de esta actividad aumentando la producción y, en el aspecto económico, la empresa puede ahorrar dinero del pago a terceros destinado a este proceso.

## **Alcance**

El presente trabajo de titulación desarrollará e implementará una máquina para suavizar el ala de sombreros de fieltro de lana de oveja (pañó) para empresas artesanales de sombreros a través del diseño mecatrónico, con el objetivo de aumentar la capacidad de producción de la empresa.

Dentro del sistema de control se llevará a cabo un sistema de encendido y apagado para ser manejado por un operador de forma sencilla. Una vez con la ingeniería de detalle se procederá la construcción de la máquina.

Los requerimientos y restricciones necesarias de diseño estarán dados por una empresa de sombreros de la parroquia San Juan de Ilumán perteneciente a la ciudad de Otavalo, la cual ha presentado la necesidad de contar con este dispositivo y por lo tanto brinda el auspicio para el desarrollo del presente proyecto. Finalmente, se entrega los planos mecánicos y eléctricos de la maquinaria, además del manual de funcionamiento y mantenimiento preventivo de la misma.

# Capítulo I

## Marco referencial

### 1.1. Antecedentes

Dueñas [8], desarrolló una investigación sobre la caracterización de estándares de calidad en la producción de sombreros artesanales. En su trabajo, usó el método estadístico descriptivo con datos recopilados mediante encuestas y la técnica de observación directa en la asociación de sombrereros artesanales de la parroquia San Juan de Ilumán, cantón Otavalo, concluyendo que las fallas de calidad más frecuentes se dan en el proceso productivo del sombrero artesanal, siendo una de las causas el mal uso de maquinaria o la falta de estas. La autora realizó una indagación detallada en el sitio acerca del proceso de elaboración del sombrero artesanal, con lo que se cuenta con información fiel de las actividades que se realizan en los talleres de las sombrererías reales. Con esto, se puede resaltar que la máquina que se propone en este proyecto resultará en la reducción de los tiempos de entrega de sombreros a clientes, disminución de los costos de producción y mejora de las condiciones socio económicas de los artesanos.

Cidap [9], publicó un artículo acerca del “Cómo se hace un sombrero de Saraguro”. Por medio de una visita al taller del artesano y una entrevista explica el proceso de elaboración de un sombrero de lana estilo Saraguro. En el artículo se detalla el paso a paso que el artesano sigue para obtener sombreros a partir de la lana de borrego, el artesano usa como materia prima una fibra natural y le da la forma de sombrero al igual como se hace en las sombrererías artesanales. La noticia cuenta una historia en donde el maestro artesano es el protagonista y presenta el vivo

ejemplo de un trabajo manual o artesanal en un contexto real ecuatoriano.

Quevedo [10], diseñó una máquina hidráulica automática para el planchado de sombreros de paja toquilla en Catacaos, Perú. En su trabajo expone la necesidad que tienen familias sombreroeras de cambiar el método de planchado manual a uno más rápido, sencillo de usar y seguro para el artesano por medio de una máquina planchadora. La máquina diseñada tiene la posibilidad de disminuir el tiempo de planchado y moldeado, evitando esfuerzos y fatigas de los artesanos, mejorando también la calidad y efectividad en la elaboración de los sombreros de paja toquilla. En base a lo presentado, se destaca que la máquina suavizadora que se propone tendrá la capacidad de ayudar al desarrollo de la micro empresa, facilitando el trabajo e incrementando su productividad.

Chávez [11], delineó un plan de negocios para una micro empresa comercializadora de sombreros artesanales de paño y de lana en el cantón Otavalo. En su proyecto, el autor aplicó estrategias administrativas y de marketing para realizar el plan de negocios concluyendo que es posible comercializar los sombreros principalmente entre hombres y mujeres entre 18 y 60 años, también mencionó que su trabajo permitió tecnificar el procedimiento de elaboración de los sombreros hallando partes del proceso que necesitaban de maquinaria para ser más eficientes y generar rentabilidad a la empresa.

Endara y Guerrero [12], crearon un plan de comercialización para pequeños productores de sombreros. En su trabajo, los autores determinaron que existe una gran acogida del producto dada su elaboración artesanal, lo que permite que el sombrero pueda ingresar a mercados extranjeros, por medio de entrevistas y encuestas determinaron que hay mucha acogida en la población indígena y también en la población mestiza. La planificación permite incrementar el nivel de ventas al público, pero para ello los autores concluyen que se debe tener una estructura productiva sólida, lo que conlleva a que las micro empresas tengan que poseer equipos tecnológicos y maquinaria para la elaboración del producto, haciendo posible que sus ingresos puedan reinvertirse en nuevas máquinas generando empleo y mejorando la calidad de vida de los artesanos.

En referencia a la investigación realizada se concluye que en el contexto de sombreroeras artesanales ecuatorianas no existe marco teórico y referencias acerca de una máquina que realice el trabajo de suavizar el borde del ala de sombreros de fieltro de lana, por lo que la propuesta de este proyecto es nueva y apoyaría al desarrollo productivo y económico de las pequeñas empresas.

## 1.2. Marco teórico

Se presenta el contexto del sombrero de paño en las tradiciones y costumbres de los pueblos de la región sierra del país.

### 1.2.1. El sombrero de lana en el contexto cultural ecuatoriano

El sombrero de paño se remonta a la colonia española, en esa época los indígenas adoptaron ciertas costumbres y prendas de vestir de los europeos, pero dándoles sus características distintivas. Una de estas prendas fue el sombrero, el cual con el paso del tiempo se convirtió en una señal de estatus y formó parte de la vestimenta típica de hombres y mujeres.

### 1.2.2. Pueblos indígenas en la sierra

Ecuador es un país diverso en recursos geográficos, de flora, de fauna y también en la gran variedad de etnias y culturas que hacen que el país goce de una gama de festividades, cosmovisión, gastronomía y artesanías.

En el Ecuador las comunidades indígenas poseen sólidos valores culturales que se relacionan con sus costumbres y fiestas tradicionales que hacen referencia a los derechos colectivos, los ritos y las ceremonias, como también a su propia vestimenta. Las mujeres utilizan un anaco de diferentes colores que combinan con el bordado de sus blusas y un sombrero de lana, esto conjunto hace que se convierta en un valor fundamental para su identidad cultural.

Algunos ejemplos de pueblos que utilizan sombreros de lana de oveja como parte de su indumentaria son el pueblo Kayambi, el Otavaleño, el Natabuela y el Karanki. Los miembros de estos pueblos desarrollan habilidades y características artísticas que resaltan entre los demás pueblos del país como se puede observar en la figura 1.1, transmitiendo una cultura única y milenaria las cuales resultan bastante significativas [13].



Figura 1.1: Vestimenta tradicional del pueblo Kayambi

Fuente: <https://imbaburaotavalosan.wixsite.com/sanpablol/arte-y-cultura>

### 1.2.3. Vestimenta del chagra

El chagra es una persona cuyas tradiciones, pasiones y habilidades se relacionan con la agricultura y la ganadería, tiene especial esmero por la crianza de los animales de corral. En el valle Andino, trabaja en las haciendas y es un elemento valioso de la economía agrícola del Ecuador.

En el Cantón Mejía en la provincia de Pichincha surgió la iniciativa de realizar la Fiesta del Paseo Procesional del Chagra, esta celebración se encuentra inmersa junto a la cantonización de Mejía. Lo que más se logra destacar en esta festividad es el trabajo chacarero que arduamente el chagra desempeña en los páramos como representación de fuerza e identidad [14].

En la actualidad el chagra generalmente porta una vestimenta compuesta por:

- El sombrero de lana de oveja
- Bufanda
- Poncho de castilla
- Zamarro

En la figura 1.2 se puede observar la vestimenta del chagra:



Figura 1.2: Vestimenta del chagra ecuatoriano

Fuente: <https://media-cdn.tripadvisor.com/media/photo-s/1b/33/26/79/chagras.jpg>

### 1.2.4. Moda actual

La neo artesanía en Ecuador está en desarrollo, existen ideas que apoyan el desarrollo de las artesanías de paño y totora en conjunto con la innovación por parte de un diseñador. En la

actualidad, el universo del vestuario se agrupa en conceptos de acuerdo con la sensibilidad de la moda de cada perfil de consumidor y su estilo de vida [15].

Los sombreros elaborados bajo el concepto de neo artesanía resultan ser llamativos como se observa en la figura 1.3, de buena calidad y apuntan a estar de moda en el país.



Figura 1.3: Sombreros de paño con detalles de totora en la moda actual A. Sombrero de copa plana con adorno, B. Sombrero tipo campana con inspiración del Antisana, C. Sombrero de copa cilíndrica y ala redonda, D. Sombrero de copa semi elíptica y ala redonda con inspiración en la vegetación andina, E. Sombrero con ala asimétrica con inspiración del Antisana.

Fuente: Flores y Reyes, 2020 [15].

### 1.2.5. Definiciones en el contexto del sombrero de paño

A continuación, se presentan algunas definiciones que complementan la comprensión de la confección artesanal del sombrero de paño.

#### ¿Qué es un proceso artesanal?

Es una actividad de fabricación que utiliza métodos manuales. Los procesos artesanales se han practicado durante siglos y se utilizan para producir una gran variedad de productos, desde alimentos hasta ropa y artesanías.

Una producción artesanal elabora objetos mediante la transformación de materias primas naturales básicas a través de procesos de producción que involucran máquinas y herramientas simples con predominio del trabajo físico y mental [16].

### ¿Qué es el fieltro de lana?

El fieltro es un material textil que se produce al unir, condensar y prensar las fibras. El fieltro puede estar hecho de fibras naturales como lana o de fibras sintéticas. Su característica principal es que no se teje, es decir, que no surge del cruce entre trama y urdimbre [17]. En la figura 1.4 se observa ejemplos de fieltro en varios colores.



Figura 1.4: Fieltro

Fuente: <https://www.modulor.de/es/telas/telas-de-fieltro/fieltro-de-lana/>

### El sombrero

El sombrero es una prenda con copa y ala que cubre la cabeza como se aprecia en la figura 1.5. Es una pieza unisex, ya que la utilizan tanto hombres como mujeres en defensa del viento y del sol. También se lo utiliza como adorno y elemento de moda [18].



Figura 1.5: Sombrero de paño

Fuente: <https://de-senderismo.net/blog/tipos-de-sombreros/akubra/>

## Metodología de diseño de productos

Existe una gran variedad de beneficios del diseño y desarrollo de productos, como son la flexibilidad y personalización del producto o servicio, la mejora de la calidad, la fidelización de los clientes, la generación de conocimiento y mayor satisfacción del cliente, estos y más beneficios permiten que una empresa que está emergiendo sea más competitiva y tenga una mejor relación con sus clientes [19].

En la figura 1.6, se presenta un diagrama de flujo general referente a las metodologías de diseño.

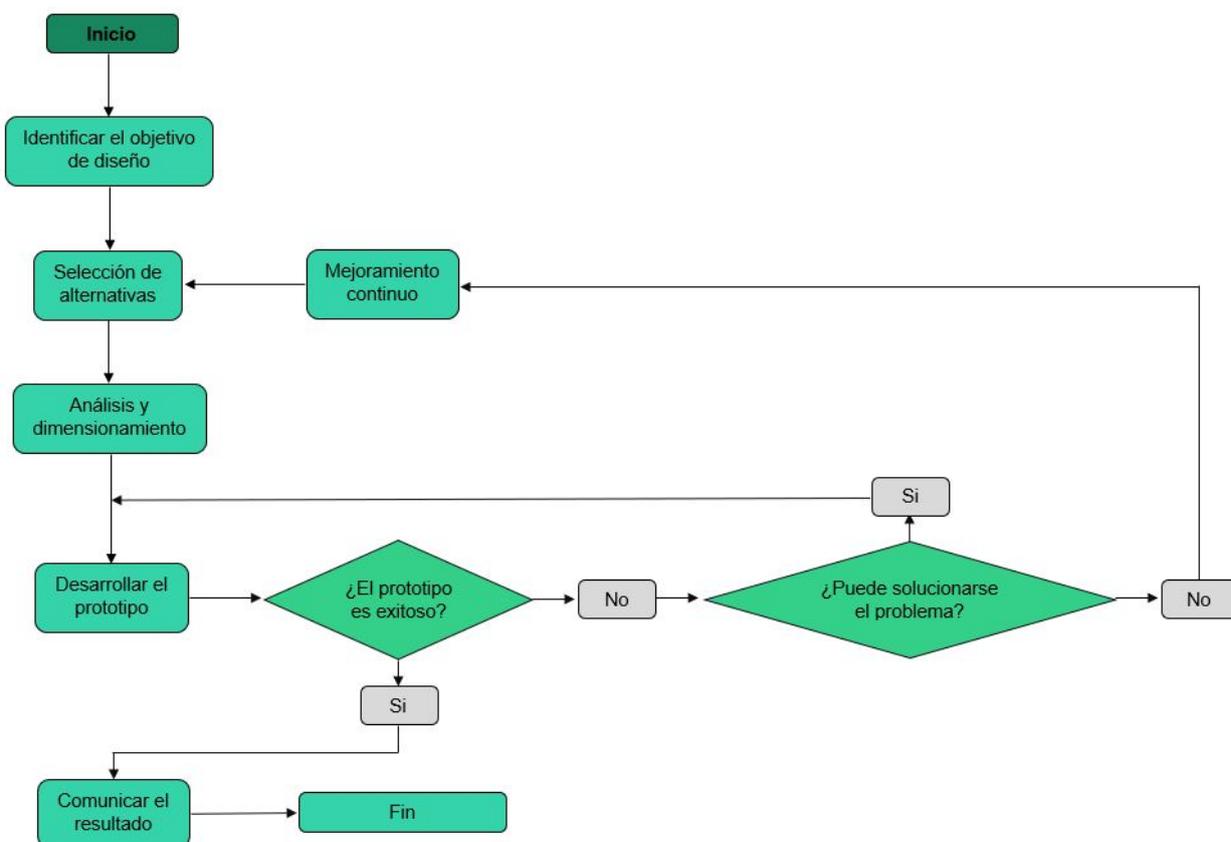


Figura 1.6: Diagrama de flujo de la Metodología de diseño

Fuente: Autor

## Pensamiento de diseño

Es una metodología que se presenta como una estrategia ideal para la exploración de nuevas decisiones, el contraste de diferentes ideas desemboca en la toma de mejores decisiones. En este

proceso se reemplaza el enfoque de pensamiento de ‘diseñar para personas’ por el pensamiento de ‘diseñar con las personas’. Para ello, se parte de una exposición de ideas, superando barreras comunicativas y desarrollando las interacciones verbales y no verbales entre los participantes, logrando encontrar la mejor solución para un problema [20].

### **Diseño para la manufactura y ensamble (DFMA)**

Para hacer efectiva la integración de los diseños de manufactura (DFM) en el diseño de componentes y montaje (DFA) es necesaria la integración e interrelación de estos diseños. Esta estrategia se conoce como Diseño para la Manufactura y Montaje. Los diseños DFMA requieren de ciertos estudios e investigaciones que permitan obtener la información acerca del comportamiento del cliente. Conocer las necesidades y requisitos en relación con los productos que las organizaciones pretenden desarrollar permite tener una visión holística de producción y mejorar la planeación, control y ejecución de los procesos de producción [21].

#### **1.2.6. Herramientas y materiales en la confección del sombrero de paño**

Dado el proceso artesanal en la confección de sombreros de fieltro de lana, es necesario reconocer las herramientas que se utilizan en su elaboración. En la tabla 1.1 se presentan las herramientas y materiales usados en la fabricación artesanal de los sombreros.

Tabla 1.1: Materiales y herramientas para la confección de sombreros de paño.

Herramienta/material	Descripción	Imagen
Campana	Material base de lana en forma de cono.	
Goma	Material que se añade para darle firmeza y endurecimiento al sombrero cuando se seque.	
Olla tamalera	Las campanas entran en la olla donde el vapor de agua ablanda la lana para el posterior moldeo.	
Horma	Hormas de madera que le dan la forma para que encaje la cabeza en el sombrero.	
Cordón	Este cordón ajusta la campana a la horma para definir la copa y el ala del sombrero.	
Hormas de figura	El sombrero entra la horma de figura para adoptar el diseño final.	
Planchas de hierro	Estas planchas son calentadas en una cocina y se usan para alizar el ala del sombrero.	

Recortadoras	Estas herramientas se usan para recortar el exceso de material del ala.	
Hormellones	Se trata de discos de madera que se ubican por dentro de la copa durante el proceso de recortado y planchado.	
Tafilete	Material que se cose por dentro del borde de la copa del sombrero.	
Máquina de coser recta	Se utiliza para coser el tafilete por dentro de la copa.	
Herramientas de madera	Son empleadas en el proceso de darle forma al ala plana del sombrero según el diseño final.	
Caballetes	Se usan para sostener las planchas calientes al momento de darle forma al ala.	
Cintas, correas y accesorios	Son materiales estéticos que le dan mayor identidad al diseño final del sombrero.	

Fuente: Autor - Visita al taller de Sombreros Willis

### 1.2.7. Proceso de confección artesanal del sombrero de paño

El proceso de confección sigue una serie de pasos en los que se modifica la materia base para obtener como resultado un sombrero de lana. Los pasos para seguir son los siguientes:

1. **Engomar:** El primer paso consiste en añadir una mezcla de goma al material base llamado campana, esta mezcla se compone de agua, maicena y goma, se calienta en una paila hasta adquirir una consistencia homogénea, luego se la aplica a la campana para que adquiera firmeza. Se exprime el exceso de mezcla de cada campana.
2. **Hormar:** Cada campana se introduce dentro de una olla tamalera por aproximadamente dos minutos para que se caliente y humedezca con vapor de agua, lo que hace que adquiera suavidad y facilidad de manejo para que adopte la forma del molde de madera. Aquí se hace uso del cordón y las herramientas de madera para ajustar y dar forma a la copa y ala del sombrero.
3. **Dar figura:** El sombrero todavía húmedo debido al vapor de agua se coloca sobre la horma de figura y con la ayuda de una cuchara se da la forma definitiva de la copa, cabe recalcar que existe una horma de figura para cada talla de sombrero. Después, como los sombreros aún están húmedos, se los seca con los rayos del sol para que se endurezcan gracias al almidón de la maicena que se aplicó en el paso de engomado.
4. **Planchar:** Una vez que los sombreros estén secos, generalmente el ala toma cualquier forma por lo que se procede a alisar el ala con planchas calientes hierro. Se coloca un hormellón de la talla del sombrero correspondiente, luego se extiende una franela húmeda sobre el ala para evitar que el calor directo de la plancha quemara el paño (fieltro de lana), de esta forma se logra el alisado del ala.
5. **Recortar el ala:** Este es un paso que toma poco tiempo por unidad. Se usan las recortadoras para disminuir la longitud del ala, eliminando las irregularidades y dejando el ala de la misma longitud en todo el sombrero.
6. **Coser el tafilete:** El tafilete es una cinta que se cose con una máquina industrial recta por dentro de la copa del sombrero. También se cose el doblado del borde del ala.
7. **Dar forma al ala:** Se ubica una plancha caliente sobre un caballete, luego se humedece solo el ala del sombrero y se la acerca a la plancha para que poco a poco adquiera calor y así se le va dando forma con las yemas de los dedos. Después se deja secar a temperatura ambiente.

8. **Adornar:** Finalmente se coloca una cinta, una correa u otro adorno entre el ala y la copa del sombrero.

Fuente: Autor - Entrevista en Sombreros Wiliis

### 1.2.8. Proceso de suavizado del borde del ala del sombrero

Se realiza de forma manual utilizando herramientas de madera, planchas de hierro, vapor de agua y calor. Empieza luego de haber recortado e igualado la longitud de toda el ala con la herramienta recortadora.

Primero, el maestro artesano calienta las planchas de hierro es una cocina que usa gas doméstico, mientras se calientan remoja un pañuelo en agua y lo exprime.

Después coloca el sombrero con la copa hacia abajo y asienta el ala en el borde de una mesa de trabajo, cubre el ala con el pañuelo húmedo y lo sostiene con la mano izquierda, después con la derecha plancha el ala por sobre el pañuelo húmedo. Al entrar en contacto la plancha caliente y el pañuelo se produce vapor de agua que suaviza el paño del ala.

Se coloca la plancha caliente en un lugar aparte y se procede a descubrir el pañuelo del ala del sombrero la cual estará suave y manejable al tacto, pero a la vez estará caliente por lo que hay que tener cuidado de no quemarse las yemas de los dedos. Entonces el maestro artesano usa sus dos manos para realizar un dobléz de aproximadamente un centímetro en el borde del ala y lo presiona con la herramienta alisadora por repetidas veces aprovechando el estado de maleabilidad del paño para darle forma.



Figura 1.7: Suavizado artesanal y dobléz del borde del ala

Fuente: Autor

Este proceso se realiza poco a poco por todo el borde del ala del sombrero. Posteriormente cada sombrero pasa a una máquina de coser recta para que el dobléz quede cosido en toda la falda.

### **1.2.9. El diseño mecánico**

A lo largo del proceso de diseño de un conjunto mecánico pueden tener que considerarse numerosos criterios. Se podrían analizar criterios de diseño como criterios ergonómicos, de mantenimiento, económicos, diseño de resistencia de los materiales a la intemperie o atmósferas especiales, criterios de diseño teniendo en cuenta el ensamblaje y la movilidad [22].

Para el diseño y construcción de la máquina del presente proyecto se tomará en cuenta los criterios de ensamble y de transporte.

#### **Intercambio entre piezas y diseño para el desmontaje**

En la fabricación de conjuntos mecánicos se debe tomar en cuenta la intercambiabilidad entre piezas semejantes, de forma que las piezas iguales puedan ser montadas de forma que se mantenga la funcionalidad de la máquina. Esto se consigue mediante una correcta asignación de tolerancias en las medidas críticas de dichas piezas. En este proyecto se procurará plantear diseños válidos con el menor número de medidas críticas funcionales de modo que las tolerancias sean alcanzables con medios de fabricación convencionales de cara que las piezas que se fabriquen sean validas, independientemente de conjunto donde se monten.

El desmontaje de un conjunto mecánico de forma total o parcial se puede realizar en operaciones de mantenimiento o reparación o al final de su vida útil para su reciclado. Facilitar estas operaciones supone un ahorro económico notable en estas operaciones, también pueden significar que el mantenimiento y cambio de repuestos sea viable económicamente o no.

#### **Condiciones de movilidad**

En el diseño mecánico se debe tener en cuenta las condiciones de movilidad para garantizar que la máquina pueda ser transportada y ser posicionada en nuevos lugares de trabajo sin mucho esfuerzo humano para evitar lesiones u accidentes.

Las preguntas sobre la movilidad de la máquina que se deben tener en cuenta son:

- ¿Se va a transportar montado o por partes?
- ¿Cuáles son los pesos y las dimensiones óptimas para minimizar el costo de movilidad?
- ¿Cómo se sujetan, apoyan o manipulan las piezas y el conjunto mecánico final?
- ¿Se pueden dañar los sub ensambles y los componentes durante el transporte?, ¿cómo se puede evitar?

- ¿Cómo afecta el desensamble de las piezas en su transporte y funcionalidad?
- ¿Existen piezas demasiado pesadas de forma que afecten la integridad del usuario durante su movilidad? [22]

### Condiciones de transporte

En el diseño de máquinas se debe tener en cuenta condiciones de transporte y uso como las que se presentan a continuación:

- **Ergonomía:** Si la máquina está diseñada para ser manejada por personas, es importante considerar la ergonomía del diseño para garantizar la comodidad y seguridad del usuario durante su uso.
- **Carga:** Si la máquina se va a usar en el transporte de cargas pesadas, es importante considerar la capacidad de carga de los componentes y asegurarse de que sean lo suficientemente resistentes.
- **Maniobrabilidad:** Si la máquina necesita maniobrar en espacios reducidos o en curvas, es importante considerar el diseño de las ruedas o componentes de dirección para garantizar la estabilidad y el control de esta.
- **Ambiente:** El ambiente en el que la máquina va a funcionar también puede afectar su desempeño. Por ejemplo, si se va a mover en terrenos irregulares o en condiciones climáticas adversas, se deben diseñar componentes que puedan soportar estas condiciones [22].

#### 1.2.10. Máquinas dobladoras de textiles en la industria

Las máquinas dobladoras de telas textiles son herramientas comúnmente utilizadas en la industria textil para doblar y dar forma a telas y tejidos. Existen máquinas que son capaces de manejar grandes volúmenes de tela y pueden doblar la tela de manera uniforme y consistente.

Son elementos clave en la industria textil, permitiendo a los fabricantes doblar grandes cantidades de tela de manera rápida y eficiente para su posterior procesamiento en el corte y confección. Cabe recalcar que no se halló información acerca de una máquina que doble el borde del ala de sombreros por lo que a continuación se exponen máquinas cuyo fin es similar o su funcionamiento es semejante al de la máquina planteada en este proyecto.

### 1.2.11. Máquina dobladora de tejido artesanal

**Funcionamiento:** Esta máquina cuenta con un sistema que se compone de dos partes, el primero de un conjunto de cilindros guías que compensan la variación de tensión que se produce entre el sistema que despliega la tela y el elemento doblador como se observa en la figura 1.8. La tela llega a un cilindro en estado de reposo para luego salir hasta el elemento doblador donde se juntan los extremos de los rodillos y la parte media del tejido se coloca en una varilla curva, donde se ejecuta el quiebre del tejido para formar el doblado que se está trabajando [23].



Figura 1.8: Dobladora de tejido textil artesanal

Fuente: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/1940/9/PRACTICA.pdf>

### 1.2.12. Máquina dobladora y cortadora de tela

**Funcionamiento:** El proceso inicia con la colocación de los rollos de tela en la máquina esto se lo realiza manualmente, un trabajador con la ayuda del sistema de control inicia el proceso a través del sistema de avance se extiende la tela sobre la mesa al final del sistema se encuentra un sensor de final de carrera que indica la llegada, con lo que se activa el sistema de sujeción de tela que permite el corte de la misma, inmediatamente se activa el sistema de elevación, el sistema de avance regresa a su posición inicial y el proceso se repite hasta terminar de cortar a la misma medida el rollo de tela colocado en un principio [24].



Figura 1.9: Dobladora y cortadora de tela

Fuente: <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/3827>

### 1.2.13. Prototipo de máquina dobladora de tela

**Funcionamiento:** Se inicia el proceso con la tela sin movimiento en la máquina, entonces se hace que la tela cubra los dos sensores de presencia de la máquina, éstos hacen que se active un motor el cual para cuando un carro llega al final de carrera, si la tela solo activa uno de los sensores el sistema se mueve para el lado opuesto al sensor, y lo mismo pasa con el otro sensor, de esta forma la tela quedará centrada correctamente como se aprecia en la figura 1.10 [25].

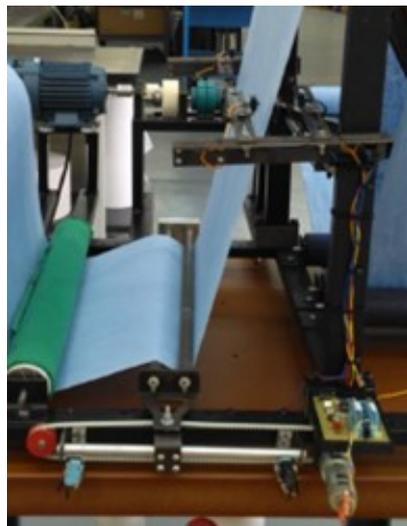


Figura 1.10: Prototipo de máquina dobladora de tela

Fuente: <http://hdl.handle.net/10651/38470>

### 1.2.14. Bosquejos del diseño de la máquina

Previo al diseño de la máquina se considera importante tener una vista preliminar de esta. En la figura 1.11 se detalla un bosquejo con proyecciones ortogonales.

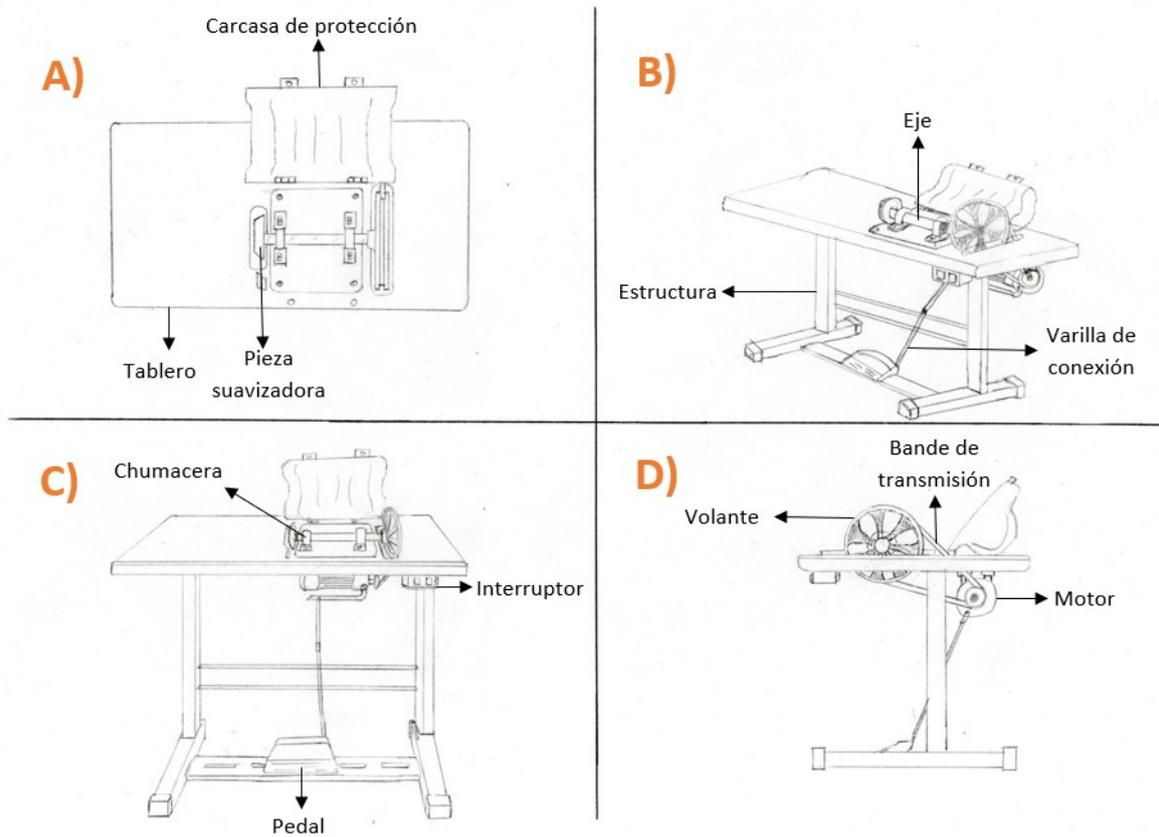


Figura 1.11: Bosquejos de la máquina suavizadora. A) Vista de planta, B) Vista isométrica, C) Vista frontal, D) Vista lateral derecha.

Fuente: Autor

# Capítulo II

## Marco metodológico

### 2.1. Análisis de la encuesta sobre los parámetros de correcto suavizado

Se analizan las respuestas de la encuesta sobre los parámetros del correcto suavizado del borde del ala del sombrero (Anexo 1). La encuesta se aplica a una persona con amplia experiencia en la confección de sombreros de paño de forma artesanal. Se extraen los aspectos más importantes, los mismos que servirán para definir un diseño funcional, seguro, ergonómico y de bajo costo.

#### 2.1.1. Parámetros a considerar

- Por seguridad se considera que el desarrollo del sombrero se realice por un mecanismo y sea seguro de operar.
- El tipo de máquina puede ser mecánica o electromecánica, pero lo más importante es que cumpla la función de suavizar el ala del sombrero a un bajo costo.
- El borde del ala del sombrero se suavizará de modo que se pueda coser en una máquina industrial en un proceso posterior.
- El suavizado se realizará aproximadamente a un centímetro del borde final del ala alrededor de todo el sombrero.
- El proceso de suavizado se considera correcto si al tacto del artesano el material queda más suave y se puede coser en una máquina de coser recta.

- De forma artesanal el suavizado del borde del ala del sombrero tarda entre 4 y 5 minutos por unidad, se espera que con la máquina el tiempo de ejecución disminuya.
- Se desea que el manejo sea fácil e intuitivo, parecido a una máquina de coser común pues el personal de la empresa cuenta con experiencia en el uso de las mismas.
- En medida de lo posible se desea que la máquina no sea muy pesada.

## 2.2. Especificaciones de diseño

Al analizar los requerimientos por parte de la empresa se realiza un diseño CAD con el cual se tiene una representación visual de la máquina como se muestra en la figura 2.1.

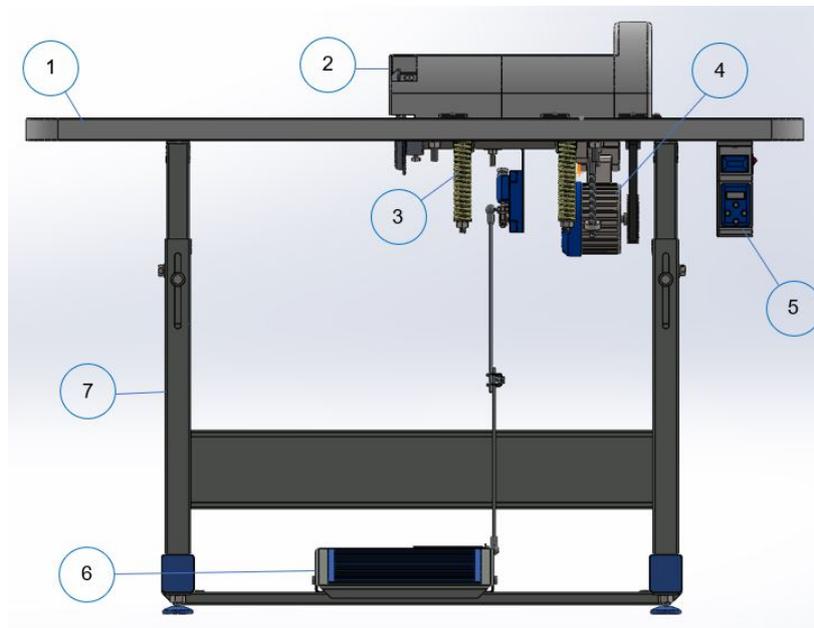


Figura 2.1: Partes de la máquina suavizadora del borde del ala de sombrero

Fuente: Autor

A continuación, se explican las partes generales de la máquina:

1. Tablero: es donde el trabajador apoya el sombrero para el suavizado del borde del ala.
2. Carcasa: protector plástico que evita atrapamientos o accidentes con los elementos rotatorios durante el uso de la máquina.

3. Mecanismo de suavizado: consta de ejes, chumaceras, resortes, pernos, pletinas y demás elementos que en conjunto permiten el suavizado.
4. Motor eléctrico: se trata de un servo motor industrial con características específicas para su uso en maquinaria textil de mesa.
5. Controlador del motor: controlador con el cual se puede variar la velocidad del motor eléctrico dentro de un rango específico.
6. Pedal: este pedal está conectado a la palanca accionadora del motor por lo que el usuario puede ponerlo en marcha presionándolo con el pie.
7. Mueble: es la estructura metálica sobre la cual se asienta el tablero y los demás elementos de la máquina.

El diseño está inspirado en las máquinas de coser de mesa tradicionales, con esto se busca que el trabajador se sienta a gusto y le sea más sencilla su manipulación.

El mecanismo de suavizado cuenta con resortes los cuales presionan el paño entre dos discos diseñados especialmente para este propósito. En función del tipo de paño del sombrero, la fuerza que ejercen los resortes a compresión se regula girando las tuercas ubicadas en la base de los mismos, esto permite que los discos atrapen con mayor o menor fuerza el borde del ala del sombrero y lo suavicen mientras se acciona el motor. Todos los componentes de la máquina se seleccionan de proveedores nacionales con el motivo de reducir los costos extra por importación.

### **2.2.1. Fuente de energía**

La máquina va a funcionar con energía eléctrica a 110 V ya que este es el voltaje disponible en la zona norte del país y en el lugar donde se se destina el funcionamiento de la máquina.

### **2.2.2. Dimensiones de la máquina**

Al ser un dispositivo al estilo de las máquinas de coser de mesa sus dimensiones son similares a estas, el ancho es de 1.20 metros, la distancia de fondo es de 0.61 metros y la altura es de aproximadamente 0.90 metros desde el piso hasta la parte más alta de la carcasa, aunque la altura esta sujeta a variación debido a la capacidad de adaptabilidad de la máquina para diferentes alturas en función de la comodidad del operario que la utilice.

### **2.2.3. Modo de operación**

El trabajador va a operar la máquina sosteniendo el sombrero con ambas manos mientras el borde del ala del sombrero entra entre dos partes suavizadoras.

### **2.2.4. Seguridad**

Es muy importante que el operario no sufra ningún tipo de daño físico por lo que el mecanismo de suavizado va a tener una carcasa protectora la cual evita que el operario sufra cualquier tipo de accidente producto de un atrapamiento. Además, la máquina cuenta con un interruptor ubicado a la distancia del brazo del operario para el apagado de la máquina.

### **2.2.5. Enfoque ergonómico**

Las máquinas de coser tipo mesa son una herramienta esencial en los negocios y emprendimientos de la industria textil debido a que permiten ser empleadas de forma eficiente y rápida, pero también pueden acarrear lesiones en los trabajadores si no se utilizan correctamente.

Para garantizar una buena ergonomía se debe tomar en cuenta factores importantes como la altura de la máquina, la distancia a la que el operario trabaja, la iluminación y los descansos en las horas de trabajo. De acuerdo con el estudio de Caiza [26] sobre los riesgos ergonómicos en una micro empresa textil en el área de costura, donde se usan máquinas de coser de tipo mesa, las molestias son mayoritariamente en la región dorsal y lumbar, así como en el codo debido a movimientos repetitivos durante el uso de la maquinaria.

Se propone usar una estructura que, independientemente de la estatura del trabajador, se adapte a la comodidad del mismo incluso si es empleada por distintos trabajadores. La estructura metálica de la figura 2.2 cuenta con un par de pernos en ambos perfiles laterales de manera que se ajustan en función de la altura ideal para cada encargado.

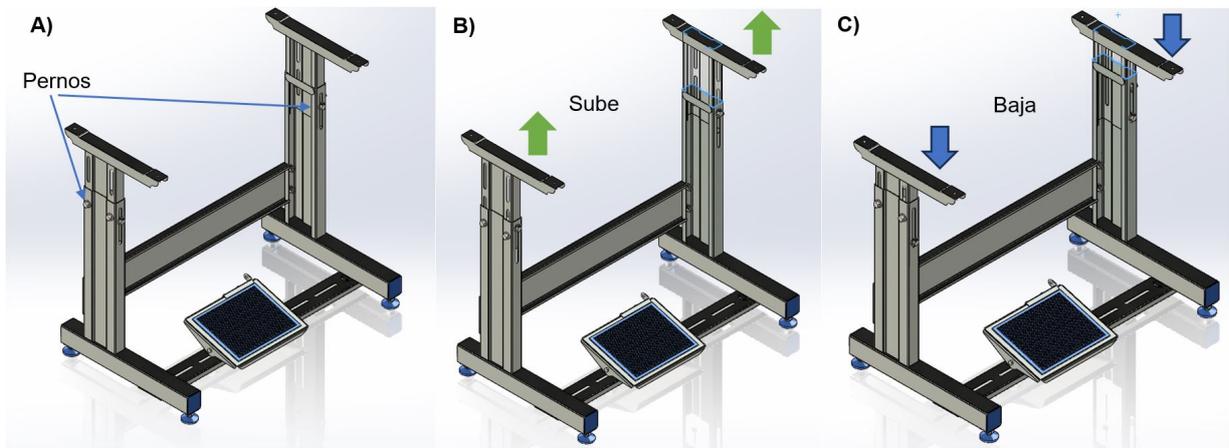


Figura 2.2: Mueble de altura adaptable. A) Indicación de los pernos, B) Mueble con mayor altura, C) Mueble con menor altura.

Fuente: Autor

## 2.3. Selección del motor

Los motores eléctricos son una parte importante en diversas máquinas y procesos de producción, estos actuadores se utilizan para proporcionar potencia y movimiento en una amplia variedad de aplicaciones.

### 2.3.1. Velocidad lineal

La velocidad lineal se define como el desplazamiento realizado por un móvil o punto de análisis, dividido entre el tiempo que tarda en efectuarlo [27]. De forma manual, por experiencia del artesano, se sabe que el suavizado del borde del ala de un sombrero toma de 4 a 5 minutos. Se desea que con el uso de la máquina este tiempo se reduzca a aproximadamente 30 segundos. La fórmula de la velocidad lineal es:

$$v = \frac{d}{t} \quad (2.1)$$

Donde:

$v$ : velocidad lineal en ( $m/s$ )

$d$ : distancia en ( $m$ )

$t$ : tiempo en ( $s$ )

Para obtener la distancia se toma como referencia el perímetro del borde de la falda del sombrero y se mide usando una cinta métrica como se muestra en la figura 2.3.



Figura 2.3: Medición del perímetro del ala del sombrero

Fuente: Autor

Se realizan varias mediciones para diferentes tallas de sombreros, los resultados obtenidos se muestran en la tabla 2.1.

Tabla 2.1: Medición del perímetro de sombreros

<b>N° de medición</b>	<b>Talla</b>	<b>Valor (mm)</b>
1		972
2	55	968
3		974
4		994
5	56	1001
6		1000
7		1010
8	57	1008
9		1009
10		1026
11	58	1029
12		1027
13		1030
14	59	1029
15		1035
16		1038
17	60	1039
18		1036

19		1052
20	61	1051
21		1055

Fuente: Autor

Para obtener una medida más cercana a la realidad se aplica la media aritmética a los valores de la tabla 2.1.

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + \dots + x_n}{N} \quad (2.2)$$

Donde:

$\bar{X}$ : media aritmética

$x_n$ : dato n

$N$ : número de datos

Se obtiene:

$$\bar{X} = 1018,2381 \text{ (mm)}$$

Dado que el proceso es artesanal no se cuenta con cifras específicas para su ejecución, entonces, gracias a la experiencia y retroalimentación de la empresa se establece un estimado de 40 pasadas para un suavizado aceptable.

Por lo tanto, la distancia de recorrido para el suavizado del material tiene el valor:

$$d = 40 * 1018,2381 \text{ (mm)}$$

$$d = 40729,524 \text{ (mm)}$$

Al aplicar la ecuación 2.1 resulta:

$$v = \frac{40,7295 \text{ (m)}}{30 \text{ (s)}}$$

$$v = 1,3577 \text{ (m/s)}$$

Se obtiene que la velocidad lineal es 1,3577 (m/s) que equivale a 1357,70 (mm/s).

### 2.3.2. Velocidad angular

La velocidad angular representa el cociente entre la magnitud del desplazamiento angular de un objeto y el tiempo que tarda en efectuarlo [27].

La ecuación que describe la velocidad angular es:

$$\omega = \frac{v}{r} \quad (2.3)$$

Donde:

$\omega$ : velocidad angular en ( $rad/s$ )

$v$ : velocidad lineal en ( $mm/s$ )

$r$ : radio de giro en ( $mm$ )

El radio de giro se toma del diseño CAD del suavizador como muestra la figura 2.4. Esta parte es la que está en contacto con el sombrero.

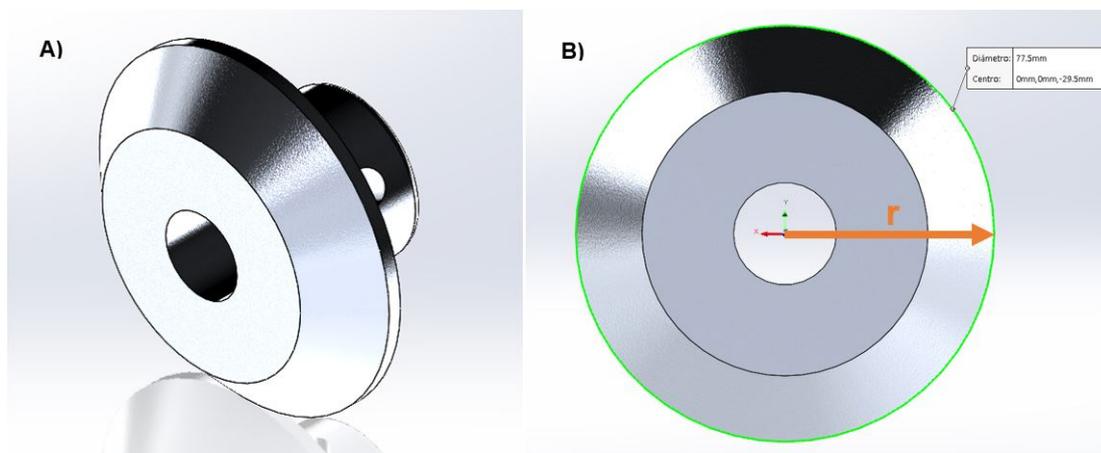


Figura 2.4: Radio del suavizador superior. A) Vista isométrica, B) Vista frontal

Fuente: Autor

El radio es de 38,75 (mm), entonces se lo reemplaza en la ecuación 2.3 para obtener el resultado.

$$\omega = \frac{1357,70 \text{ (mm/s)}}{38,75 \text{ (mm)}}$$

$$\omega = 35,03742 \text{ (rad/s)}$$

La velocidad angular también se puede expresar en rev/min:

$$35,03742 \frac{rad}{s} * \frac{rev}{2\pi rad} * 60 \frac{s}{min}$$

$$\omega = 334,5827 \frac{rev}{min}$$

La velocidad angular del eje del suavizador es 334,5827 RPM, que por motivos prácticos de lo redondea a 350 RPM.

### 2.3.3. Potencia y par motor

La potencia nominal de un motor eléctrico indica la potencia mecánica de salida o en el eje que es capaz de entregar el motor [28].

La potencia se expresa por:

$$P = T * \omega \quad (2.4)$$

Donde:

$P$ : potencia del motor en (*Watt*)

$T$ : torque o par motor en (*Nm*)

$\omega$ : velocidad angular en (*rad/s*)

El toque del motor debe ser lo suficientemente alto para vencer la inercia del sistema de suavizado de la máquina.

Se realiza un análisis de la inercia en las propiedades físicas del ensamblaje del sistema de suavizado, con ello se obtiene que la inercia que tiene que vencer el motor para que la máquina funcione es el que se muestra en la figura 2.5.

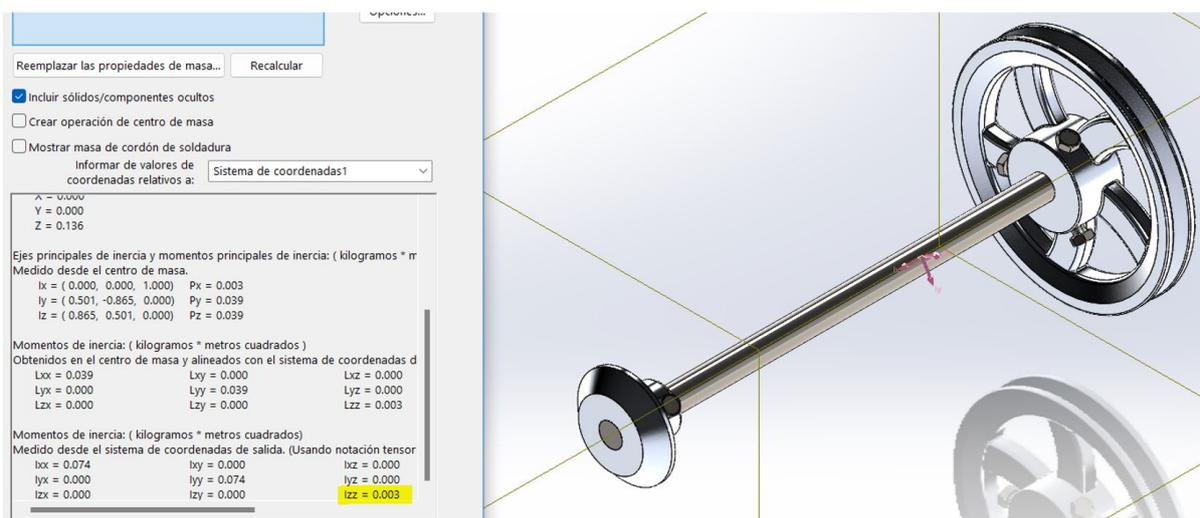


Figura 2.5: Inercia inicial del mecanismo de suavizado

Fuente: Autor

La inercia a vencer es  $I_{zz} = 0,003kgm^2$  y está a lo largo del eje que conecta la polea con

el suavizador superior, es decir, es la inercia en el eje Z.

Se calcula la inercia efectiva la cual relaciona la inercia  $I_{zz}$  con las velocidades estándar  $n_1$  que es 800 RPM para el giro del eje del motor y  $n_2$  es 350 RPM para el giro del eje del suavizador. La inercia efectiva se obtiene con la siguiente ecuación:

$$I_{efec} = I_{zz} * \left( \frac{n_2}{n_1} \right)^2 \quad (2.5)$$

Donde:

$I_{efec}$ : inercia efectiva del sistema ( $kgm^2$ )

$I_{zz}$ : inercia del inicial del mecanismo de suavizado ( $kgm^2$ )

$n_1$ : velocidad de giro del eje del motor (RPM)

$n_2$ : velocidad de giro del eje del suavizador (RPM)

Al sustituir los valores en la ecuación 2.5 se obtiene:

$$I_{efec} = 0,003 (kgm^2) * \left( \frac{350 RPM}{800 RPM} \right)^2$$
$$I_{efec} = 0,00057422 (kgm^2)$$

Seguidamente, se calcula la inercia total con la ecuación:

$$I_{total} = I_{zz} + I_{efec} \quad (2.6)$$

Donde:

$I_{total}$ : inercia resultante ( $kgm^2$ )

Se aplica la ecuación 2.6:

$$I_{total} = (0,003 + 0,00057422) (kgm^2)$$
$$I_{total} = 0,003574 (kgm^2)$$

Para el cálculo del torque de trabajo se emplea la siguiente ecuación:

$$T = I_{total} * \alpha \quad (2.7)$$

Donde:

$T$ : torque de trabajo en ( $Nm$ )

$I_{total}$ : inercia resultante del sistema en ( $kgm^2$ )

$\alpha$ : aceleración angular en ( $rad/s^2$ )

Primero es necesario calcular la aceleración angular con la ecuación que se muestra:

$$\alpha = \frac{\omega}{t} \quad (2.8)$$

Donde:

$\alpha$ : aceleración angular en ( $rad/s^2$ )

$\omega$ : velocidad angular en ( $rad/s$ )

$t$ : tiempo de estabilización de la máquina en ( $s$ )

Se establece que el tiempo para la estabilización del motor sea de 1 segundo. Los datos de la velocidad angular y el tiempo se reemplazan en la ecuación 2.8:

$$\alpha = \frac{35,03742 \text{ (rad/s)}}{1 \text{ (s)}}$$

$$\alpha = 35,03742 \text{ (rad/s}^2\text{)}$$

Con el valor de la aceleración angular se calcula el torque mediante la ecuación 2.7:

$$T = 0,003574 \text{ (kgm}^2\text{)} * 35,03742 \text{ (rad/s}^2\text{)}$$

$$T = 0,1252 \text{ (Nm)}$$

Se establece que  $T = 0,1252 \text{ (Nm)}$  con lo que ahora se procede a calcular la potencia necesaria para vencer la inercia resultante del mecanismo de suavizado del ala de sombreros. Se reemplaza el torque y la velocidad angular en la ecuación 2.4:

$$P = 0,1252 \text{ (Nm)} * 35,03742 \text{ (rad/s)}$$

$$P = 4,3867 \text{ (Watts)}$$

La potencia también se la puede expresar en caballos de fuerza ( $HP$ ), para ello se realiza la conversión de la siguiente forma:

$$P = 4,3867 \text{ (Watts)} * \frac{1 \text{ (HP)}}{745,7 \text{ (Watts)}}$$

$$P = 0,005883 \text{ (HP)}$$

Se concluye que para este tipo de máquinas existen motores de potencia más alta con controladores electrónicos de velocidad que son fáciles de conseguir ya que están disponibles en el mercado nacional, y aunque estén sobredimensionados son una buena opción, pues sería más caro diseñar otro motor desde cero.

### 2.3.4. Diagrama funcional

El diagrama funcional o también conocido como árbol de funciones es una herramienta que representa de manera gráfica el análisis funcional realizado a un producto, proceso o servicio [29]. Por este medio, es posible la comunicación de las diferentes partes del producto, proceso o servicio en análisis, que a su vez, se relaciona con la función de cada una.

Se consideran algunos conceptos clave:

- **Voz del cliente:** es la expresión de las necesidades, deseos y expectativas por parte del usuario. Es importante asegurarse que la herramienta satisfaga esas necesidades.
- **Voz del ingeniero:** se trata de los criterios que el ingeniero toma en cuenta para el correcto funcionamiento del motor. Considerar la voz del ingeniero es fundamental para que el motor seleccionado funcione correctamente y de forma segura.
- **Funciones primarias:** son aquellas por las que el cliente está dispuesto a adquirir un producto o servicio.
- **Funciones secundarias:** son aquellas que permiten que las primarias se ejecuten satisfactoriamente y son las que mediante este análisis se determinan.

#### Voz del cliente

Los requerimientos del cliente se resumen en la tabla 2.2.

Tabla 2.2: Voz del cliente

<b>Deseos del cliente</b>	<b>Descripción</b>
<b>Dimensiones del motor</b>	El motor debe ser relativamente pequeño para que la máquina sea fácil de transportar en caso de averías.

<b>Eléctrico</b>	Debe funcionar con electricidad y sin necesidad de depender de otra forma de energía.
<b>Fácil instalación</b>	El motor debe poder instalarse o desinstalarse sin mucha dificultad por motivos de mantenimiento por parte del propio propietario al seguir el manual de mantenimiento de la máquina.
<b>Un operario</b>	La máquina debe poder ser operada por una sola persona a la vez.
<b>Fácil operación</b>	Tanto el panel de control como el proceso de encendido y apagado del motor debe ser fácil para el usuario.
<b>Costo</b>	Se desea que el motor tenga el menor costo posible.

Fuente: Autor - Anexo 1

### Voz del ingeniero

Las consideraciones del ingeniero se muestran en la tabla 2.3.

Tabla 2.3: Voz del ingeniero

<b>Requerimientos del ingeniero</b>	<b>Descripción</b>
<b>Eléctrico</b>	El motor funciona con 110V ya que esa es la tensión disponible en el lugar de instalación.
<b>Velocidad</b>	La velocidad del motor debe ser ajustable para que se adapte a operarios con distinta experiencia en la utilización de la máquina.
<b>Rendimiento</b>	El motor debe ser capaz de tener un torque y rendimiento constante durante el suavizado del borde de los sombreros.
<b>Espacio de instalación</b>	El espacio disponible para la instalación del motor en la máquina tipo mesa es limitado, por lo que, se prioriza la selección de motores pequeños.
<b>Ruido</b>	El motor debe ser lo más silencioso posible para no causar daños auditivos en los trabajadores.

Fuente: Autor

## Requisitos del motor

Una vez que se conocen los deseos del cliente y los requerimientos del ingeniero, en la tabla 2.4 se resumen los requisitos que debe cumplir el motor, estos parámetros son una combinación entre la voz del cliente y la voz del ingeniero, de esta manera, se implantan las opciones de calificación para su posterior aplicación en la etapa de evaluación de criterios ponderados.

Tabla 2.4: Requisitos del motor

Concepto	Propuesto	Requerimiento/ Deseo	Descripción
<b>Eléctrico</b>	Cliente Ingeniero	Requerimiento	El motor debe funcionar con una tensión de 110V.
<b>Dimensiones</b>	Cliente Ingeniero	Requerimiento	El motor debe ser pequeño y de fácil movilidad e instalación.
<b>Operación</b>	Cliente	Deseo	El manejo del motor debe ser fácil.
<b>Costo</b>	Cliente	Deseo	El motor debe ser lo más asequible posible.
<b>Velocidad</b>	Ingeniero	Requerimiento	El motor debe contar con velocidad ajustable para que pueda ser utilizado por operarios con diferentes niveles de experiencia.

Fuente: Autor

## Nivel cero

El diagrama funcional de nivel cero representa el sistema en su totalidad de forma general, sin tener en cuenta muchos detalles. En la figura 2.6 se muestra el nivel cero del funcionamiento del motor.



Figura 2.6: Diagrama funcional de nivel cero del motor

Fuente: Autor

## Nivel uno

En la figura 2.7 se observa el diagrama funcional de nivel uno, el cual refleja el funcionamiento del motor dividido en sus componentes principales, es decir, el encendido del motor, su puesta en marcha y el suavizado del sombrero. Este diagrama proporciona una visión más detallada que el del nivel cero, también ayuda a comprender cómo se relaciona el usuario y los elementos externos al motor con el funcionamiento de la máquina.

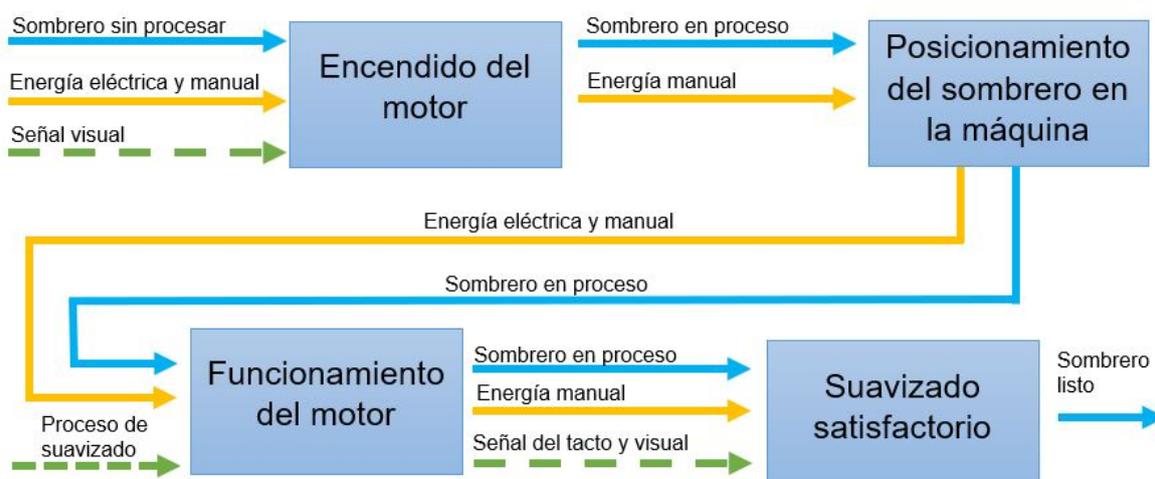


Figura 2.7: Diagrama funcional de nivel uno del motor

Fuente: Autor

## Funciones primarias (Nivel 1)

Las funciones primarias del diagrama funcional se describen en la tabla 2.5.

Tabla 2.5: Funciones primarias (Nivel 1)

Función N1	Descripción
<b>Encendido del motor</b>	El motor es alimentado con corriente AC a 110V y el operario presiona el interruptor para encenderlo.
<b>Posicionamiento del sombrero en la máquina</b>	El operario coloca el sombrero en la máquina asegurándose de que el borde de la falda quede entre los dos suavizadores.
<b>Funcionamiento del motor</b>	El operario presiona el pedal y el motor empieza a funcionar.
<b>Suavizado satisfactorio</b>	Mediante inspección visual y tacto, el operario determina si el suavizado es satisfactorio.

Fuente: Autor

## Nivel dos

El diagrama funcional de nivel dos de la figura 2.8 proporciona una visión más a profundidad que los diagramas previos, es un medio para entender el flujo de trabajo del motor, el sombrero y la forma en que el operario emplea la máquina.

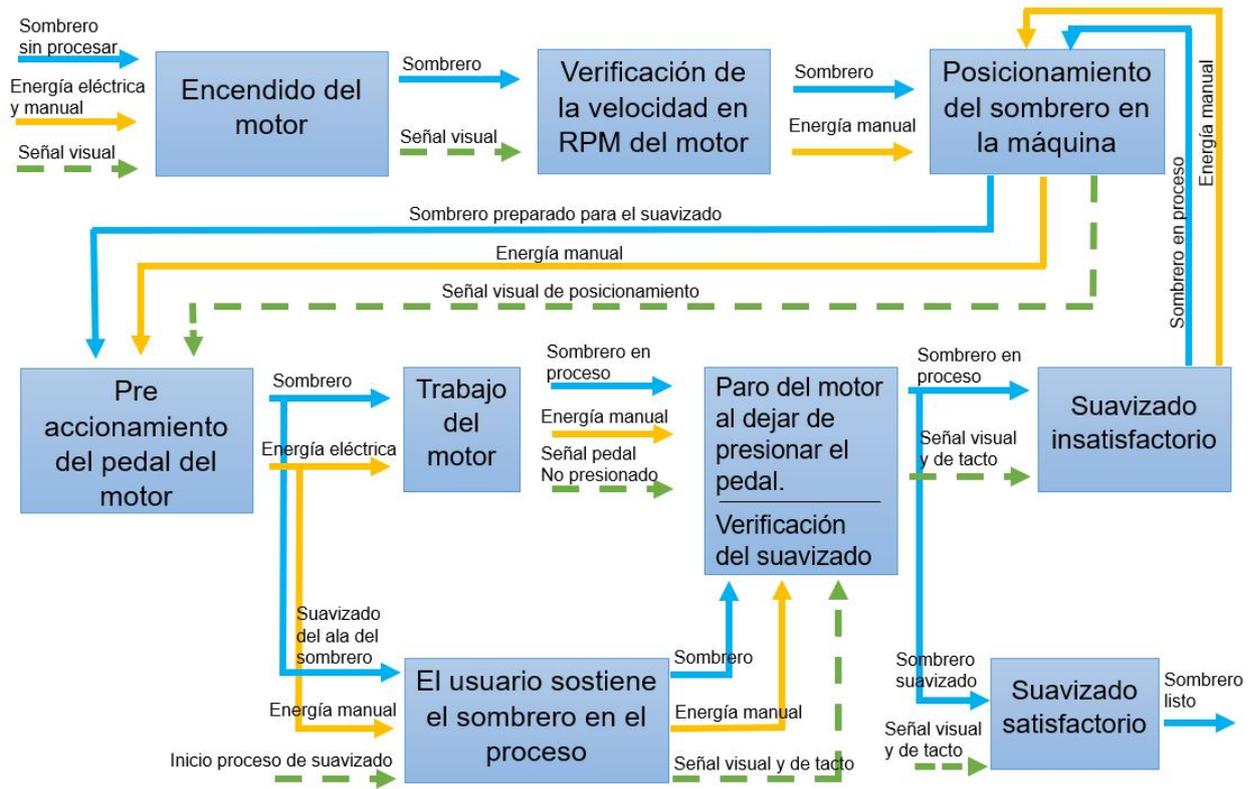


Figura 2.8: Diagrama funcional de nivel dos del motor

Fuente: Autor

## Funciones secundarias (Nivel 2)

Las funciones secundarias se detallan en la tabla 2.6.

Tabla 2.6: Funciones secundarias (Nivel 2)

<b>Función N1</b>	<b>Función N2</b>	<b>Descripción</b>
<b>Encendido del motor</b>	Encender el motor	El operario enciende el motor por medio del interruptor y también verifica que la velocidad en el controlador del motor sea la óptima.
	Verificación de la velocidad en RPM del motor	
<b>Posicionamiento del sombrero en la máquina</b>	Posicionamiento del motor	El operario coloca el borde del ala del sombrero entre los suavizadores y se prepara para presionar el pedal del motor.
	Pre accionamiento del motor	
<b>Funcionamiento del motor</b>	Trabajo del motor	Al presionar el pedal, el eje del motor empieza a girar mientras el usuario sostiene el sombrero por la copa a la vez que se suaviza el borde del ala.
	El usuario sostiene el sombrero en el proceso	
<b>Suavizado satisfactorio</b>	Paro del motor y verificación del suavizado	El operario deja de presionar el pedal, con lo que, el eje del motor para de girar, entonces mediante inspección sensorial se verifica el suavizado del ala, si es insatisfactorio se repite el proceso en la máquina, caso contrario el sombrero se considera listo y termina el proceso.
	Suavizado insatisfactorio del sombrero	
	Suavizado satisfactorio	

Fuente: Autor

### 2.3.5. Alternativas de selección

Los motores que usan las máquinas de coser tipo mesa se caracterizan por tener algunas particularidades que otros motores no tienen, por ejemplo, tienen la cualidad de que el usuario puede acelerar o desacelerar en función de la presión que se implante en el pedal. Con el objetivo

de conseguir un motor más asequible se descarta la opción de importar un motor, por lo que, a continuación se presentan las opciones disponibles en el mercado nacional que satisfacen los requerimientos. La información de la primera alternativa se observa en la tabla 2.7.

Tabla 2.7: Alternativa 1: Motor de embrague o mecánico

Funcionamiento	Imagen de referencia
<p>Tradicionalmente el motor de embrague funciona en máquinas de coser en la mayoría de fábricas, esos motores funcionan con corriente alterna y alcanzan una velocidad promedio de 3400 RPM en un lapso de unos pocos segundos. Una vez que se encienden siguen consumiendo energía, independientemente de si el pedal de la máquina se presiona o no. Esto significa que sin importar el hecho de que el operador no esté usando la máquina se consume energía eléctrica en una menor cantidad.</p>	
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ El motor está provisto de un mecanismo de tensión de correa al aflojar la tuerca de ajuste.</li> <li>■ El motor cuenta con aisladores de goma para evitar vibraciones excesivas.</li> <li>■ La palanca de operación siempre se puede mantener alineada con la varilla del pedal.</li> <li>■ En modelos más actuales el aumento de temperatura es bajo.</li> <li>■ Está especialmente diseñado para un alto rendimiento con materiales duros como el cuero.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Cualquier presión incontrolada sobre el pedal del motor hace que funcione a toda velocidad.</li> <li>■ Debido al mecanismo de embrague, sus componentes pueden sufrir desgaste o falta de lubricación.</li> <li>■ Tiene un alto consumo de energía y son menos eficientes.</li> <li>■ Puede generar vibraciones, lo que afecta la precisión de trabajo del operador.</li> <li>■ El motor de embrague es ruidoso, especialmente a altas velocidades.</li> </ul>

Fuente: [30], [31]

Las ventajas y desventajas de la segunda alternativa se muestran en la tabla 2.8.

Tabla 2.8: Alternativa 2: Motor con controlador electrónico

<b>Funcionamiento</b>	<b>Imagen de referencia</b>
<p>El sistema de este motor consta de dos partes, el motor como tal y el controlador electrónico. Puede alcanzar una alta eficiencia, generalmente, por encima del 80%. Permite velocidades dentro de un rango específico, con un promedio de 4500 RPM. Con el uso del controlador electrónico, es posible alcanzar una velocidad estable dentro del rango permisible, lo que es de ayuda para operarios con diferentes niveles de experiencia.</p>	
<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Cuenta con un modo de espera cuando el eje no está girando por lo que consume mucha menos corriente en este estado.</li> <li>■ El motor consume energía eléctrica en proporción con la velocidad a la que funciona.</li> <li>■ Dispone de un panel numérico en donde se puede visualizar la velocidad actual del motor.</li> <li>■ Posee un posicionador para que la aguja quede en a posición deseada cada vez que el motor se detiene, esto es muy útil en sector costurero.</li> <li>■ Su peso y tamaño equivalen a aproximadamente un tercio de los motores convencionales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ El uso de este motor puede resultar complejo para usuarios que no estén familiarizados con el.</li> <li>■ Puede ser más sensible a variaciones de tensión eléctrica.</li> <li>■ Su instalación es relativamente un poco más complicada que la del motor de embrague.</li> <li>■ Dependiendo del país de comercialización, los precios pueden llegar hasta el triple de lo que cuesta un motor de embrague.</li> </ul>

Fuente: [30], [32]

### 2.3.6. Características técnicas

En la tabla 2.9 se presentan las especificaciones técnicas de ambos motores. Las dos opciones cuentan con la potencia y torque necesarios para el trabajo requerido.

Tabla 2.9: Características técnicas de los motores

Característica	Motor con controlador electrónico	Motor de embrague
<b>Voltaje de operación (V)</b>	110/220	110/220
<b>Corriente (A)</b>	1,32	2,20
<b>Potencia (Watts)</b>	550	784
<b>Torque nominal (Nm)</b>	4,4	4,11
<b>Velocidad (RPM)</b>	0 - 4500	0 - 4000
<b>Dimensiones (cm)</b>	28,5x16x19,5	40x30x25
<b>Rotación reversible</b>	Si	Si

Fuente: [33]

### 2.3.7. Evaluación de las alternativas

La evaluación de las opciones es muy importante y presenta una ventaja debido a su sencillez, se aplica para seleccionar una alternativa entre varias posibles. Con la evaluación de los parámetros técnicos de los motores se logra seleccionar una alternativa de manera objetiva, esto se consigue al asignar un puntaje a aquellas características que pueden ser subjetivas.

En la tabla 2.10 se detalla la evaluación de los requisitos del motor, donde, 0 es el puntaje más bajo y 5 el más alto.

Tabla 2.10: Evaluación de parámetros

Parámetros	Motor con controlador electrónico	Motor de embrague	Suma	Ponderación por parámetro (%)
<b>Eléctrico</b>	5	5	10	27,03
<b>Dimensiones</b>	5	2	7	18,92
<b>Operación</b>	3	3	6	16,22
<b>Costo</b>	4	2	6	16,22
<b>Velocidad</b>	5	3	8	21,62
<b>Total</b>	22	15	37	100,00

Fuente: Autor

### **Alternativas ponderadas y selección del motor**

A continuación, se presenta la ponderación de las alternativas de donde se selecciona la propuesta con mayor porcentaje. Se utiliza la ecuación 2.9 para la ponderación por medio de una regla de tres simple.

$$x_n = \frac{b * c}{a} \quad (2.9)$$

Donde:

$x_n$ : porcentaje de la alternativa  $n$

$b$ : puntos totales de la alternativa

$c$ : representa el peso del 100 %

$a$ : suma de puntos totales de las alternativas

### **Motor con controlador electrónico**

$$x_1 = \frac{22 * 100}{37}$$

$$x_1 = 59,46 \%$$

Para el motor con controlador electrónico se obtiene 59,46 % del porcentaje total.

### **Motor de embrague**

$$x_2 = \frac{15 * 100}{37}$$

$$x_2 = 40,54 \%$$

En la alternativa del motor de embrague se obtiene 40,54 % del total.

Como selección final se elige el motor con controlador electrónico con un porcentaje de 59,46 % de aceptación según los criterios evaluados. Luego de realizar una búsqueda en el mercado nacional se encuentra un motor que cumple las características y es el que se adquiere para este proyecto. En la figura 2.9 se observa el servomotor seleccionado.

A pesar de que el motor esté sobredimensionado se lo selecciona debido a sus características especiales para la industria de la confección como son, la posibilidad de accionarlo con un pedal, de ajustar una velocidad estable y además incluye una polea motriz con lo que se elimina el costo de adquirir una de forma individual.



Figura 2.9: Motor y controlador electrónico

Fuente: Autor

## 2.4. Transmisión de potencia

El sistema de transmisión de potencia seleccionado es el de poleas y correa, debido a que es un sistema sencillo y económico, y es relativamente fácil de instalar y mantener. También se conoce que el motor seleccionado, ya cuenta con una polea motriz instalada lo que resulta en un ahorro y contribuye al objetivo de implementar la máquina a un costo más accesible.

### 2.4.1. Potencia de diseño

La potencia de diseño depende del factor de servicio del motor que varía en función del tipo de servicio y de máquina en la que se instala el motor. Se utiliza el Manual de poleas en V de Intermec (Anexo 3) para la selección de la polea motriz, la polea conductora y la banda.

En la figura 2.10 se observa los factores de servicio típicos para diferentes tipos de máquinas.

TIPOS DE MÁQUINAS O EQUIPOS	SERVICIO INTERMITENTE	SERVICIO NORMAL	SERVICIO CONTINUO
Agitadores para líquidos Sopladores y aspiradoras Transportadores de trabajo ligero Ventiladores de hasta 10 caballos de fuerza	1.1	1.2	1.3
Transportadores de banda para arena, grano, etc Bombas rotativas de desplazamiento positivo Máquinas herramientas Maquinaria de lavandería Mezcladores de masa Ejes de línea Generadores Maquinaria de imprenta Taladros-prensas-cortadores Cribas giratorias y vibratorias Ventiladores de mas de 10 caballos de fuerza	1.2	1.3	1.4

Figura 2.10: Factores de servicio típicos

Fuente: Manual de poleas en V - Intermec S.A. (Anexo 3)

Los tipos de servicio según las horas de trabajo son los siguientes:

- Intermitente: menos de 12 horas de trabajo al día.
- Normal: de 12 a 18 horas de trabajo al día.
- Continuo: más de 18 horas de trabajo al día.

Se considera una máquina de servicio intermitente debido a que el trabajo artesanal se lleva a cabo en jornadas diarias, también por motivo de trabajo humano no puede ser considerado un servicio de 12 o 18 horas de trabajo continuo.

Por otro lado, la máquina forma parte del proceso de confección de sombreros de paño y es controlada por un operario por lo que se la considera una máquina herramienta.

De acuerdo con los factores de servicio típicos de la figura 2.10 se establece un factor de servicio  $FS$  de 1,2.

La potencia de diseño se calcula con la siguiente ecuación:

$$P_d = HP \text{ del motor} * FS \quad (2.10)$$

Donde:

$P_d$ : potencia de diseño del motor al considerar las condiciones de trabajo ( $HP$ )

$HP \text{ del motor}$ : potencia nominal del motor seleccionado en caballos de fuerza ( $HP$ )

$FS$ : factor de servicio del motor (adimensional)

Al reemplazar los datos conocidos en la ecuación 2.10 se obtiene:

$$P_d = 0,7375 (HP) * 1,2$$

$$P_d = 0,8850 (HP)$$

Se obtiene una potencia de diseño de 0,8850 (HP) ó 659,9444 (Watts).

#### **2.4.2. Tipo de perfil de correa**

El tipo de perfil de correa varía dependiendo de la potencia de diseño y de la velocidad del motor. Se revisa el Manual de poleas en V de Intermec y se analiza la figura 2.11 en la que se visualiza los tipos de perfil de correa más adecuado. Se consulta la tabla de correas clásicas debido a su disponibilidad en el mercado nacional.

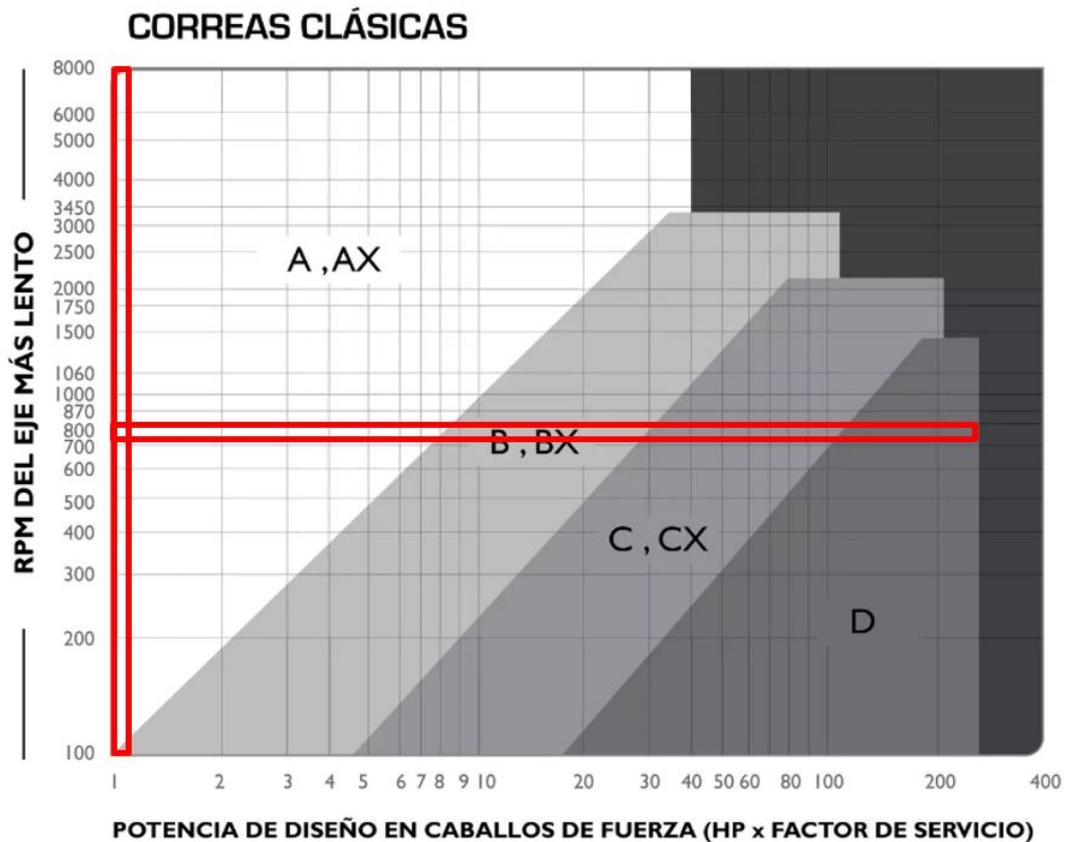


Figura 2.11: Correas clásicas

Fuente: Manual de poleas en V - Intermec S.A. (Anexo 3)

Con una potencia de diseño de 0,8850 (HP) y la velocidad del motor de 800 RPM se establece que el tipo de correa adecuado es una del tipo A ó Ax.

### 2.4.3. Relación de transmisión

La relación de transmisión se obtiene de la relación de la velocidad de rotación de salida (polea conducida) entre la de entrada (polea motriz). Se calcula con la siguiente ecuación:

$$i = \frac{N_C}{N_M} \quad (2.11)$$

Donde:

$i$ : relación de transmisión (adimensional)

$N_C$ : velocidad angular de salida (RPM)

$N_M$ : velocidad angular de entrada (RPM)

Al reemplazar los valores de las velocidades en la ecuación 2.11 se obtiene:

$$i = \frac{334,5827 \text{ RPM}}{800 \text{ RPM}}$$
$$i = 0,4182$$

El resultado es 0,4182 lo que también indica que se trata de una relación de transmisión de reducción de velocidad.

#### 2.4.4. Polea motriz

Uno de los objetivos de este proyecto es implementar la máquina al menor costo posible, por esta razón se decide usar la polea motriz instalada conjuntamente con el servomotor seleccionado.

Se verifica si la polea tiene la capacidad de transmitir la potencia de diseño a la velocidad del motor, para ello, Intermec recomienda consultar la tabla de capacidad de transmisión por canal en caballos de fuerza (*HP*) según el tipo de correa.

La tabla muestra el diámetro exterior recomendado, por lo que, se mide el diámetro exterior de la polea motriz y el resultado se observa en la figura 2.12.

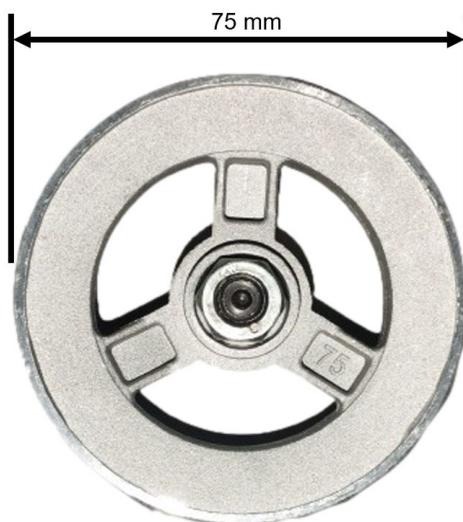


Figura 2.12: Diámetro exterior de la polea motriz

Fuente: Autor

El diámetro exterior de la polea motriz es 75 milímetros, sabiendo este valor se busca este diámetro en las tablas del tipo de polea del Manual de Intermec.

La tabla se aprecia en la figura 2.13.

RPM del Eje más Rápido	Diámetro exterior de la Polea Motriz (en milímetros)									
	55	60	65	67	70	75	80	85	90	105
100	0.09	0.11	0.13	0.15	0.17	0.19	0.21	0.23	0.27	0.33
200	0.16	0.20	0.24	0.27	0.31	0.35	0.39	0.43	0.50	0.61
300	0.23	0.28	0.33	0.38	0.43	0.50	0.55	0.62	0.72	0.88
400	0.28	0.35	0.42	0.49	0.55	0.64	0.71	0.80	0.93	1.14
500	0.34	0.42	0.50	0.59	0.67	0.78	0.86	0.97	1.13	1.38
575	0.37	0.47	0.56	0.66	0.75	0.88	0.97	1.10	1.28	1.57
600	0.38	0.48	0.58	0.68	0.78	0.91	1.00	1.14	1.33	1.63
690	0.43	0.54	0.65	0.76	0.88	1.02	1.13	1.28	1.50	1.84
700	0.43	0.55	0.66	0.77	0.89	1.04	1.15	1.30	1.52	1.86
725	0.44	0.56	0.68	0.80	0.91	1.07	1.18	1.34	1.57	1.92
800	0.47	0.60	0.73	0.86	0.99	1.16	1.30	1.45	1.70	2.10
870	0.50	0.64	0.78	0.92	1.06	1.24	1.38	1.56	1.83	2.29
900	0.52	0.66	0.80	0.95	1.10	1.28	1.42	1.60	1.90	2.32
950	0.54	0.69	0.84	0.99	1.14	1.34	1.50	1.68	1.98	2.43
1000	0.56	0.72	0.87	1.03	1.20	1.40	1.55	1.76	2.07	2.54

Figura 2.13: Tabla de diámetros exteriores recomendados

Fuente: Manual de poleas en V - Intermecc S.A. (Anexo 3)

Se confirma que la polea motriz que viene instalada en el servomotor puede ser utilizada para este proyecto, ya que, al tener 75 milímetros (2,95 in) de diámetro exterior y trabajar a 800 RPM puede transmitir hasta una potencia de 1,16 HP en su único canal que es una potencia mayor a la de trabajo y a la potencia de diseño.

## 2.4.5. Polea conducida

La polea conducida es la que recibe el movimiento de la polea motriz y es la que está conectada al con la carga que se desea mover. Para la selección de la polea conducida se aplica la ecuación siguiente:

$$N_M * D_M = N_C * D_C \quad (2.12)$$

Donde:

$N_M$ : velocidad angular de la polea motriz (RPM)

$D_M$ : diámetro exterior de la polea motriz (mm)

$N_C$ : velocidad angular de la polea conducida (RPM)

$D_C$ : diámetro exterior de la polea conducida (mm)

Al reemplazar los valores conocidos en la ecuación 2.12 y al despejar  $D_C$  se obtiene:

$$800 \text{ RPM} * 75 \text{ (mm)} = 334,5577 \text{ RPM} * D_C$$

$$D_C = \frac{800 \text{ RPM} * 75 \text{ (mm)}}{334,5577 \text{ RPM}}$$

$$D_C = 179,3413 \text{ (mm)}$$

$$D_C = 7,0607 \text{ (in)}$$

Se determina que la polea conducida debe tener un diámetro externo de 7 pulgadas y contar con un solo canal al igual que la polea motriz.

En la figura 2.14 se observa la polea conducida manufacturada por fundición de aluminio.



Figura 2.14: Polea conducida

Fuente: Autor

#### **2.4.6. Distancia entre centros**

Es la distancia entre los centros de las dos poleas, es un valor importante porque ayuda a determinar la selección del diámetro de la correa de transmisión.

En el manual de Intermec se presentan tres tipos de distancias entre centros, una distancia mínima, una recomendada y una distancia máxima. La disponibilidad de estas tres opciones permite seleccionar la distancia que más se adapte al espacio disponible para la instalación del motor.

En la figura 2.15 se observa los parámetros que intervienen en el cálculo de la distancia entre centros.

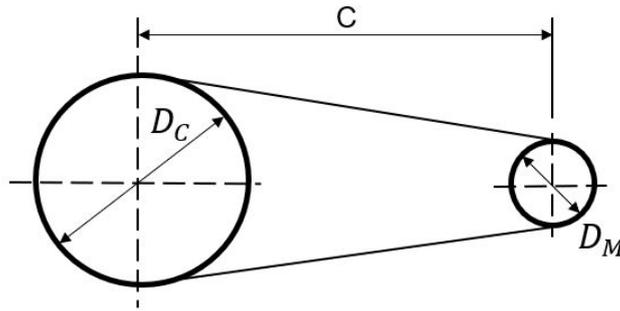


Figura 2.15: Distancia entre los centros de las poleas

Fuente: Autor

La ecuación de la distancia entre centros mínima es la siguiente:

$$C = 0,7 * (D_C + D_M) \quad (2.13)$$

Donde:

$C$ : distancia entre centros (in)

$D_C$ : diámetro exterior de la polea conducida (in)

$D_M$ : diámetro exterior de la polea motriz (in)

Se reemplaza los diámetros en la ecuación 2.13 y se obtiene:

$$C = 0,7 * (7 \text{ (in)} + 2,95 \text{ (in)})$$

$$C = 6,9650 \text{ (in)}$$

La distancia entre centros mínima es 6,9650 pulgadas, que por motivo de disponibilidad de correas en el mercado, se la redondea a 7 pulgadas.

La ecuación de la distancia entre centros recomendada se muestra a continuación:

$$C = 1,5 * (D_C + D_M) \quad (2.14)$$

Al sustituir los diámetros en la ecuación 2.14 se obtiene la distancia recomendada:

$$C = 1,5 * (7 \text{ (in)} + 2,95 \text{ (in)})$$

$$C = 14,9250 \text{ (in)}$$

Se redondea el valor teniendo 15 pulgadas.

Para calcular la distancia entre centros máxima se aplica la ecuación a continuación:

$$C = 2 * (D_C + D_M) \quad (2.15)$$

Sustituyendo los diámetros en la ecuación 2.15 se obtiene la distancia máxima:

$$C = 2 * (7 \text{ (in)} + 2,95 \text{ (in)})$$

$$C = 19,9000 \text{ (in)}$$

Redondeando el valor a un número entero se obtiene 20 pulgadas.

La selección final de la distancia entre centros es la recomendada de *15 pulgadas*, por la razón de que esta distancia es la que tiene mejor capacidad de transmisión.

Por otro lado, la distancia mínima hace que las poleas estén más cerca y la correa forma un ángulo más abierto sobre la polea pequeña disminuyendo su área de contacto y capacidad de transmisión. De igual manera, se descarta la distancia máxima por falta de espacio en el tablero de la máquina.

## 2.4.7. Longitud y selección de la correa

La longitud de la correa es uno de los parámetros más relevantes antes de la selección final de la correa.

La longitud se calcula con la ecuación que sigue:

$$L_p = 2C + 1,57(D_C + D_M) + \frac{(D_C + D_M)^2}{4C} \quad (2.16)$$

Donde:

$L_p$ : Largo de la correa (in)

$D_C$ : Diámetro de la polea conducida (in)

$D_M$ : Diámetro de la polea motriz (in)

$C$ : Distancia entre centros (in)

Al calcular  $L_p$  con la ecuación 2.16 se obtiene:

$$L_p = 2(15 \text{ (in)}) + 1,57(7 \text{ (in)} + 2,95 \text{ (in)}) + \frac{(7 \text{ (in)} + 2,95 \text{ (in)})^2}{4(15 \text{ (in)})}$$

$$L_p = 30 \text{ (in)} + 15,6215 \text{ (in)} + 1,6500 \text{ (in)}$$

$$L_p = 47,2715 \text{ (in)}$$

Como resultado se obtiene que la longitud de la correa en V debe ser 47,2715 (in) ó 1,2007 (m).

Se consulta la tabla de la longitud de correa [34] para obtener la referencia de la correa en el mercado, como se observa en la figura 2.16.

SECCION A		
FAJA N°	LONG. PASO PULG.	K <sub>L</sub>
A26	27.3	0.81
A31	32.3	0.84
A33	34.3	0.85
A35	36.3	0.87
A36	37.3	0.87
A38	39.3	0.88
A40	41.3	0.89
A42	43.3	0.90
A43	44.3	0.90
A46	47.3	0.92

Figura 2.16: Referencia de la correa (Anexo 4)

Fuente: [34]

Se selecciona la correa de referencia A46 de 47,30 (in) pues es la que más se acerca a la longitud de correa calculada.

En la figura 2.17 se aprecia la correa seleccionada.



Figura 2.17: Correa de referencia A46

Fuente: Autor

## 2.4.8. Ángulos de contacto

Los ángulos de contacto se calculan para posteriormente hallar las tensiones que se generan en la correa. Estas tensiones son de mucha importancia en el diseño del eje. Los ángulos que se van a calcular son los que se muestran en la figura 2.18.

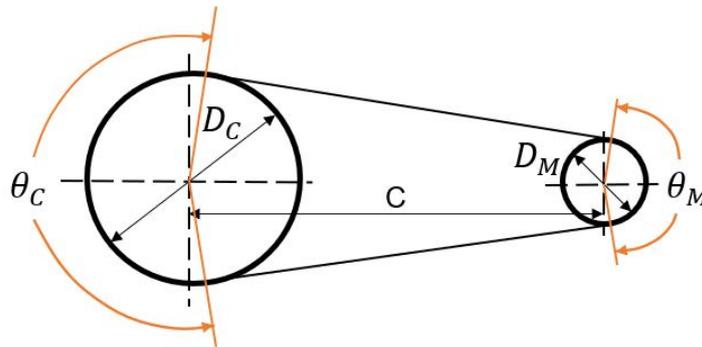


Figura 2.18: Ángulos de contacto en las poleas

Fuente: Autor

El ángulo de contacto para las poleas motriz y conducida se calcula con la siguiente fórmula:

$$\theta_C, \theta_M = \pi \pm 2\text{sen}^{-1} \left( \frac{D_C - D_M}{2C} \right) \quad (2.17)$$

Donde:

$\theta_C$ : ángulo de contacto de la polea conducida (rad)

$\theta_M$ : ángulo de contacto de la polea motriz (rad)

$D_C$ : Diámetro de la polea conducida (in)

$D_M$ : Diámetro de la polea motriz (in)

$C$ : Distancia entre centros (in)

Nota: se emplea la ecuación 2.17 con el signo de adición (+) para calcular  $\theta_C$  y se utiliza el signo de sustracción (-) para calcular  $\theta_M$ .

Para obtener  $\theta_C$  se reemplazan los parámetros correspondientes en la ecuación 2.15 como sigue:

$$\theta_C = \pi + 2\text{sen}^{-1} \left( \frac{7 \text{ (in)} - 2,95 \text{ (in)}}{2 * 15 \text{ (in)}} \right)$$

$$\theta_C = \pi + 0,2708$$

$$\theta_C = 3,4124 \text{ (rad)}$$

Se obtiene que el ángulo de contacto de la polea conducida es 3,4124 (rad) ó 195,5161°.

Sustituyendo los diámetros y la distancia entre centros en la ecuación 2.17 se logra calcular el ángulo  $\theta_M$  como a continuación:

$$\theta_M = \pi - 2\text{sen}^{-1} \left( \frac{7 \text{ (in)} - 2,95 \text{ (in)}}{2 * 15 \text{ (in)}} \right)$$

$$\theta_M = \pi - 0,2708$$

$$\theta_M = 2,8708 \text{ (rad)}$$

Se halla el ángulo  $\theta_M$  que tiene el valor de 2,8708 (rad) ó 164,4847°.

### 2.4.9. Tensiones de la correa

La correa cuenta con dos tensiones, una del lado tirante y otra correspondiente al lado flojo como se muestra en la figura 2.19.

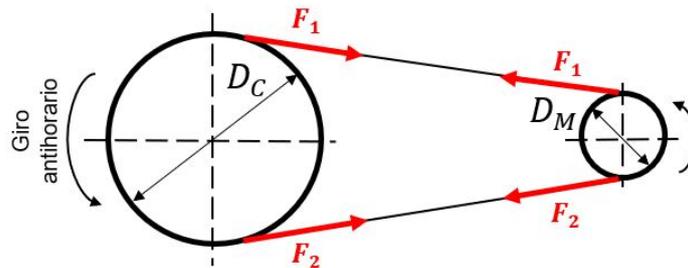


Figura 2.19: Tensiones de la correa

Fuente: Autor

Las tensiones de la correa del lado flojo y del lado tirante se calculan con la ecuación siguiente:

$$P_d = (F_1 - F_2) * v \quad (2.18)$$

Donde:

$P_d$ : potencia de diseño (Watt)

$F_1$ : fuerza en el lado tirante (N)

$F_2$ : fuerza en el lado flojo (N)

$v$ : velocidad lineal de la correa (m/s)

La velocidad lineal de la correa se calcula con la ecuación a continuación:

$$v = r * W \quad (2.19)$$

Donde:

$v$ : velocidad lineal (m/s)

$r$ : radio de la polea (m)

$W$ : velocidad angular de la polea (rad/s)

La velocidad lineal de la correa se puede calcular ya sea con el radio y la velocidad angular de la polea motriz o con los de la polea conducida. Se usan los datos de la polea conducida los cuales son:

- El radio de la polea conducida es 3,5 (in), lo que son 0,0889 (m)
- La velocidad angular de la polea conducida es 334,55577 RPM, lo que son 35,03480 (rad/s)

Se procede a reemplazar los valores de la polea conducida en la ecuación 2.19:

$$v = 0,0889 \text{ (m)} * 35,03480 \text{ (rad/s)}$$

$$v = 3,1146 \text{ (m/s)}$$

Se obtiene una velocidad lineal de la correa de 3,1146 (m/s) ó lo que es lo mismo 613,1102 (pie/min).

Al despejar las fuerzas de la ecuación 2.18 y reemplazar la velocidad lineal y la potencia de diseño se obtiene lo siguiente:

$$F_1 - F_2 = \frac{P_d}{v}$$

$$F_1 - F_2 = \frac{659,9444 \text{ (Watts)}}{3,1146 \text{ (m/s)}}$$

$$F_1 - F_2 = 211,8874 \text{ (N)}$$

Para posteriores cálculos ésta ecuación se la denomina como (1).

Es necesaria otra ecuación que relacione  $F_1$  y  $F_2$  para luego hallar cada fuerza de forma independiente, para ello, se aplica la ecuación de Euler-Eytelwein la cual describe la tensión de

la correa en una polea [35]. Esta fórmula se resume en la siguiente forma:

$$\frac{F_1}{F_2} = e^{\frac{f\alpha}{\sin(\phi/2)}} \quad (2.20)$$

Donde:

$F_1$ : fuerza en el lado tirante (N)

$F_2$ : fuerza en el lado flojo (N)

$f$ : coeficiente de rozamiento entre polea y correa

$\alpha$ : ángulo de contacto entre correa y polea (rad)

$\phi$ : ángulo del trapecio que forma la sección de la correa (rad)

### Coeficiente de rozamiento entre polea y correa

En en la figura 2.20 se presentan los coeficientes de rozamiento típicos entre diferentes materiales de poleas y correas.

Material de la correa	Material de la polea						
	Hierro Fundido			Madera	Papel comprimido	Superficie de cuero	Superficie de caucho
	Seco	Mojado	Ingrasado				
Cuero curtido con tanino de roble	0.25	0.20	0.15	0.30	0.33	0.38	0.40
Cuero al cromo curtido	0.35	0.32	0.22	0.40	0.45	0.48	0.50
Lona tejida	0.20	0.15	0.12	0.23	0.25	0.27	0.30
Algodón tejido	0.22	0.15	0.12	0.25	0.28	0.27	0.30
Caucho	0.30	0.18	-	0.32	0.35	0.40	0.42
Balata	0.32	0.20	-	0.35	0.38	0.40	0.42
Caucho con recubrimiento y Caucho tejido	0.32	0.15	-	0.35	0.38	-	-
Poliamida	0.50 a 0.80						
Uretano	0.70						

Figura 2.20: Coeficientes de fricción para diferentes materiales de poleas y correas

Fuente: [36]

La polea se manufactura por medio de fundición y se mantiene seca, por otro lado, las correas clásicas de tipo A están hechas de caucho, algunas características de este material son:

- La resistencia a la abrasión es alta.

- Las correas de este material funcionan suavemente y con poco ruido.
- El caucho de alta resistencia es muy útil para fines industriales duros y pesados.
- Resistencia mecánica y flexibilidad alta.
- Resistencia a productos químicos.
- El requisito de limpieza es mínimo.

Fuente: [37]

De acuerdo a los materiales descritos se selecciona un coeficiente de fricción  $f$  de 0,30.

### Ángulo del trapecio que forma la sección de la correa

El ángulo del trapecio  $\phi$  de la correa que proporciona el manual de Intermec para la selección de correas en V se muestra en la figura 2.21.

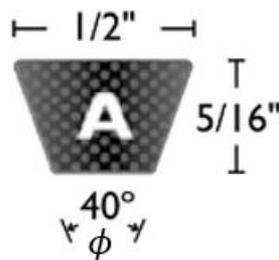


Figura 2.21: Ángulo del trapecio de la correa tipo A

Fuente: Manual de poleas en V - Intermec S.A. (Anexo 3)

Se observa que el ángulo del trapecio de la correa es de  $40^\circ$  ó  $0,6981$  (rad).

### Cálculo de las tensiones de la correa

Se sustituyen los datos conocidos en la ecuación 2.20 de modo que se obtiene lo siguiente:

$$\frac{F_1}{F_2} = e^{\frac{0,30 \cdot 3,4124 \text{ (rad)}}{\text{sen}(0,6981 \text{ (rad)}/2)}}$$

$$\frac{F_1}{F_2} = 19,9512$$

$$F_1 = 19,9512 * F_2$$

A esta ecuación se la denomina como ecuación (2).

Se cuenta con el sistema de ecuaciones (1) y (2) y dos incógnitas  $F_1$  y  $F_2$ , por lo que debe resolver el sistema para hallar las tensiones de la correa.

$$\begin{cases} F_1 - F_2 = 211,8874 \text{ (N)} & (1) \\ F_1 = 19,9512F_2 & (2) \end{cases}$$

Al reemplazar (2) en (1) se obtiene:

$$(19,9512 * F_2) - F_2 = 211,8874 \text{ (N)}$$

$$F_2(19,9512 - 1) = 211,8874 \text{ (N)}$$

$$F_2(18,9512) = 211,8874 \text{ (N)}$$

$$F_2 = \frac{211,8874 \text{ (N)}}{18,9512}$$

$$F_2 = 11,1807 \text{ (N)}$$

Sustituyendo  $F_2$  en la ecuación (2) se encuentra el valor de  $F_1$ :

$$F_1 = 19,9512(11,1807 \text{ (N)})$$

$$F_1 = 223,0684 \text{ (N)}$$

Se obtienen los valores de las tensiones en la correa siendo  $F_1 = 223,0684 \text{ (N)}$  y  $F_2 = 11,1807 \text{ (N)}$  y en el sistema imperial valen  $F_1 = 50,1478 \text{ (lbf)}$  y  $F_2 = 2,5135 \text{ (lbf)}$ .

#### 2.4.10. Vida útil de la correa

El tiempo de vida útil de una correa de transmisión es el período durante el cual la correa puede funcionar correctamente sin la necesidad de que sea reemplazada.

Con la siguiente fórmula se obtiene el tiempo de vida en horas de la correa:

$$t = \frac{N_p * L_p}{720 * v} \quad (2.21)$$

Donde:

$t$ : tiempo de vida de la correa (horas)

$N_p$ : número de pasadas de la correa

$L_p$ : largo de la correa (in)

$v$ : velocidad lineal de la correa (pie/min)

Primero, es necesario calcular el número de pasadas de la correa, el cual se refiere a la cantidad de veces que la correa pasa por encima de las poleas lo que con el tiempo causa desgaste y reduce la vida útil de la correa.

Para hallar el número de pasadas se aplica la expresión a continuación:

$$N_p = \left[ \left( \frac{K}{T_1} \right)^{-b} + \left( \frac{K}{T_2} \right)^{-b} \right]^{-1} \quad (2.22)$$

Donde:

$N_p$ : número de pasadas de la correa

$K$ : primer factor de  $10^8$  a  $10^9$  picos de fuerza que causan daño en la correa

$b$ : segundo factor de  $10^8$  a  $10^9$  picos de fuerza que causan daño en la correa

$T_1$ : tensión equivalente en la polea motriz (lbf)

$T_2$ : tensión equivalente en la polea conducida (lbf)

Para obtener  $K$  y  $b$  se consulta la tabla de parámetros de durabilidad para algunas secciones de correas en V de la figura 2.22.

Sección de la banda	10 <sup>8</sup> a 10 <sup>9</sup> picos de fuerza		10 <sup>9</sup> a 10 <sup>10</sup> picos de fuerza		Diámetro mínimo de polea, pulg
	$K$	$b$	$K$	$b$	
A	674	11.089			3.0
B	1 193	10.926			5.0
C	2 038	11.173			8.5
D	4 208	11.105			13.0
E	6 061	11.100			21.6
3V	728	12.464	1 062	10.153	2.65
5V	1 654	12.593	2 394	10.283	7.1
8V	3 638	12.629	5 253	10.319	12.5

Figura 2.22: Parámetros de durabilidad para algunas secciones de correas en V

Fuente: [38]

Para la correa de tipo A seleccionada  $K$  vale 674 y  $b$  es igual a 11,089 picos de fuerza.

El cálculo de la vida útil se complica debido a que la flexión induce esfuerzos de flexión en la correa [38], por ello, se deben calcular las tensiones equivalentes. La tensión para la polea

motriz se calcula con la siguiente ecuación:

$$T_1 = F_1 + \frac{K_b}{D_M} \quad (2.23)$$

Donde:

$T_1$ : tensión equivalente en la polea motriz (lbf)

$F_1$ : fuerza en el lado tirante (lbf)

$K_b$ : parámetro de relación tensión-pasada para correas en V

$D_M$ : diámetro externo de la polea motriz (in)

El parámetro  $K_b$  se obtiene de experimentos realizados por la compañía Gates Rubber Co. [38] cuyos datos se visualizan en la figura 2.23.

Sección de la banda	$K_b$	$K_c$
A	220	0.561
B	576	0.965
C	1 600	1.716
D	5 680	3.498
E	10 850	5.041
3V	230	0.425
5V	1098	1.217
8V	4830	3.288

Figura 2.23: Parámetros de tensión-pasada para correas en V

Fuente: [38]

Se obtiene que el parámetro  $K_b$  para correas de tipo A es 220.

Al reemplazar los datos en la ecuación 2.23 se encuentra la magnitud de  $T_1$ :

$$T_1 = 50,1478 \text{ (lbf)} + \frac{220}{2,95 \text{ (in)}}$$

$$T_1 = 124,7241 \text{ (lbf)}$$

El valor de la tensión  $T_1$  es 124,7241 (lbf) ó 554,8004 (N).

Con la siguiente ecuación se calcula la tensión  $T_2$

$$T_2 = F_1 + \frac{K_b}{D_C} \quad (2.24)$$

Donde:

$T_2$ : tensión equivalente en la polea conducida (lbf)

$F_1$ : fuerza en el lado tirante (lbf)

$K_b$ : parámetro de relación tensión-pasada para correas en V

$D_C$ : diámetro externo de la polea motriz (in)

Se sustituyen los datos en la ecuación 2.24 y se encuentra la tensión  $T_2$ :

$$T_2 = 50,1478 \text{ (lbf)} + \frac{220}{7 \text{ (in)}}$$

$$T_2 = 81,5764 \text{ (lbf)}$$

Se halla que la tensión equivalente  $T_2$  es igual a 81,5764 (lbf) ó 362,8699 (N).

Con las tensiones calculadas y los parámetros  $K$  y  $b$  establecidos se encuentra el número de pasadas  $N_b$  de la correa sustituyendo estos valores en la ecuación 2.22:

$$N_p = \left[ \left( \frac{674}{124,7241} \right)^{-11,089} + \left( \frac{674}{81,5764} \right)^{-11,089} \right]^{-1}$$

$$N_p = 132164502,8 \text{ pasadas}$$

$$N_p = 1,3216 * 10^8 \text{ pasadas}$$

Se calcula que la correa seleccionada puede trabajar hasta  $1,3216 * 10^8$  pasadas.

El tiempo de vida útil de la correa está dado en horas y se lo calcula con la ecuación 2.21:

$$t = \frac{1,321 * 10^8 \text{ pasadas} * 47,2715 \text{ (in)}}{720 * 619,1102 \text{ (pie/min)}}$$

$$t = 14008,8261 \text{ (h)}$$

Se calcula que el tiempo de vida de la correa es de más de 14 mil horas, específicamente, 14008,8261 horas de uso, lo que se traducen en 583,7 días ó aproximadamente 1 año y 7 meses de trabajo continuo de la máquina.

## 2.5. Diseño del eje

Se define como un eje a un elemento esbelto que transmite potencia [39].

Algunos aspectos a considerar para el diseño de ejes son el material del mismo, la configuración del eje, el diseño basado en esfuerzos o en desplazamientos, entre otros. Es recomendable hallar todas las cargas que influyen en el eje antes de diseñar, como se aprecia en la figura 2.24.

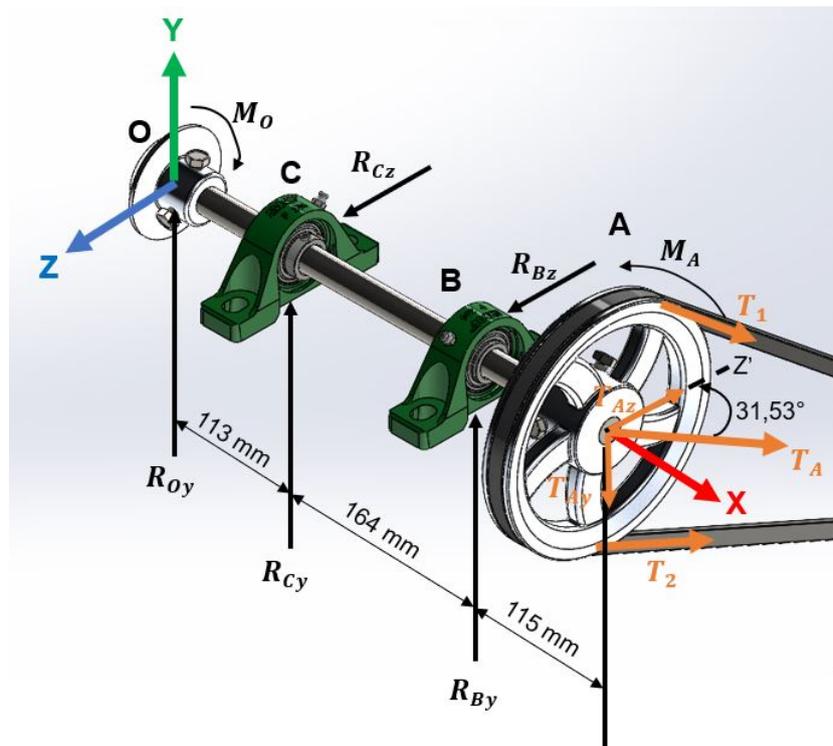


Figura 2.24: Reacciones y tensiones en el eje

Fuente: Autor

### 2.5.1. Cálculo de las reacciones

Las reacciones en las chumaceras actúan en el eje Y debido a que se asientan sobre una superficie plana y contrarrestan la componente en Y de  $T_A$  para estar en equilibrio, sucede lo mismo con las reacciones en el eje Z. La reacción positiva en Y del señalador en el punto O se da porque entra en contacto perpendicularmente con el paño del sombrero en el momento del trabajo.

La reacción  $R_{Oy}$  representa a la fuerza promedio de la mano que puede ejercer un adulto sano del sexo masculino con su miembro superior dominante, esta fuerza es de 51,7 kilopondios (kgf) [40], que se puede representar en la unidad de fuerza del sistema internacional mediante

la siguiente ecuación:

$$F = m * g \quad (2.25)$$

Donde:

$F$ : fuerza (N)

$m$ : masa (kg)

$g$ : aceleración de la gravedad ( $m/s^2$ )

Al sustituir los valores en la ecuación 2.25 se obtiene el valor de la reacción  $R_{Oy}$ , es decir la fuerza.

$$R_{Oy} = 51,7 \text{ (kg)} * 9,8066 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$R_{Oy} = 507,0012 \text{ (N)}$$

Se obtiene que el valor de la reacción  $R_{Oy}$  es 507,0012 (N).

Se procede a calcular cada una de las reacciones restantes. La tensión resultante  $T_A$  se calcula de la siguiente manera.

$$T_A = T_1 + T_2 \quad (2.26)$$

Donde:

$T_A$ : tensión resultante en el punto A (N)

$T_1$ : tensión en el lado tirante (N)

$T_2$ : tensión en el lado flojo (N)

Se sustituyen los valores de las tensiones en la correa en la ecuación 2.26:

$$T_A = 554,8004 \text{ (N)} + 362,8699 \text{ (N)}$$

$$T_A = 917,6703 \text{ (N)}$$

La tensión resultante en A  $T_A$  es igual a 917,6703 (N).

El momento resultante se calcula con la diferencia entre las tensiones y el radio de la polea a través de la ecuación siguiente:

$$M_A = \Delta T_A * r_C \quad (2.27)$$

Donde:  $M_A$ : momento en el punto A (Nm)

$\Delta T_A$ : variación de tensión en la polea (N)

$r_C$ : radio de la polea conducida (m)

Al utilizar la ecuación 2.27 se obtiene:

$$M_A = (554,8004 - 362,8699) \text{ (N)} * 0,0889 \text{ (m)}$$

$$M_A = 17,2546 \text{ (Nm)}$$

El momento  $M_A$  vale 17,2564 (Nm)  $\odot +$ .

### Reacciones en el plano X - Y

Se procede a hallar las reacciones en el plano según la figura 2.25.

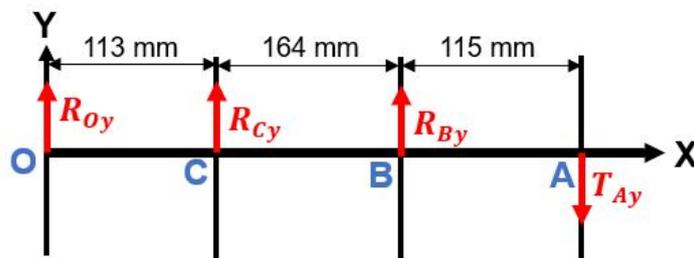


Figura 2.25: Cargas en el plano X - Y

Fuente: Autor

Se halla las reacciones  $R_{By}$  y  $R_{Cy}$  haciendo uso de la ecuación de equilibrio:

$$(\uparrow +) \sum F_y = 0 \quad (2.28)$$

Se obtiene:

$$R_{Oy} + R_{By} + R_{Cy} - T_{Ay} = 0$$

$$R_{By} + R_{Cy} = T_{Ay} - R_{Oy}$$

$$R_{By} + R_{Cy} = [917,6703 \text{ (N)} * \sin(31,53^\circ)] - 507 \text{ (N)}$$

$$R_{By} + R_{Cy} = -27,1090 \text{ (N)}$$

A esta ecuación se la demonina como (1).

Ahora se procede a aplicar la ecuación de sumatoria de momentos en el punto O:

$$(\odot +) \sum M_O = 0 \quad (2.29)$$

Se resuelve según la ecuación 2.29:

$$R_{Cy}(113) + R_{By}(277) - T_{Ay}(392) = 0$$

$$113R_{Cy} + 277R_{By} = 188117,2857 \text{ (N)}$$

A esta ecuación se la denomina como (2).

Se cuenta con el sistema de ecuaciones (1) y (2):

$$\begin{cases} R_{Cy} + R_{By} = -27,1090 \text{ (N)} & (1) \\ 113R_{Cy} + 277R_{By} = 188117,2857 \text{ (N)} & (2) \end{cases}$$

Se soluciona el sistema de dos ecuaciones con lo que se hallan las reacciones en B y C:

$$R_{By} = 1165,7354 \text{ (N)}$$

$$R_{Cy} = -1192,8456 \text{ (N)}$$

La reacción  $R_{By}$  es igual a 1165,7354 (N) y  $R_{Cy}$  vale 1192,8456 (N) en sentido contrario al supuesto.

### Reacciones en el plano X - Z

Se cuenta con las reacciones según muestra la figura 2.26.

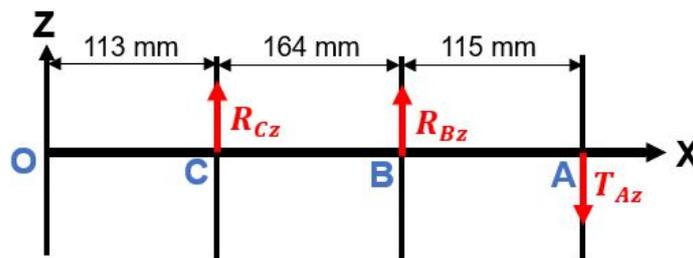


Figura 2.26: Cargas en el plano X - Z

Fuente: Autor

Se aplica la ecuación de sumatoria de fuerzas en Z:

$$(\uparrow +) \sum F_z = 0 \tag{2.30}$$

Se obtiene:

$$R_{Bz} + R_{Cz} - T_{Az} = 0$$

$$R_{Bz} + R_{Cz} = 917,6703 \text{ (N)} * \cos(31,53^\circ)$$

$$R_{Bz} + R_{Cz} = 782,1914 \text{ (N)}$$

A esta ecuación se la nombra como (1). Se aplica la ecuación de sumatoria de momentos en el punto  $O$ :

$$(\odot +) \sum M_O = 0$$

Se calcula como se indica a continuación:

$$R_{Cz}(113) + R_{Bz}(277) - T_{Az}(392) = 0$$

$$113R_{Cz} + 277R_{Bz} = (782,1914 \text{ (N)})(392)$$

$$113R_{Cz} + 277R_{Bz} = 306619,0288 \text{ (N)}$$

A esta ecuación se la denomina como (2).

Se resuelve el sistema de ecuaciones (1) y (2):

$$\begin{cases} R_{cz} + R_{Bz} = 782,1914 \text{ (N)} & (1) \\ 113R_{Cz} + 277R_{Bz} = 306619,0288 \text{ (N)} & (2) \end{cases}$$

Las reacciones en B y C en el plano X-Z son:

$$R_{Bz} = 1330,6793 \text{ (N)}$$

$$R_{Cz} = -548,4879 \text{ (N)}$$

Se encuentra que  $R_{Bz}$  es igual a 1330,6793 (N) y  $R_{Cz}$  es 548,4879 (N) en sentido opuesto al supuesto en la figura 2.26.

### Equilibrio rotacional

Cuando la suma de los torques o momentos en el sistema es igual a cero, se dice que el sistema está en equilibrio rotacional.

Para garantizar el equilibrio se aplica la siguiente ecuación:

$$\sum M = 0 \tag{2.31}$$

Al realizar la sumatoria en la ecuación 2.31 se obtiene:

$$M_A + M_O = 0$$

$$M_O = -M_A$$

$$M_O = -17,2546 \text{ (N)m}$$

Se calcula que el momento  $M_O$  es igual a 17,2546 (Nm) ( $\odot -$ ).

A continuación, en la tabla 2.11 se resumen las reacciones y sus valores correspondientes:

Tabla 2.11: Tabla de reacciones en el eje

Referencia	Reacción	Magnitud	Unidad
<b>Plano X - Y</b>	$R_{Oy}$	507,0012	N
	$R_{Cy}$	-1192,8456	N
	$R_{By}$	1165,7354	N
	$T_{Ay}$	-479,8910	N
<b>Plano X - Y</b>	$R_{Cz}$	-548,4879	N
	$R_{Bz}$	1330,6793	N
	$T_{Az}$	-782,1914	N
<b>Momento</b>	$M_O$	-17,2546	Nm
	$M_A$	17,2546	Nm

Fuente: Autor

## 2.5.2. Aspectos a considerar

Existen algunos aspectos que se deben considerar para el diseño del eje, estos son:

- **Material a utilizar:** se estima que el material del eje es el AISI 4340, el cual es un acero altamente resistente a la tracción, torsión y a cambios de flexión, relativamente accesible y de alta disponibilidad en el mercado ecuatoriano.
- **Configuración del eje:** el eje no cuenta con hombros o escalones, por lo que, se establece que el diámetro es el mismo en toda la longitud y no cuenta con cuñeros para la polea y señalador, ya que, estos se ajustan con tornillos prisioneros al eje. El diseño se realiza con un diámetro de 3/4 de pulgada o 19,05 milímetros.
- **Diseño por esfuerzo y resistencia:** el eje se diseña para el esfuerzo y resistencia con el objetivo de combinar los diferentes tipos de esfuerzos usando el teorema de Von Mises.

Además, se considera que las cargas axiales son muy pequeñas por lo que se dejan fuera de las ecuaciones de diseño.

- **Confiabilidad:** el factor de confiabilidad perteneciente a los Factores de Marín [38], se considera de 99.9 %.

### 2.5.3. Determinación del tipo de esfuerzo

El esfuerzo aplicado en el eje giratorio a flexión es uno de tipo alternante, ya que, causa un esfuerzo  $+\sigma_{max}$  de tracción y luego un esfuerzo  $-\sigma_{min}$  de compresión en el eje, también hace que el esfuerzo normal medio  $\sigma_m$  sea igual a cero [38].

La figura 2.27 representa este tipo de esfuerzo.

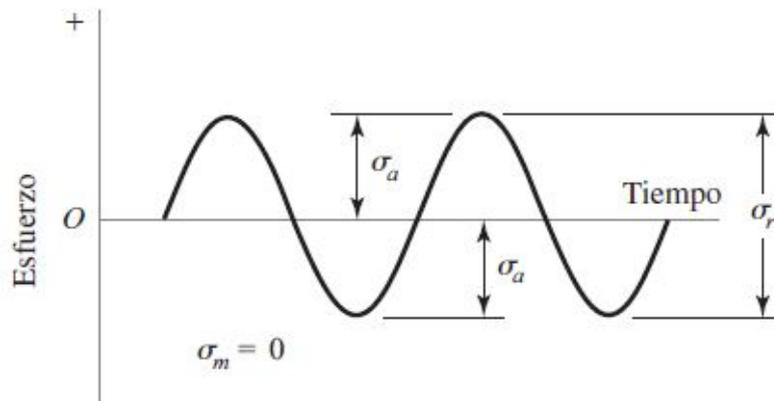


Figura 2.27: Relación de esfuerzo - tiempo de tipo alternante

Fuente: [38]

Las componentes del esfuerzo en la figura son:

$\sigma_a$ : componente de la amplitud

$\sigma_r$ : intervalo de esfuerzo

$\sigma_m$ : componente de esfuerzo medio

### 2.5.4. Diagrama de fuerza cortante y momento flector en el plano X-Y

Este diagrama se aplica para encontrar la fuerza cortante y el momento flector máximos en el plano, la figura 2.28 muestra este diagrama para el plano X-Y.

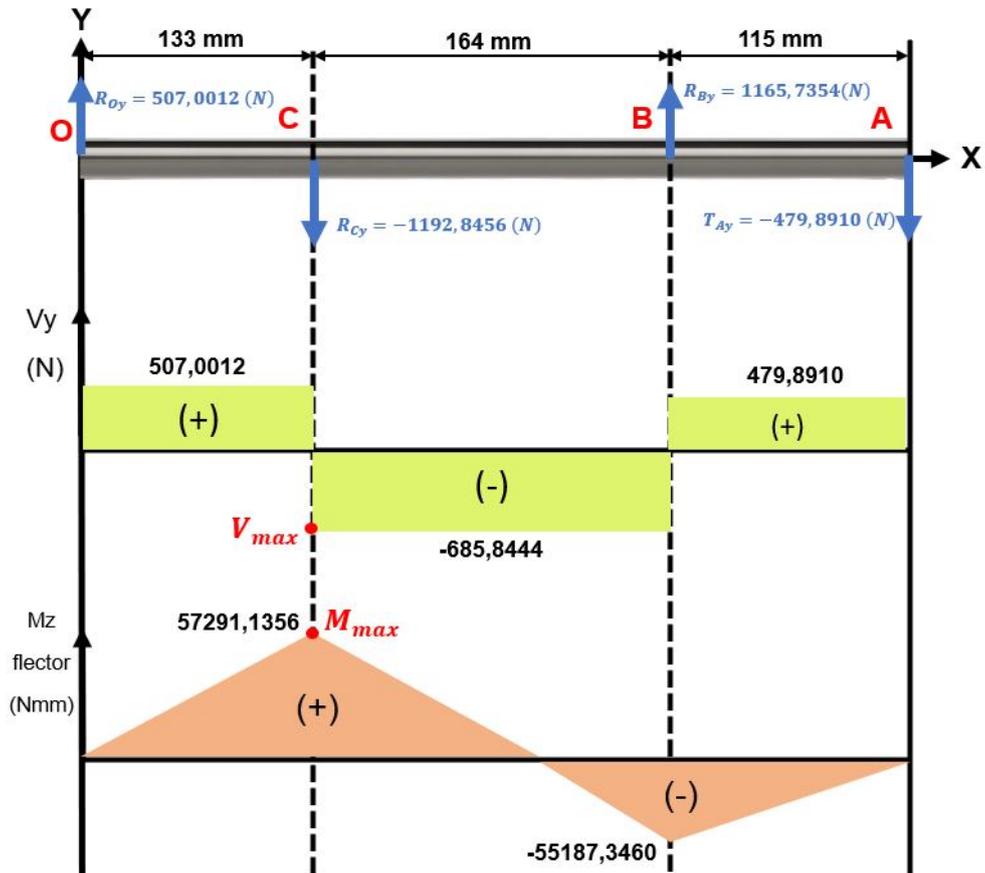


Figura 2.28: Diagrama de carga cortante y momento flector en el plano X-Y

Fuente: Autor

**Análisis:** el punto crítico en el plano X-Y está en C, pues cuenta con la fuerza cortante máxima en la sección C-B, además del momento flector máximo, sus valores son:

$$V_{max(XY)} = -685,8444 \text{ (N)}$$

$$M_{max(XY)} = 57,2911 \text{ (Nm)}$$

### 2.5.5. Diagrama de fuerza cortante y momento flector en el plano X-Z

También se cuenta con reacciones en el eje Z, en razón de esto, también es necesario realizar un análisis en el plano X-Z para hallar otro punto crítico, en la figura 2.29 se presenta el diagrama para este plano.

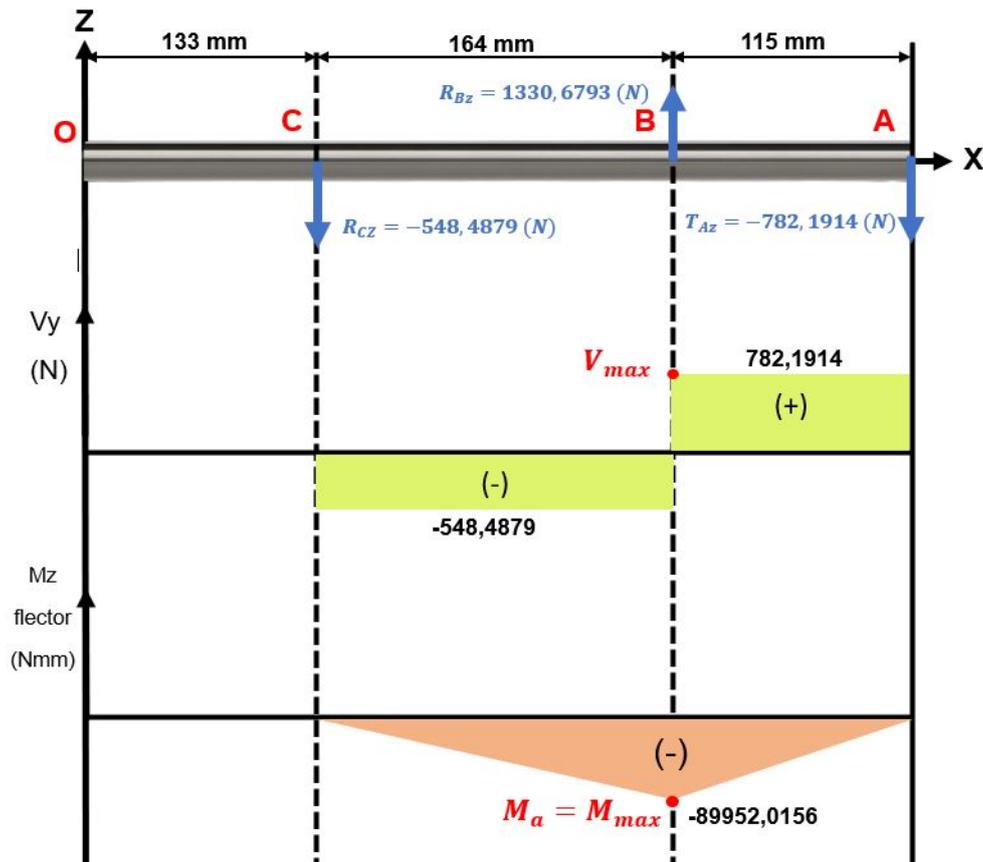


Figura 2.29: Diagrama de carga cortante y momento flector en el plano X-Z

Fuente: Autor

**Análisis:** en el plano X-Z el punto crítico es el B, ya que, cuenta con el momento flector máximo y fuerza cortante máxima en el tramo B-A, sus valores son:

$$V_{max(XZ)} = 782,1914 \text{ (N)}$$

$$M_{max(XZ)} = -89,9520 \text{ (Nm)}$$

Al analizar las magnitudes de la fuerza cortante y momento flector máximos *se selecciona como punto crítico definitivo y de diseño al punto B del plano X-Z*, pues, tanto su  $V_{max}$  y  $M_{max}$  son mayores y por tanto generan esfuerzos más grandes que las del punto C en el plano X-Y.

## 2.5.6. Diagrama del momento torsor

El momento torsor provoca un esfuerzo cortante o de cizallamiento en el eje. En la figura 2.30 se visualiza este momento.

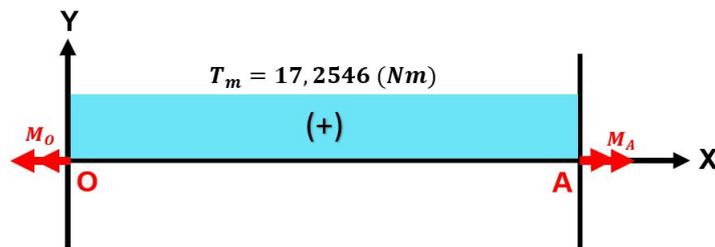


Figura 2.30: Diagrama del momento torsor

Fuente: Autor

Se obtiene que  $T_m = 17,2546$  (Nm), este es el torque medio que actúa en todo el eje.

### 2.5.7. Propiedades del material del eje

Para el acero inoxidable AISI 4340:

$S_{ut}$ : resistencia última a la tensión (MPa)

$S_y$ : resistencia a la fluencia (MPa)

Se consulta estas resistencias en una fuente especializada de propiedades de materiales y se obtiene los valores de la figura 2.31.

Mechanical Properties	Metric
Hardness, Brinell	363
Hardness, Knoop	392
Hardness, Rockwell B	100
Hardness, Rockwell C	40
Hardness, Vickers	384
Tensile Strength, Ultimate	1282 MPa
Tensile Strength, Yield	862 MPa
Elongation at Break	12.2 %
Reduction of Area	36.3 %
Modulus of Elasticity	200 GPa
Bulk Modulus	159 GPa
Poissons Ratio	0.29
Machinability	50 %
Shear Modulus	78.0 GPa

Figura 2.31: Resistencias requeridas del acero AISI 4340 (Anexo 5)

Fuente: [41]

Las resistencias del acero inoxidable AISI 4340 que se emplean para el diseño son:

$$S_{ut} = 1282 \text{ (MPa)}$$

$$S_y = 862 \text{ (MPa)}$$

## 2.5.8. Concentradores de esfuerzos

Son factores que se utilizan para cuantificar el aumento de esfuerzo en un punto de un elemento estructural debido a la presencia de un concentrador de esfuerzos. En este análisis, se establece que el eje tiene un diámetro de sección transversal constante, con lo que, no posee ningún concentrador de esfuerzos. Los coeficientes son:

$k_t$ : coeficiente de concentración de esfuerzo máximo a la tracción estático

$k_{ts}$ : coeficiente de concentración de esfuerzo máximo a la torsión

Estos factores tienen las siguientes magnitudes:

$$k_t = 1$$

$$k_{ts} = 1$$

**Nota:** para las barras redondas sin concentrador de esfuerzos, estos coeficientes valen 1.

## 2.5.9. Sensibilidad a la muesca

Es la tendencia de un eje a fallar prematuramente debido a la presencia de una muesca o discontinuidad en su superficie. El eje no cuenta con ninguna muesca o concentrador de esfuerzos pero se estima que por perfecta que se pueda ver su superficie siempre tiene diminutas imperfecciones, ya sea, por su proceso de manufactura, la manipulación del eje en su transporte, entre otras razones. En la figura 2.32 se evalúa el valor de la sensibilidad a la muesca debido a esfuerzos de flexión en base a radios de muesca cercanos a cero.

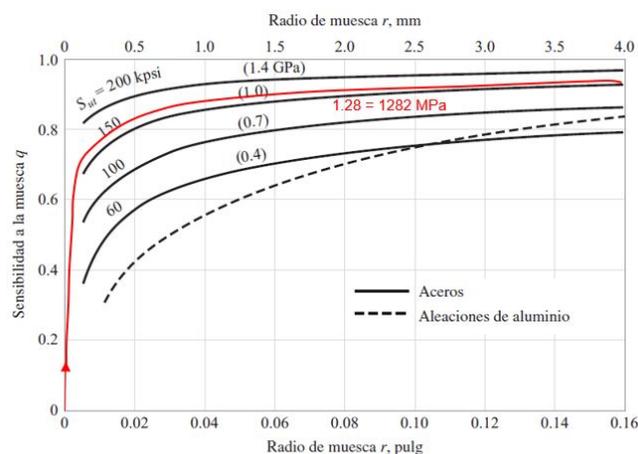


Figura 2.32: Sensibilidad a la muesca  $q$  para aceros y aluminios

Fuente: [38]

Se fija que:

$$q = 0, 1$$

La sensibilidad a la muesca cortante se da en materiales sometidos a torsión. En la figura 2.33 se muestra este valor en función del radio de muesca, se supone radios pequeños cercanos a cero.

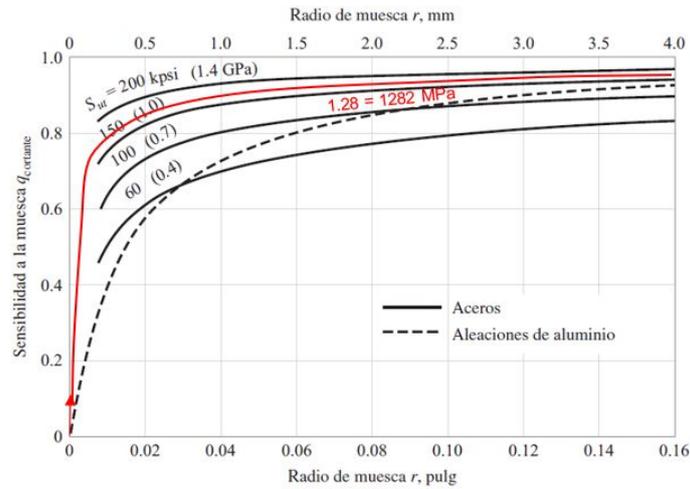


Figura 2.33: Sensibilidad a la muesca  $q_{cortante}$  para aceros y aluminios

Fuente: [38]

Se establece que:

$$q_{cortante} = 0, 1$$

### 2.5.10. Concentradores de esfuerzos para cargas cíclicas

Estos factores de concentración de esfuerzos de fatiga se aplican en el cálculo de los esfuerzos fluctuantes debidos a la flexión y la torsión. El factor de carga cíclica a la flexión se calcula con la siguiente ecuación:

$$k_f = 1 + q(k_t - 1) \tag{2.32}$$

Donde:

$k_f$ : coeficiente de concentración de esfuerzos para carga cíclica a flexión

$q$ : sensibilidad a la muesca a flexión

$k_t$ : coeficiente de concentración de esfuerzo máximo a la tracción estático

Se reemplazan los valores conocidos en la ecuación 2.32:

$$k_f = 1 + 0,1 * (1 - 1)$$

$$k_f = 1$$

El coeficiente de carga cíclica a la torsión se determina con:

$$k_{fs} = 1 + q_{cortante}(k_{ts} - 1) \quad (2.33)$$

Donde:

$k_{fs}$ : coeficiente de concentración de esfuerzos para carga cíclica a torsión

$q_{cortante}$ : sensibilidad a la muesca a torsión

$k_{ts}$ : coeficiente de concentración de esfuerzo máximo a la torsión

Al sustituir los datos en la ecuación 2.33 se define:

$$k_{fs} = 1 + 0,1 * (1 - 1)$$

$$k_{fs} = 1$$

### 2.5.11. Esfuerzos normales y cortantes mínimos y máximos

Los esfuerzos normales actúan de manera perpendicular a la sección transversal del eje y se producen en las zonas del eje donde se concentra la carga o en los puntos de apoyo, por otro lado, los esfuerzos cortantes son tensiones que se producen en las zonas del eje donde se presenta un momento flector.

Se presentan las ecuaciones para el cálculo de los esfuerzos normales mínimo y máximo:

$$\sigma_{min} = \frac{M_{min} * c}{I} \quad (2.34)$$

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max} * c}{I} \quad (2.35)$$

Donde:

$\sigma_{min}$ : esfuerzo normal mínimo (MPa)

$\sigma_{max}$ : esfuerzo normal máximo (MPa)

$M_{min}$ : momento flector mínimo (Nm)

$M_{max}$ : momento flector máximo (Nm)

$c$ : longitud desde el centro del eje hasta la fibra más exterior (m)

$I$ : momento de inercia de la sección circular ( $m^4$ )

Se verifica el diagrama de momento flector del punto crítico  $B$  y se reemplazan los valores correspondientes en la ecuación 2.34, tomando en cuenta que, en este diseño, la longitud  $c$  coincide con el radio del eje y se trata de una relación de esfuerzo-tiempo alternante.

$$\sigma_{min} = \frac{-89,9520 \text{ (Nm)} * 0,009525 \text{ (m)}}{\frac{\pi * (0,009525 \text{ (m)})^4}{4}}$$

$$\sigma_{min} = -132,5336 \text{ (MPa)}$$

Se realiza lo mismo en la ecuación 2.35:

$$\sigma_{max} = \frac{89,9520 \text{ (Nm)} * 0,009525 \text{ (m)}}{\frac{\pi * (0,009525 \text{ (m)})^4}{4}}$$

$$\sigma_{max} = 132,5336 \text{ (MPa)}$$

Se comprueba que ambos esfuerzos normales son iguales, esto se debe a la naturaleza de la relación esfuerzo-tiempo de tipo alternante.

Las expresiones que definen los esfuerzos cortantes mínimos y máximos son:

$$\tau_{min} = \frac{T_{min} * c}{J} \quad (2.36)$$

$$\tau_{max} = \frac{T_{max} * c}{J} \quad (2.37)$$

Donde:

$\tau_{min}$ : esfuerzo cortante mínimo (MPa)

$\tau_{max}$ : esfuerzo cortante máximo (MPa)

$T_{min}$ : momento torsor mínimo (Nm)

$T_{max}$ : momento torsor máximo (Nm)

$c$ : longitud desde el centro del eje hasta la fibra más exterior (m)

$J$ : momento polar de inercia ( $m^4$ )

Se sustituyen los valores en la fórmula 2.36:

$$\tau_{min} = \frac{0 \text{ (Nm)} * 0,009525 \text{ (m)}}{\frac{\pi * (0,009525 \text{ (m)})^4}{2}}$$

$$\tau_{min} = 0 \text{ (MPa)}$$

La acción se repite en la ecuación 2.37:

$$\tau_{max} = \frac{17,2546 \text{ (Nm)} * 0,009525 \text{ (m)}}{\frac{\pi * (0,009525 \text{ (m)})^4}{2}}$$

$$\tau_{max} = 12,7113 \text{ (MPa)}$$

## 2.5.12. Esfuerzos alternantes y medios

Los esfuerzos medios son aquellos que tienen un valor constante y se producen por cargas que producen flexión estática en el eje y los esfuerzos alternantes se dan por efecto de la torsión suelen ser más críticos, ya que, producen fatiga en el material del eje lo que puede conducir a su falla.

Las expresiones para hallar los esfuerzos alternantes son:

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} \quad (2.38)$$

$$\tau_a = \frac{\tau_{max} - \tau_{min}}{2} \quad (2.39)$$

Donde:

$\sigma_a$ : esfuerzo a flexión alternante (MPa)

$\tau_a$ : esfuerzo a torsión alternante (MPa)

$\sigma_{max}$ : esfuerzo normal máximo (MPa)

$\sigma_{min}$ : esfuerzo normal mínimo (MPa)

$\tau_{max}$ : esfuerzo cortante máximo (MPa)

$\tau_{min}$ : esfuerzo cortante mínimo (MPa)

Al sustituir los esfuerzos correspondientes en la ecuación 2.38 se obtiene:

$$\sigma_a = \frac{132,5336 \text{ (MPa)} - (-132,5336 \text{ (MPa)})}{2}$$

$$\sigma_a = 132,5336 \text{ (MPa)}$$

Aplicando la ecuación 2.39 se calcula:

$$\tau_a = \frac{12,7113 \text{ (MPa)} - 0 \text{ (MPa)}}{2}$$

$$\tau_a = 6,3557 \text{ (MPa)}$$

Las ecuaciones para encontrar los esfuerzos medios se presentan a continuación:

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} \quad (2.40)$$

$$\tau_m = \frac{\tau_{max} + \tau_{min}}{2} \quad (2.41)$$

Donde:

$\sigma_m$ : esfuerzo a flexión medio (MPa)

$\tau_m$ : esfuerzo a torsión medio (MPa)

Se reemplazan los valores en la ecuación 2.40:

$$\sigma_m = \frac{132,5336 \text{ (MPa)} + (-132,5336 \text{ (MPa)})}{2}$$

$$\sigma_m = 0 \text{ (MPa)}$$

Se calcula  $\tau_m$  a través de la ecuación 2.41:

$$\tau_m = \frac{12,7113 \text{ (MPa)} + 0 \text{ (MPa)}}{2}$$

$$\tau_m = 6,3557 \text{ (MPa)}$$

### 2.5.13. Teoría de la máxima energía de distorsión (Criterio de Von Mises)

Esta teoría no predice la falla bajo presión hidrostática y concuerda con todos los datos del comportamiento dúctil del material, por consiguiente, es la teoría más empleada para materiales dúctiles y se recomienda para los problemas de diseño [38].

Las ecuaciones de esta teoría de falla al considerar la sección circular maciza y despreciar las cargas axiales son:

$$\sigma'_a = \sqrt{(k_f * \sigma_a)^2 + 3(k_{fs} * \tau_a)^2} \quad (2.42)$$

$$\sigma'_m = \sqrt{(k_f * \sigma_m)^2 + 3(k_{fs} * \tau_m)^2} \quad (2.43)$$

Donde:

$\sigma'_a$ : esfuerzo alternante equivalente de Von Mises (MPa)

$\sigma'_m$ : esfuerzo medio equivalente de Von Mises (MPa)

$k_f$ : coeficiente de concentración de esfuerzos para carga cíclica a flexión

$k_{fs}$ : coeficiente de concentración de esfuerzos para carga cíclica a torsión

$\sigma_a$ : esfuerzo a flexión alternante (MPa)

$\tau_a$ : esfuerzo a torsión alternante (MPa)

$\sigma_m$ : esfuerzo a flexión medio (MPa)

$\tau_m$ : esfuerzo a torsión medio (MPa)

Al reemplazar los valores en la ecuación 2.42 se halla:

$$\sigma'_a = \sqrt{(1 * 132,5336 \text{ (MPa)})^2 + 3(1 * 6,3557 \text{ (MPa)})^2}$$

$$\sigma'_a = 132,9810 \text{ (MPa)}$$

Se sustituyen los datos en la ecuación 2.43 y se encuentra  $\sigma'_m$ :

$$\sigma'_m = \sqrt{(1 * 0 \text{ (MPa)})^2 + 3(1 * 6,3557 \text{ (MPa)})^2}$$

$$\sigma'_m = 11,0084 \text{ (MPa)}$$

#### 2.5.14. Límite de resistencia a la fatiga y resistencia a la fatiga a vida finita

El límite de resistencia a la fatiga  $S'_e$  se refiere a los ensayos de deformación realizados con vigas rotativas y de ensayos a la tensión simple de muestras tomadas de la misma barra [38].

La ecuación correspondiente para este cálculo es:

$$S'_e = 0,5 * S_{ut}; \text{ si } S_{ut} \leq 1400 \text{ (MPa)} \quad (2.44)$$

Donde:

$S'_e$ : límite de resistencia a la fatiga (MPa)

$S_{ut}$ : resistencia última a la tensión (MPa)

Se sabe que la  $S_{ut}$  del acero inoxidable AISI 4340 es 1282 (MPa), con lo que, al utilizar la

ecuación 2.44 se obtiene:

$$S'_e = 0,5 * 1282 \text{ (MPa)}$$

$$S'_e = 641,0000 \text{ (MPa)}$$

La resistencia a la fatiga a vida finita  $S'_f$  toma en cuenta el número de ciclos de trabajo  $N$  del elemento mecánico. La figura 2.34 muestra un diagrama que enfrenta a la resistencia a la fatiga versus el número de ciclos de esfuerzo para aceros.

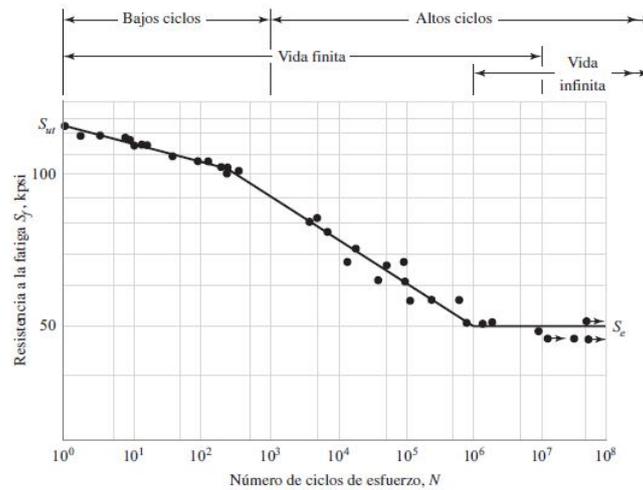


Figura 2.34: Diagrama S-N a partir de resultados de ensayos a la fatiga axial invertidos

Fuente: [38]

Se aprecia que el dominio de la fatiga para ciclos altos va desde  $10^3$  ciclos hasta  $10^6$  ciclos. En este caso se decide diseñar el eje para una vida finita de  $10^5$  ciclos.

La ecuación para el cálculo de la resistencia a la fatiga a vida finita es:

$$S'_f = a * N^b \tag{2.45}$$

Donde:

$S'_f$ : resistencia a la fatiga a vida finita (MPa)

$a$ : constante de componente mecánico real a los  $10^3$  ciclos

$N$ : número de ciclos de esfuerzo

$b$ : constante de resistencia a la fatiga a  $10^5$  ciclos

Las constantes  $a$  y  $b$  son complejas de calcular, por lo que se resume que con un valor de

$S_{ut}$  de 1282 (MPa), estas constantes son iguales a:

$$a = 1556,1851$$

$$b = -0,0642$$

Al aplicar la ecuación 2.45 se encuentra:

$$S'_f = 1556,1851 * (100000)^{-0,0642}$$

$$S'_f = 743,1239 \text{ (MPa)}$$

### 2.5.15. Factores de Marin

Las condiciones del ambiente y de trabajo en las que se desenvuelven los elementos mecánicos no son los mismos que los de los ensayos en máquinas rotativas en laboratorios. Por ello, Joseph Marin identifica factores que cuantifican las condiciones de acabado superficial, de tamaño, de carga, entre otros [38]. Estos factores afectan directamente al límite de resistencia a la fatiga rotativa en la ubicación crítica del eje mediante las siguientes expresiones:

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e \quad (2.46)$$

$$S_f = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_f \quad (2.47)$$

Donde:

$S_e$ : límite de resistencia a la fatiga real (MPa)

$S'_e$ : límite de resistencia a la fatiga rotativa (MPa)

$S_f$ : límite de resistencia a la fatiga para vida finita (MPa)

$S'_f$ : resistencia a la fatiga a vida finita (MPa)

$k_a$ : factor de modificación por la condición superficial

$k_b$ : factor de modificación por el tamaño

$k_c$ : factor de modificación por la carga

$k_d$ : factor de modificación por la temperatura

$k_e$ : factor de confiabilidad

$k_f$ : factor de modificación por efectos varios

**Factor de modificación por la condición superficial:** este factor depende de la calidad el acabado de la superficie del elemento y su resistencia última a la tensión. La expresión para

estimar este factor es:

$$k_a = a(S_{ut})^b \quad (2.48)$$

Donde:

$k_a$ : factor de modificación por la condición superficial

$S_{ut}$ : resistencia última a la tensión (MPa)

$a$ : factor que depende del tipo de acabado

$b$ : exponente que depende del tipo de acabado

Las constantes  $a$  y  $b$  se encuentran en la figura 2.35.

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	$S_{ut}$ , kpsi	$S_{ut}$ , MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	-0.995

Figura 2.35: Parámetros en el factor de la condición de acabado superficial de Marin

Fuente: [38]

Si el acabado superficial es de tipo espejo, entonces el coeficiente  $k_a$  es igual a 1 [38]. El acero inoxidable AISI 4340 en el mercado nacional [42] tiene una tratamiento de maquinado, por lo que, al reemplazar los datos correspondientes en la ecuación 2.48 se obtiene:

$$k_a = 4,51(1282 \text{ (MPa)})^{-0,265}$$

$$k_a = 0,6770$$

Se encuentra que el factor  $k_a$  es igual a 0,6770.

**Factor de tamaño:** se aplica cuando hay flexión y torsión en el elemento rotativo, para carga axial se tiene  $k_b = 1$ . Las ecuaciones aplicables para el cálculo del factor de tamaño dependen

del diámetro del eje como se indica a continuación:

$$k_b = \begin{cases} (d/0,3)^{-0,107} = 0,879d^{-0,107} & 0,11 \leq d \leq 2 \text{ pulg} \\ 0,91d^{-0,157} & 2 < d \leq 10 \text{ pulg} \\ (d/7,62)^{-0,107} = 1,24d^{-0,107} & 2,79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \\ 1,51d^{-0,157} & 51 < d \leq 254 \text{ mm} \end{cases} \quad (2.49)$$

Se utiliza el diámetro supuesto de 19,05 (mm) en la ecuación 2.49 correspondiente:

$$k_b = (19,05 \text{ (mm)}/7,62)^{-0,107}$$

$$k_b = 0,9066$$

Se calcula que el factor de tamaño  $k_b$  es igual a 0,9066.

**Factor de carga:** se selecciona un valor medio del factor de carga en función de ensayos de fatiga con carga de flexión rotatoria, axial y de torsión en el laboratorio. Los valores medios son:

$$k_c = \begin{cases} 1 & \text{flexión} \\ 0,85 & \text{axial} \\ 0,59 & \text{torsión} \end{cases} \quad (2.50)$$

Este factor ya está considerado en el criterio de Von Mises, con lo que, para efectos de cálculo se lo considera como  $k_c = 1$ .

**Factor de temperatura:** si las temperaturas de operación del eje son menores que las de la temperatura ambiente es más probable que el elemento falle a la fractura frágil, en el otro extremo, si la temperatura de operación sobrepasa la del ambiente, se debe investigar la fluencia porque la resistencia a ésta disminuye con rapidez con la temperatura [38].

El cálculo del factor de temperatura se encuentra con la expresión siguiente:

$$k_d = \frac{S_T}{S_{RT}} \quad (2.51)$$

Donde:

$S_T$ : resistencia a la tensión a la temperatura de operación

$S_{RT}$ : resistencia a la tensión a temperatura ambiente

Para encontrar esta relación se consulta la información de la figura 2.36.

Temperatura, °C	$S_T/S_{RT}$	Temperatura, °F	$S_T/S_{RT}$
20	1.000	70	1.000
50	1.010	100	1.008
100	1.020	200	1.020
150	1.025	300	1.024
200	1.020	400	1.018
250	1.000	500	0.995
300	0.975	600	0.963
350	0.943	700	0.927
400	0.900	800	0.872
450	0.843	900	0.797
500	0.768	1 000	0.698
550	0.672	1 100	0.567
600	0.549		

Figura 2.36: Efecto de la temperatura de operación en la resistencia a la tensión del acero

Fuente: [38]

Se investiga la temperatura de operación de la máquina, esta depende de la temperatura ambiente del lugar donde se debe desempeñar la máquina, el cual es la ciudad de Otavalo, Imbabura, se determina que la temperatura es de 20°C [43].

Según la figura 2.36 para esta temperatura la relación  $S_T/S_{RT}$  es de 1.

Con esto se establece que la ecuación 2.51 el resultado es:

$$k_d = 1$$

**Factor de confiabilidad:** este factor es aplicable debido a la dispersión de datos de las diferentes tablas técnicas, puesto que la mayoría de los datos de resistencia a la fatiga se reportan como valores medios [38]. La ecuación que se aplica para encontrar  $k_e$  es:

$$k_e = 1 - 0,08z_a \quad (2.52)$$

Donde:

$k_e$ : Factor de confiabilidad

$z_a$ : variación de transformación

El valor de la variación de toma en función del porcentaje de confiabilidad según la figura 2.37.

Confiabilidad, %	Variación de transformación $z_\sigma$	Factor de confiabilidad $k_e$
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

Figura 2.37: Factores de confiabilidad  $k_e$  correspondientes a 8 desviaciones estándar porcentuales del límite de resistencia a la fatiga

Fuente: [38]

En los parámetros generales se establece que el eje se diseña para un 99,9 %. Al reemplazar los valores en la ecuación 2.52 se tiene:

$$k_e = 1 - 0,08(3,091)$$

$$k_e = 0,7527$$

Se encuentra que el factor  $k_e$  es de 0,7527.

**Factor de efectos varios:** este factor tiene el propósito de tomar en cuenta la influencia de los esfuerzos residuales y de todos los efectos de los demás factores en la reducción del límite de resistencia a la fatiga. En este estudio este factor toma el siguiente valor:

$$k_f = 1$$

### 2.5.16. Cálculo del límite de resistencia a la fatiga real y para la vida finita

Los valores de estas resistencias son las que se utilizan en el cálculo del factor de seguridad mediante los criterios de Soderberg y de Goodman.

Se aplican la ecuación 2.46 para encontrar el límite de resistencia a la fatiga real:

$$S_e = (0,6770 * 0,9066 * 1 * 1 * 0,7527 * 1) * 641,0000 \text{ (MPa)}$$

$$S_e = 296,1313 \text{ (MPa)}$$

Se utiliza la ecuación 2.47 para calcular la resistencia a la fatiga para la vida finita a  $10^6$

ciclos:

$$S_f = (0,6770 * 0,9066 * 1 * 1 * 0,7527 * 1) * 743,1239 \text{ (MPa)}$$

$$S_f = 343,3108 \text{ (MPa)}$$

### 2.5.17. Criterios de falla a la fatiga de Goodman

Este criterio de falla se trata de una zona geométrica de probabilidad de falla, se caracteriza por que es una línea recta y el álgebra a resolver es relativamente sencilla, además, expone aspectos útiles de discernimiento en ejercicios de fatiga.

Las ecuaciones del criterio de Goodman para vida finita y para vida infinita respectivamente son :

$$\frac{\sigma'_a}{S_f} + \frac{\sigma'_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n} \quad (2.53)$$

$$\frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n} \quad (2.54)$$

Donde:

$\sigma'_a$ : esfuerzo alternante equivalente de Von Mises (MPa)

$\sigma'_m$ : esfuerzo medio equivalente de Von Mises (MPa)

$S_f$ : límite de resistencia a la fatiga para vida finita (MPa)

$S_e$ : límite de resistencia a la fatiga real (MPa)

$S_{ut}$ : resistencia última a la tensión (MPa)

$n$ : factor de seguridad a fatiga del eje

Al reemplazar los valores en la ecuación 2.53 se halla el factor de seguridad a vida finita:

$$\frac{132,9810 \text{ (MPa)}}{343,3108 \text{ (MPa)}} + \frac{11,0084 \text{ (MPa)}}{1282,0000 \text{ (MPa)}} = \frac{1}{n}$$

$$n = 2,5257$$

Se obtiene un factor de seguridad de 2,5257 para la vida finita a 100000 ciclos.

Se sustituyen los esfuerzos y resistencias correspondientes en la ecuación 2.54:

$$\frac{132,8910 \text{ (MPa)}}{296,1313 \text{ (MPa)}} + \frac{11,0084 \text{ (MPa)}}{1282,0000 \text{ (MPa)}} = \frac{1}{n}$$

$$n = 2,1851$$

Con el criterio de Goodman a vida infinita se obtiene un factor de seguridad de 2,1851.

### 2.5.18. Criterios de falla a la fatiga de Soderberg

Las ecuaciones de Soderberg para la falla a fatiga se consideran otra opción para la estimación del factor de seguridad. Estas ecuaciones consideran la resistencia a la fluencia del material.

Las fórmulas para la vida finita e infinita respectivamente son:

$$\frac{\sigma'_a}{S_f} + \frac{\sigma'_m}{S_y} = \frac{1}{n} \quad (2.55)$$

$$\frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_y} = \frac{1}{n} \quad (2.56)$$

Donde:

$\sigma'_a$ : esfuerzo alternante equivalente de Von Mises (MPa)

$\sigma'_m$ : esfuerzo medio equivalente de Von Mises (MPa)

$S_f$ : límite de resistencia a la fatiga para vida finita (MPa)

$S_e$ : límite de resistencia a la fatiga real (MPa)

$S_y$ : resistencia a la fluencia (MPa)

$n$ : factor de seguridad a fatiga del eje

Al reemplazar las magnitudes en la ecuación 2.55 se encuentra:

$$\frac{132,9810 \text{ (MPa)}}{343,3108 \text{ (MPa)}} + \frac{11,0084 \text{ (MPa)}}{862,0000 \text{ (MPa)}} = \frac{1}{n}$$

$$n = 2,4993$$

Se calcula que el factor de seguridad para la vida finita a 100000 ciclos a través del criterio de Soderberg es 2,4993.

Los valores de las resistencias y esfuerzos correspondientes se sustituyen en la ecuación 2.56 para hallar el factor de seguridad a vida infinita:

$$\frac{132,9810 \text{ (MPa)}}{296,1313 \text{ (MPa)}} + \frac{11,0084 \text{ (MPa)}}{862,0000 \text{ (MPa)}} = \frac{1}{n}$$

$$n = 2,1653$$

El factor de seguridad a la vida infinita según el criterio de Soderberg es 2,1653.

## Selección del eje

Una vez diseñado se describe las características del eje:

- Diámetro: 19,05 milímetros ó 3/4 de pulgada.
- Material: acero AISI 4340.
- Factor de seguridad: el factor de seguridad con los criterios de Goodman y Soderberg es mayor a 2, con esto se asegura que el eje soporta el doble de los esfuerzos calculados para el diseño del mismo.

## 2.6. Selección de rodamientos

Es un proceso importante que debe realizarse para garantizar un funcionamiento adecuado de la máquina y una larga vida útil del eje.

### 2.6.1. Consideraciones para la selección

Las consideraciones que se toman en cuenta para la selección de rodamientos son las siguientes:

- Se supone que las cargas que soportan los rodamientos son puramente radiales.
- Se evalúa las magnitudes de las cargas actuantes en los puntos de análisis *B* y *C*, se escoge la más alta, la cual es  $R_{BZ} = 1330,6793$  (N) y se seleccionan los rodamientos en función a esta carga.
- El diámetro interno de los rodamientos debe coincidir con el diámetro del eje el cual es 19,05 milímetros ó 3/4 de pulgada.
- Para la selección de los rodamientos se utiliza el catálogo de rodamientos de SKF [44].
- La velocidad de funcionamiento del eje es de 334,5577 RPM, pero para este análisis se la supone de 350 RPM.
- Se estima que la temperatura de trabajo es de 20 °C.

## 2.6.2. Selección del tipo de rodamiento

El tipo de rodamiento está estrechamente relacionado con el tipo de carga que va a soportar el rodamiento. Para este diseño se establece que la carga es radial como se muestra en la figura 2.38.

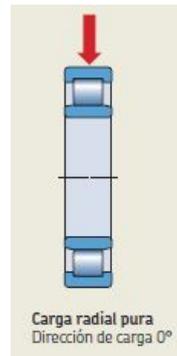


Figura 2.38: Carga radial en el rodamiento

Fuente: [44]

Los rodamientos que se destinan para el apoyo en puntos fijos son de tipo radial que pueden soportar cargas combinadas, es decir, cargas axiales y radiales [44]. En la figura 2.39 se aprecia los conjuntos de rodamientos admisibles en función del ángulo de contacto de las cargas, ya sea axial, radial o combinada.

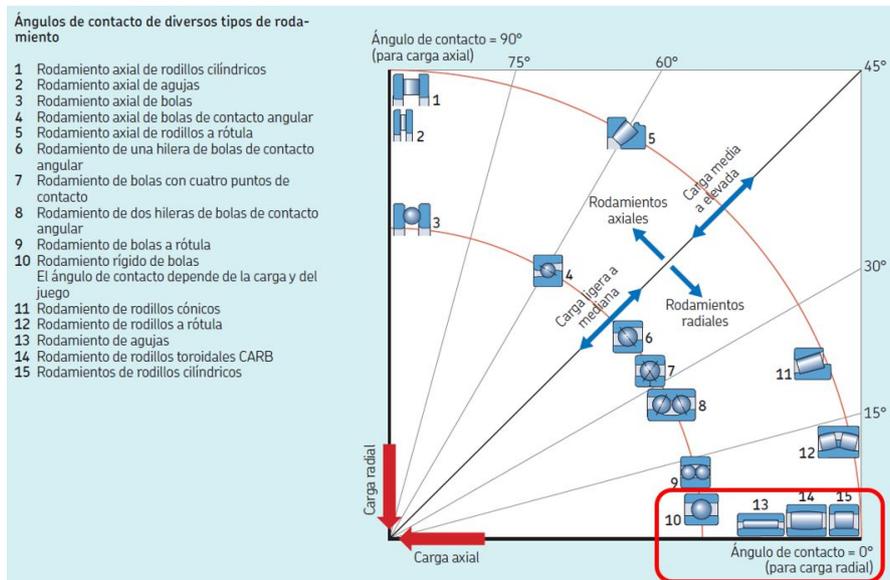


Figura 2.39: Ángulos de contacto de diversos tipos de rodamientos

Fuente: [44]

Para este estudio se determina un ángulo de contacto de  $0^\circ$  debido a la carga radial, con lo que, las alternativas de selección se reducen a los tipos de rodamientos señalados en la figura anterior, los cuales son:

- Rodamiento de inserción rígido de bolas
- Rodamiento de agujas
- Rodamiento de rodillos toroidales CARB
- Rodamientos de rodillos cilíndricos

De este grupo de posibles alternativas se elige el de los rodamientos de inserción rígidos de bolas, ya que, son los más accesibles en el mercado local en el sentido económico y de disponibilidad.

### 2.6.3. Especificaciones del rodamiento

Los rodamientos de inserción rígidos de bolas de la figura 2.40 son aptos para velocidades altas o muy bajas, soportan cargas radiales y axiales en ambos sentidos y cuentan con un aro exterior convexo y un aro interior prolongado con un dispositivo de fijación determinado que permite su montaje en el eje [44].



Figura 2.40: Rodamiento de inserción rígido de bolas

Fuente: [44]

La nomenclatura de un rodamiento de inserción rígido de bolas de una hilera se muestra en la figura 2.41.

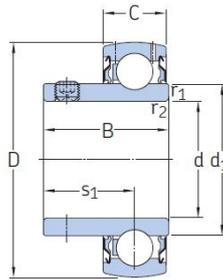


Figura 2.41: Nomenclatura del rodamiento de inserción rígido de bolas

Fuente: [44]

Donde:

$D$ : diámetro exterior nominal (mm)

$d$ : diámetro nominal del agujero (mm)

$d_1$ : diámetro exterior del aro interno (mm)

$B$ : anchura nominal del aro interior (mm)

$C$ : anchura nominal del aro exterior (mm)

$S_1$ : distancia entre el extremo saliente del aro y el centro (mm)

$r_{1,2}$ : dimensión de chaflán en dirección radial y axial respectivamente (mm)

En la figura 2.42 se observa los rodamientos disponibles para el diámetro de 19,05 milímetros del eje.

Dimensiones							Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Velocidad límite con tolerancia de eje h6	Masa	Designación
d	D	B	C	$d_1$	$s_1$	$r_{1,2}$ min.	dinámica C	estática $C_0$	$P_u$	r. p. m.	kg	–
pulg./mm	mm						kN	kN	kN			
1/2 12,7	40	27,4	12	24,2	15,9	0,3	9,56	4,75	0,2	9 500	0,12	YAR 203-008-2F
5/8 15,875	40	22,1	12	24,2	15,9	0,3	9,56	4,75	0,2	9 500	0,09	YAT 203-010
	40	27,4	12	24,2	15,9	0,3	9,56	4,75	0,2	9 500	0,1	YAR 203-010-2F
3/4 19,05	47	25,5	14	28,2	18,3	0,6	12,7	6,55	0,28	8 500	0,14	YAT 204-012
	47	31	14	28,2	18,3	0,6	10,8	6,55	0,28	5 000	0,16	YAR 204-012-2RF/HV
	47	31	14	28,2	18,3	0,6	10,8	6,55	0,28	5 000	0,16	YAR 204-012-2RFGR/HV
	47	31	14	28,2	18,3	0,6	12,7	6,55	0,28	5 000	0,16	YAR 204-012-2RF
	47	31	14	28,2	18,3	0,6	12,7	6,55	0,28	5 000	0,16	YAR 204-012-2RF/VE495
	47	31	14	28,2	18,3	0,6	12,7	6,55	0,28	8 500	0,16	YAR 204-012-2F
7/8 22,225	52	27,2	15	33,7	19,5	0,6	14	7,8	0,335	7 000	0,19	YAT 205-014

Figura 2.42: Tabla de rodamientos de inserción rígidos de bolas (Anexo 6)

Fuente: [44]

#### 2.6.4. Factor de seguridad a carga estática

En la selección de rodamientos este factor se utiliza para determinar la capacidad de carga estática del rodamiento en función de la carga que va a soportar. Se define como la relación entre la capacidad de carga estática básica y la carga estática equivalente. El factor de seguridad a carga estática se utiliza para garantizar que el rodamiento tenga una vida útil adecuada.

La ecuación para hallar el factor de seguridad estática es:

$$S_0 = \frac{C_0}{P_0} \quad (2.57)$$

Donde:

$S_0$ : factor de seguridad a carga estática

$C_0$ : capacidad de carga estática básica (kN)

$P_0$ : carga estática equivalente del rodamiento (kN)

La fórmula para calcular  $P_0$  es:

$$P_0 = 0,6F_r + 0,5F_a \quad (2.58)$$

Donde:

$F_r$ : carga radial en el rodamiento (kN)

$F_a$ : carga axial en el rodamiento (kN)

Se conoce que la carga axial vale cero y la radial máxima está en el punto crítico B y vale 1330,6793 (N) que son 1,3307 (kN). Se reemplazan estos datos en la ecuación 2.58:

$$P_0 = 0,6(1,3307 \text{ (kN)}) + 0,5(0)$$

$$P_0 = 0,7984 \text{ (kN)}$$

Se obtiene que  $P_0$  es 0,7984 (kN)

Se desea que el factor de seguridad a carga estática sea mayor a 2, por lo que, en la figura 2.42 dentro del grupo de rodamientos señalado se busca un valor de  $C_0$  que al sustituirse en la ecuación 2.57 de como resultado el factor deseado.

En la figura 2.43 se muestra la capacidad de carga estática básica seleccionada:

Dimensiones							Capacidad de carga		Carga límite de fatiga $P_u$	Velocidad límite con tolerancia de eje h6 r. p. m.	Masa kg	Designación
d	D	B	C	$d_1$ ≈	$s_1$	$r_{1,2}$ min.	Capacidad de carga básica dinámica C	estática $C_0$				
pulg./mm	mm						kN					
1/2 12,7	40	27,4	12	24,2	15,9	0,3	9,56	4,75	0,2	9 500	0,12	YAR 203-008-2F
5/8 15,875	40	22,1	12	24,2	15,9	0,3	9,56	4,75	0,2	9 500	0,09	YAT 203-010
	40	27,4	12	24,2	15,9	0,3	9,56	4,75	0,2	9 500	0,1	YAR 203-010-2F
3/4 19,05	47	25,5	14	28,2	18,3	0,6	12,7	6,55	0,28	8 500	0,14	YAT 204-012
	47	31	14	28,2	18,3	0,6	10,8	6,55	0,28	5 000	0,16	YAR 204-012-2RF/HV
	47	31	14	28,2	18,3	0,6	10,8	6,55	0,28	5 000	0,16	YAR 204-012-2RFGR/HV
	47	31	14	28,2	18,3	0,6	12,7	6,55	0,28	5 000	0,16	YAR 204-012-2RF
7/8 22,225	47	31	14	28,2	18,3	0,6	12,7	6,55	0,28	5 000	0,16	YAR 204-012-2RF/VE495
	47	31	14	28,2	18,3	0,6	12,7	6,55	0,28	8 500	0,16	YAR 204-012-2F
	52	27,2	15	33,7	19,5	0,6	14	7,8	0,335	7 000	0,19	YAT 205-014

Figura 2.43: Capacidad de carga estática básica seleccionada (Anexo 6)

Fuente: [44]

El valor de la capacidad de carga  $C_0$  es 6,55 (kN).

Ambas magnitudes se sustituyen en la ecuación 2.57:

$$S_0 = \frac{6,55 \text{ (kN)}}{0,7984 \text{ (kN)}}$$

$$S_0 = 8,2039$$

Se obtiene el factor de seguridad a carga estática  $S_0 = 8,2039$

### 2.6.5. Vida útil

La vida útil de un rodamiento se define como el número de revoluciones o ciclos que puede soportar antes de fallar.

La ecuación para encontrar la vida útil del rodamiento rígido de bolas es:

$$L_{10} = \left( \frac{C}{P} \right)^p \quad (2.59)$$

Donde:

$L_{10}$ : es la vida útil en millones de revoluciones o ciclos

$C$ : capacidad de carga dinámica básica (kN)

$P$ : carga dinámica equivalente del rodamiento (kN)

$p$ : factor del tipo de rodamiento, 3 para rodamientos de bolas y 10/3 para rodamientos de rodillos

La carga  $P$  se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} F_a/F_r \leq e &\rightarrow P = F_r \\ F_a/F_r > e &\rightarrow P = XF_r + YF_a \end{aligned} \quad (2.60)$$

Donde:

$F_a$ : carga axial en el rodamiento (kN)

$F_r$ : carga radial en el rodamiento (kN)

$e$ : límite para la relación de carga, según la relación  $f_0 F_a/C_0$

$P$ : carga dinámica equivalente del rodamiento (kN)

$X$ : factor de cálculo para la carga radial

$Y$ : factor de cálculo para la carga axial según la relación  $f_0 F_a/C_0$

La relación entre la carga axial y radial es:

$$\frac{F_a}{F_r} = \frac{0}{1,3307 \text{ (kN)}}$$

$$\frac{F_a}{F_r} = 0 \text{ (kN)}$$

EL valor de  $e$  se aprecia en la figura 2.44:

Factores de cálculo						
Series de rodamientos						
YAT 2, YAR 2, YARAG 2, YET 2, YEL 2, YELAG, YSP 2, YSPAG 2, YSA 2				17262, 17263		
$f_0 F_a/C_0$	$e$	X	Y	$e$	X	Y
0,172	0,29	0,46	1,88	0,19	0,56	2,3
0,345	0,32	0,46	1,71	0,22	0,56	1,99
0,689	0,36	0,46	1,52	0,26	0,56	1,71
1,03	0,38	0,46	1,41	0,28	0,56	1,55
1,38	0,4	0,46	1,34	0,3	0,56	1,45
2,07	0,44	0,46	1,23	0,34	0,56	1,31
3,45	0,49	0,46	1,1	0,38	0,56	1,15
5,17	0,54	0,46	1,01	0,42	0,56	1,04
6,89	0,54	0,46	1	0,44	0,56	1

Figura 2.44: Factores de cálculo para rodamientos de inserción rígidos de bolas

Fuente: [44]

Dado que  $F_a = 0$  la relación  $f_0 F_a / C_0$  también es cero, por esta razón, se selecciona la relación de menor valor disponible.

Se encuentra que  $e$  es igual a 0,29.

Se aplica la ecuación 2.60 y se encuentra  $P$ :

$$0 \leq 0,29 \rightarrow P = 1,3307 \text{ (kN)}$$

El valor de la carga dinámica equivalente del rodamiento  $P$  es 1,3307 (kN).

En la figura 2.43 se observa que para el rodamiento seleccionado la magnitud de la capacidad de carga dinámica básica es:

$$C = 10,8 \text{ (kN)}$$

A través de la ecuación 2.59 se encuentra la vida útil del rodamiento:

$$L_{10} = \left( \frac{10,8 \text{ (kN)}}{1,3307 \text{ (kN)}} \right)^3$$

$$L_{10} = 534,6023 \text{ millones de revoluciones}$$

Se calcula que la esperanza de vida del rodamiento seleccionado es de 534,6023 millones de revoluciones.

### 2.6.6. Vida nominal SKF

La vida normal de un rodamiento no solo puede verse modificada por la carga y el tamaño del rodamiento, sino también por la lubricación, el grado de contaminación, el montaje y demás condiciones del entorno [44]. Estos factores se toman en cuenta en el cálculo de la vida nominal SKF.

Para encontrarle se aplica la expresión a continuación:

$$L_{nm} = a_1 a_{SKF} L_{10} \tag{2.61}$$

Donde:

$L_{nm}, L_{10m}$ : vida nominal SKF (con una confiabilidad del  $100 - n_1$  %) [millones de revoluciones]

$a_1$ : factor de ajuste de la vida útil para mayor confiabilidad

$a_{SKF}$ : factor de modificación de la vida útil

$L_{10}$ : vida nominal básica (con una confiabilidad del 90 %) [millones de revoluciones]

Para encontrar el valor del factor  $a_1$  se verifica la figura 2.45.

Valores del factor de ajuste de la vida útil $a_1$			
Confiabilidad	Probabilidad de falla $n$	Vida nominal SKF $L_{nm}$	Factor $a_1$
%	%	millones de revoluciones	-
90	10	$L_{10m}$	1
95	5	$L_{5m}$	0,64
96	4	$L_{4m}$	0,55
97	3	$L_{3m}$	0,47
98	2	$L_{2m}$	0,37
99	1	$L_{1m}$	0,25

Figura 2.45: Factor de ajuste de la vida útil  $a_1$

Fuente: [44]

Se verifica que para una confiabilidad del 90 % el factor de ajuste  $a_1$  toma el valor de 1.

Para obtener el factor de modificación de la vida útil SKF es necesario calcular:

$n_c$ : factor para el nivel de contaminación

$K$ : tasa de viscosidad

El factor para el nivel de contaminación se refiere al nivel de limpieza del entorno de funcionamiento donde se desempeña el rodamiento según la figura 2.46.

Condiciones	Factor $n_c$ <sup>[2]</sup> para rodamientos con diámetro	
	$d_m < 100$	$d_m \geq 100$ mm
<b>Limpieza extrema</b> • Tamaño de las partículas del orden del espesor de la película de lubricante • Condiciones de laboratorio	1	1
<b>Gran limpieza</b> • Aceite lubricante con filtración muy fina • Condiciones típicas: rodamientos sellados lubricados con grasa de por vida	0,8 ... 0,6	0,9 ... 0,8
<b>Limpieza normal</b> • Aceite lubricante con filtración fina • Condiciones típicas: rodamientos con placas de protección lubricados con grasa de por vida	0,6 ... 0,5	0,8 ... 0,6
<b>Contaminación ligera</b> • Condiciones típicas: rodamientos sin sello integral, filtrado grueso, partículas de desgaste y leve ingreso de contaminantes	0,5 ... 0,3	0,6 ... 0,4
<b>Contaminación típica</b> • Condiciones típicas: rodamientos sin sello integral, filtrado grueso, partículas de desgaste e ingreso de partículas desde el exterior	0,3 ... 0,1	0,4 ... 0,2
<b>Contaminación severa</b> • Condiciones típicas: altos niveles de contaminación debido a desgaste excesivo o sellos ineficaces • Disposición de los rodamientos con sellos ineficaces o dañados	0,1 ... 0	0,1 ... 0
<b>Contaminación muy severa</b> • Condiciones típicas: niveles de contaminación tan severas que los valores de $n_c$ están fuera de escala, lo que reduce significativamente la vida útil del rodamiento	0	0

Figura 2.46: Valores orientativos para el factor  $n_c$  para distintos niveles de contaminación

Fuente: [44]

Se estima que se cuenta con una limpieza de tipo normal, esto quiere decir que la grasa con la que vienen lubricados los rodamientos es la que se usa de por vida. Para un diámetro medio  $d_m$  menor a 100 milímetros el valor está entre 0,6 y 0,5:

El diámetro medio del rodamiento seleccionado es el promedio entre el diámetro interno y externo, con lo que, según la figura 2.43 se tiene:

$$d_m = \frac{D + d}{2} = \frac{(47 + 19,05) \text{ (mm)}}{2}$$
$$d_m = 33,025 \text{ (mm)}$$

Se verifica que el diámetro medio es menor a 100 milímetros con lo que se establece que:

$$n_c = 0,5$$

Para encontrar la tasa de viscosidad  $K$  se aplica la ecuación siguiente:

$$K = \frac{v}{v_1} \tag{2.62}$$

Donde:

$K$ : condición de lubricación del rodamiento, es decir, la relación de viscosidad

$v$ : viscosidad real de funcionamiento del aceite o del aceite base de la grasa ( $mm^2/s$ )

$v_1$ : viscosidad nominal, en función del diámetro medio del rodamiento y la velocidad de giro ( $mm^2/s$ )

La viscosidad real  $v$  depende del grado de viscosidad recomendado según la norma ISO 3448 [44], el grado recomendado para los rodamientos de inserción rígidos de bolas es la ISO VG 68.

En la figura 2.47 se visualiza la viscosidad real seleccionada para una temperatura de funcionamiento del rodamiento de 20°C.

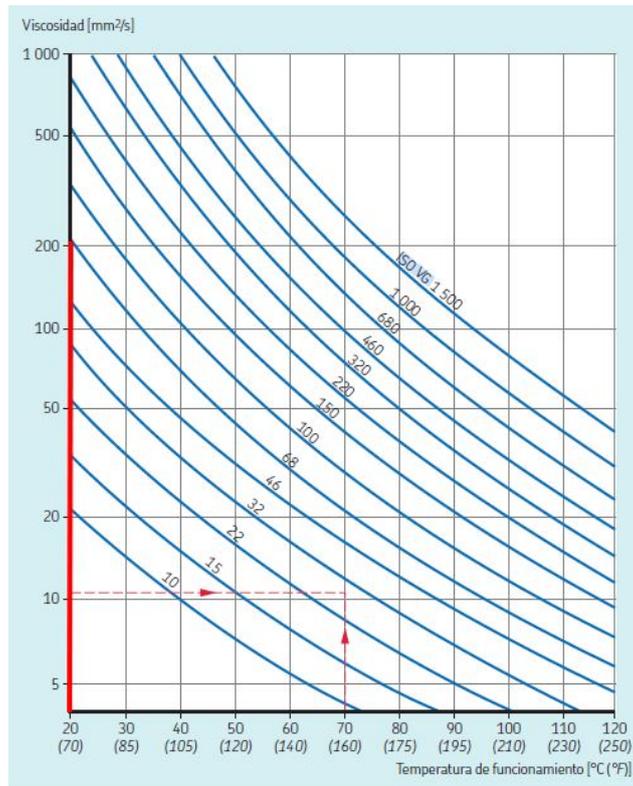


Figura 2.47: Diagrama de la temperatura de viscosidad según los grados de viscosidad de la ISO

Fuente: [44]

Se obtiene que:

$$v = 210 \text{ (mm}^2\text{/s)}$$

Por otro lado, la viscosidad nominal se obtiene de los datos de la figura 2.48.

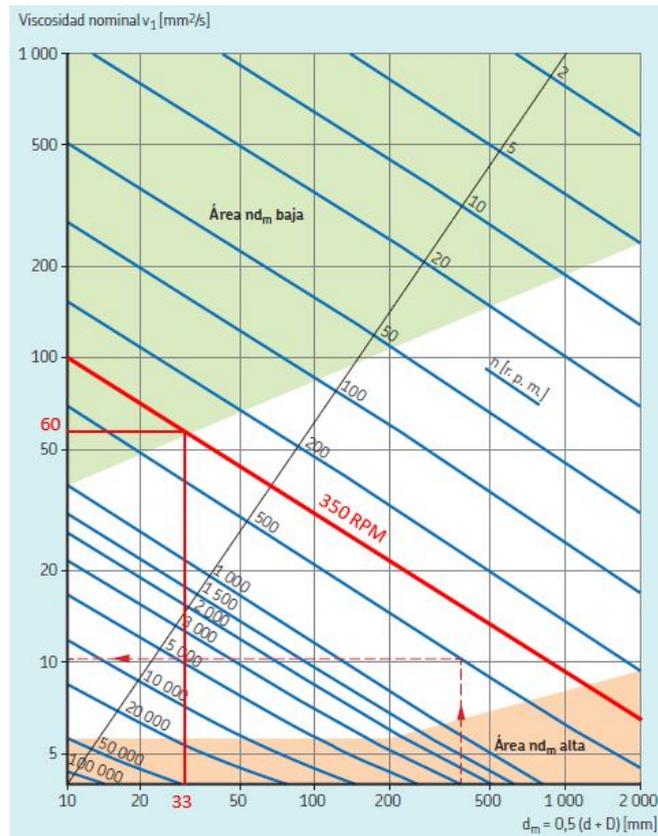


Figura 2.48: Cálculo de la viscosidad nominal  $v_1$

Fuente: [44]

Con una velocidad de giro de 350 RPM y el diámetro medio  $d_m = 33,025$  (mm) se encuentra que:

$$v_1 = 60 \text{ (mm}^2/\text{s)}$$

Se procede a reemplazar las viscosidades conocidas en la ecuación 2.62:

$$K = \frac{210 \text{ (mm}^2/\text{s)}}{60 \text{ (mm}^2/\text{s)}}$$

$$K = 3,5$$

Se halla que la tasa de viscosidad  $K$  es 3,5.

Una vez hallado el factor para el nivel de contaminación y la tasa de viscosidad en la figura 2.49 se observa la obtención del factor de modificación de la vida útil:

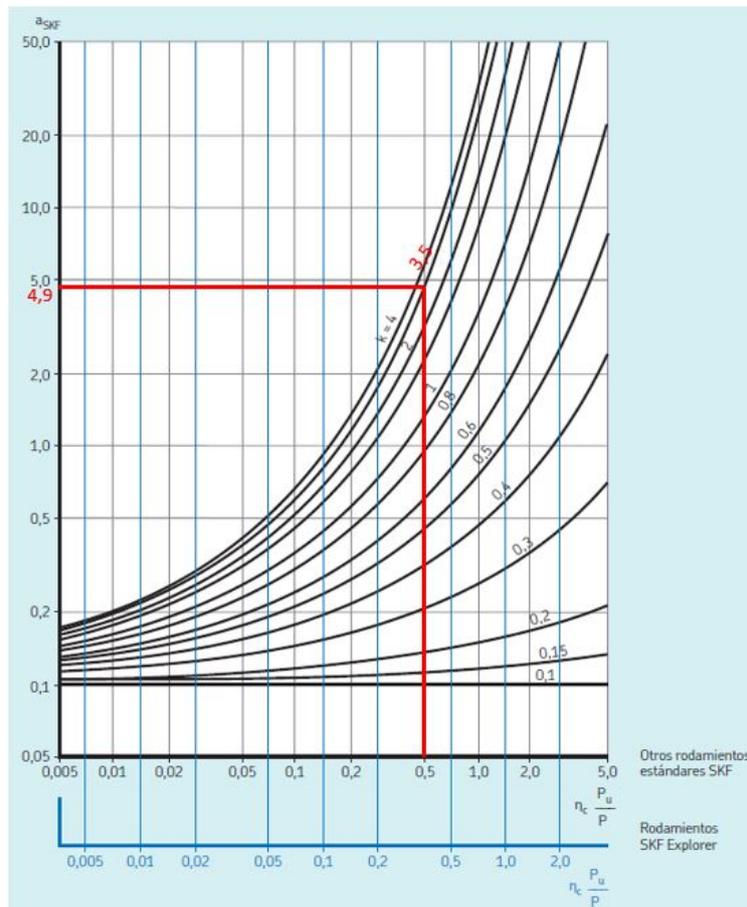


Figura 2.49: Factor  $a_{SKF}$  para el rodamiento seleccionado

Fuente: [44]

Se obtiene que el factor  $a_{SKF}$  es 4,9.

Finalmente, se reemplazan los valores de  $a_1$  y  $a_{SKF}$  en la ecuación 2.61:

$$L_{10m} = 1 * 4,9 * 534,6023 \text{ (millones de revoluciones)}$$

$$L_{10m} = 2619,5513 \text{ (millones de revoluciones)}$$

La vida nominal SKF es de 2619,5513 (millones de revoluciones).

### 2.6.7. Rodamiento seleccionado

La designación del rodamiento seleccionado según el catálogo de SKF es el YAR 204-012-2RF/HV. Las características de este rodamiento son:

- Es un rodamiento de inserción de bolas rígidas de una hilera.
- El diámetro interior es 3/4 de pulgada o 19,5 milímetros.
- La tolerancia para este tipo de rodamiento es de  $+15 \mu m$ .
- Cuenta con tipo de engrase de por vida.
- Dispone de dos sellos en los laterales.

## 2.7. Diseño de resortes

Los resortes son elementos de máquinas que se usan para amortiguar choques, distribuir cargas o acumular energía y liberarla cuando sea necesario.

### 2.7.1. Tipo de resorte y su función en la máquina

La función que los resortes desempeñan en la máquina es la de sostener el peso de los componentes de la parte inferior de la máquina y, a la vez, brindar una fuerza de agarre al paño del sombrero entre el señalador inferior y el superior, como se muestra en la figura 2.50.

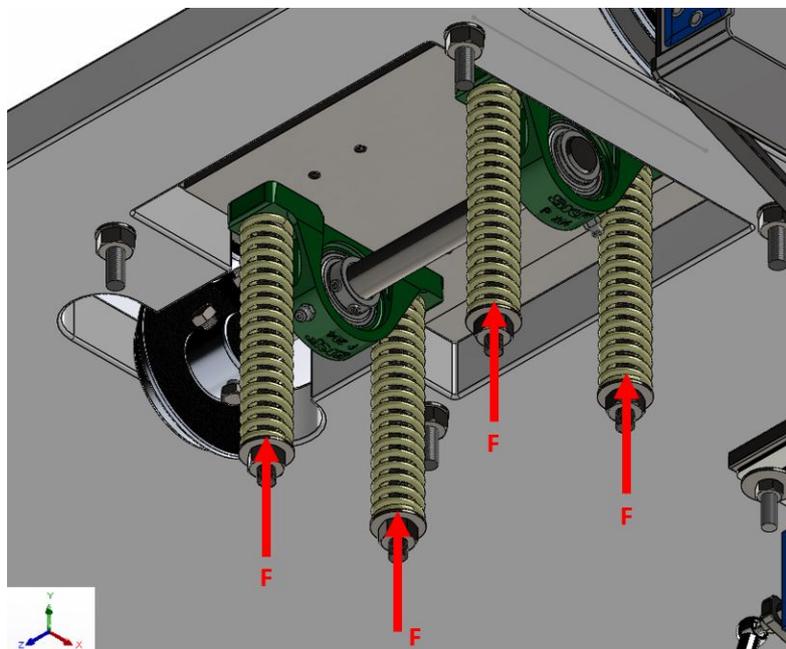


Figura 2.50: Fuerza de compresión de los resortes

Fuente: Autor

Se aprecia que los resortes deben estar sometidos a compresión. En la parte superior están en contacto con las chumaceras, un perno pasa por toda su longitud y en la parte inferior se ubica una arandela y una tuerca, produciéndose un mecanismo de tuerca-tornillo en el que mientras más se ajuste la tuerca, la fuerza de compresión del resorte aumenta en el eje Y. Esta flexibilidad permite que haya un ajuste menor o mayor de la compresión estática del resorte en función de si el paño del sombrero lo requiere para un correcto suavizado.

### **2.7.2. Consideraciones de diseño**

El resorte se va a diseñar teniendo en cuenta los siguientes puntos:

- Se necesitan 4 resortes a compresión que resistan una carga estática para una fuerza  $F$  dada.
- Se selecciona un material según el tipo de carga.
- Se estima un diámetro constante de alambre de prueba, según la utilidad y lo disponible en el mercado.
- Se supone un índice de resorte, considerando las restricciones.
- Se supone un tipo de extremo del resorte.
- Se asume que el paso es constante.
- Se considera que el alambre es de sección circular.
- Se supone que la deflexión del resorte ante la carga de diseño es de aproximadamente 15 milímetros.
- Se desea un factor de seguridad mayor a 2.

### **2.7.3. Cálculo de la precarga**

La precarga es la fuerza que se aplica a un resorte helicoidal a compresión estática antes de que se le aplique la carga de trabajo. La carga de precarga ayuda a mantener el resorte en su lugar y a evitar que se deforme antes de que cumpla su función.

Se estima que la precarga es el peso de todos los elementos de la parte inferior de la máquina. Este peso debe ser soportado por cuatro resortes helicoidales a compresión. La cantidad de piezas inferiores se estima por medio del diseño CAD como se muestra en la figura 2.51.

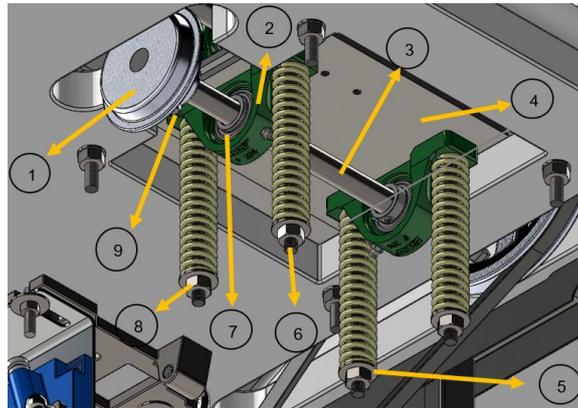


Figura 2.51: Enumeración de las piezas de la parte inferior del mecanismo de suavizado

Fuente: Autor

A cada parte se le asigna un material como se muestra en detalle en la tabla 2.12.

Tabla 2.12: Tabla con las masas para el cálculo de la precarga

N° parte	Nombre	Material	Masa individual (gr)	Cantidad	Masa combinada (gr)
1	Señalador inferior	Fundición de aluminio	336,9439	1	336,9439
2	Chumacera de piso	Fundición de hierro gris	491,1600	2	982,3200
3	Eje inferior	Acero AISI 4340	637,6676	1	637,6676
4	Pletina inferior	Acero ASTM A36	1646,5669	1	1646,5669
5	Arandela 3/8 in	Acero al carbono	7,3409	4	29,3636
6	Perno 3/8 x 8 in	Acero al carbono	100,6589	4	402,6356
7	Rodamiento 3/4 in	Acero inoxidable	181,4370	2	362,8740
8	Tuerca 3/8 in	Acero al carbono	15,8514	4	63,4056
9	Tornillo prisionero	Acero al carbono	11,1415	3	33,4245
				Masa total (gr)	4495,2017

Fuente: Autor

Se observa que la masa total es de 4495,2017 (gr) ó 4,4952 (kg).

Para encontrar el peso que deben soportar los resortes como precarga se aplica la ecuación:

$$F_{inicial} = mg \quad (2.63)$$

Donde:

$F_{inicial}$ : fuerza de precarga (N)

$m$ : masa combinada (kg)

$g$ : aceleración de la gravedad ( $m/s^2$ )

Se sustituyen los valores conocidos en la ecuación 2.63:

$$F_{inicial} = 4,4952 \text{ (kg)} * 9,8066 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$F_{inicial} = 44,0826 \text{ (N)}$$

Se calcula que la precarga es 44,0826 (N).

#### 2.7.4. Cálculo de la carga de diseño

Se considera que la fuerza a la que deben estar sometidos los resortes es la suma de la precarga más la fuerza necesaria para el suavizado del borde del ala del sombrero. Esta fuerza es la que puede aplicar un hombre adulto sano con sus miembro superior dominante, tal como lo hace el artesano tradicionalmente.

La fuerza a ejercer es de 51,7 kilopondios (kgf) [40], que en el sistema internacional de unidades son 507,0012 (N).

Entonces, la carga total que actúa sobre los resortes es la sumatoria de la precarga  $P$  y la fuerza para el suavizado del paño del sombrero:

$$\sum F = (44,0826 + 507,0012) \text{ (N)}$$

$$\sum F = 551,0838 \text{ (N)}$$

Pero, como se aprecia en la figura 2.50 esta fuerza debe esta distribuida entre 4 resortes, con lo que, si todos estos resortes en conjunto soportan la carga, esta debe ser dividida entre 4.

La carga que actúa sobre cada resorte individual y la que se aplica para el diseño es:

$$F_{trabajo} = 137,7710 \text{ (N)}$$

Se estima que la carga de diseño  $F_{trabajo}$  es 137,7710 (N) y se ubica según lo indica la figura 2.52.

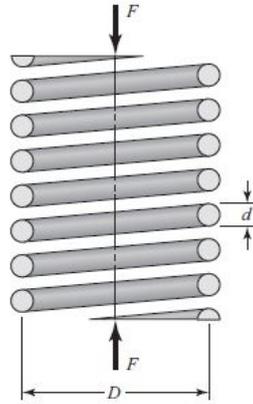


Figura 2.52: Vista de sección del Diagrama de Cuerpo Libre del resorte a compresión

Fuente: [38]

Donde:

$F_{trabajo}$ : carga de trabajo o de diseño (N)

$D$ : diámetro medio (mm)

$d$ : diámetro del alambre (mm)

### 2.7.5. Material del resorte

El material del que se manufactura el resorte debe tener una resistencia última alta, un punto a la fluencia también alto y bajo módulo de elasticidad [39]. La mayoría de los resortes para trabajo general se fabrican con alambres redondos formados en frío.

En la figura 2.53 se presentan algunas aleaciones comunes para alambres de resortes:

ASTM #	Material	SAE #	Descripción
A227	Alambre forjado en frío ("forjado duro")	1066	Alambre menos costoso para resortes de uso general. Adecuado para cargas estáticas, pero no contra la fatiga o el impacto. Intervalo de temperatura 0 °C a 120 °C (250 °F).
A228	Alambre musical	1085	El material más duro, más ampliamente usado en resortes con espiras pequeñas. Mayor resistencia contra la fatiga y la tensión que todos los demás alambres para resortes. Intervalo de temperatura de 0 °C a 120 °C (250 °F).
A229	Alambre revenido al aceite	1065	Acero para resortes de uso general. Menos costoso y disponible en tamaños más grandes que el alambre musical. Adecuado para cargas estáticas, pero no para cargas de fatiga o impacto. Intervalo de temperatura 0° a 180 °C (350 °F).
A230	Alambre revenido en aceite	1070	Resorte con calidad para válvula, apropiado para cargas de fatiga.
A232	Cromo-vanadio	6150	La aleación de acero más popular para resortes. Con calidad para válvulas, adecuada para cargas de fatiga. También buena para cargas de choque y de impacto. Para temperaturas hasta de 220 °C (425 °F). Disponible recocida o prerrevenida.
A313 (302)	Acero inoxidable	30302	Adecuado para aplicaciones de fatiga.
A401	Cromo-silicio	9254	Resorte con calidad para válvulas, apropiado para cargas de fatiga. Segunda mayor resistencia después del alambre musical, y con resistencia más alta a la temperatura, de hasta 220 °C (425 °F).
B134, #260	Resorte de latón	CA-260	Resistencia baja; buena resistencia contra la corrosión.
B159	Bronce al fósforo	CA-510	Mayor resistencia que el latón; mejor resistencia a la fatiga; buena resistencia contra la corrosión. No se puede tratar térmicamente ni doblarse a lo largo de la veta.
B197	Cobre al berilio	CA-172	Mayor resistencia que el latón; mejor resistencia a la fatiga; buena resistencia contra la corrosión. Se puede tratar térmicamente y doblarse a lo largo de la veta.
-	Inconel X-750	-	Resistencia contra la corrosión.

Figura 2.53: Materiales comunes de alambre para resortes

Fuente: [39]

El material seleccionado es el acero ASTM A227 por razón de que es un alambre galvanizado de uso general y menos costoso, por lo que, es más probable encontrarlo en el mercado nacional.

### 2.7.6. Suposición de diámetro de alambre

Es necesario suponer un diámetro de alambre  $d$  en base a la figura 2.54, estos son tamaños de alambre comúnmente disponibles en inventarios de los fabricantes junto con los rangos disponibles para cada tipo de acero ASTM.

U.S. (in)	SI (mm)
0.004	0.10
0.005	0.12
0.006	0.16
0.008	0.20
0.010	0.25
0.012	0.30
0.014	0.35
0.016	0.40
0.018	0.45
0.020	0.50
0.022	0.55
0.024	0.60
0.026	0.65
0.028	0.70
0.030	0.80
0.035	0.90
0.038	1.00
0.042	1.10
0.045	1.20
0.048	1.20
0.051	1.30
0.055	1.40
0.059	1.50
0.063	1.60
0.067	1.70
0.072	1.80
0.076	1.90
0.081	2.00
0.085	2.20
0.092	2.30
0.098	2.50
0.105	2.60
0.112	2.80
0.125	3.00
0.135	3.50
0.148	3.60
0.162	4.00
0.177	4.50
0.192	5.00
0.207	5.50
0.225	6.00
0.250	6.50
0.281	7.00
0.312	8.00
0.343	9.00
0.362	9.50
0.375	10.00
0.406	11.00
0.437	11.00
0.469	12.00
0.500	13.00
0.531	14.00
0.562	15.00
0.625	16.00

Figura 2.54: Diámetros de alambre disponibles por tipo de alambre

Fuente: [39]

Por razones de utilidad y de disponibilidad en el mercado se supone un diámetro de alambre de:

$$d = 3,50 \text{ (mm)}$$

### 2.7.7. Índice del resorte

En la figura 2.55 se presentan los parámetros dimensionales de los resortes helicoidales de compresión:

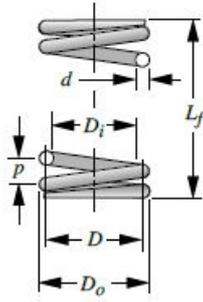


Figura 2.55: Parámetros dimensionales de los resortes helicoidales de compresión

Fuente: [39]

Donde:

$d$ : diámetro de alambre (mm)

$D$ : diámetro medio de la espiral (mm)

$L_f$ : longitud libre (mm)

$N_t$ : número de espiras o vueltas

$p$ : paso de la espira

$D_o$ : diámetro exterior de la espiral (mm)

$D_i$ : diámetro interior de la espiral (mm)

El índice del resorte  $C$  es la razón entre el diámetro medio del resorte y el diámetro del alambre según la siguiente ecuación:

$$C = \frac{D}{d} \quad (2.64)$$

El rango preferido de  $C$  es  $[4 \leq C \leq 12]$ , por lo que, si el índice está por debajo o encima de ese rango el resorte es propenso a pandearse o a enredarse con facilidad cuando se maneja en muchas cantidades [39].

Entonces, se toma la decisión de establecer el valor promedio del rango sugerido siendo:

$$C = 8$$

El índice del resorte es  $C = 8$ .

### 2.7.8. Diámetro medio

El diámetro medio se obtiene al despejar  $D$  de la ecuación 2.64 y sustituir los valores correspondientes:

$$D = C * d$$

$$D = 8 * 3,50 \text{ (mm)}$$

$$D = 28 \text{ (mm)}$$

Se obtiene que el diámetro medio  $D$  es 28 (mm).

### 2.7.9. Factor cortante directo

El factor de cortante directo  $K_s$  relaciona el esfuerzo cortante por torsión y el esfuerzo cortante directo que actúan en todas las espiras de un resorte helicoidal de compresión. Estos dos esfuerzos se suman, de modo que el esfuerzo cortante máximo se presenta en la fibra interior de la sección transversal del alambre [39].

La ecuación para encontrar este factor es:

$$K_s = 1 + \frac{0,5}{C} \quad (2.65)$$

Donde:

$K_s$ : factor de cortante directo

$C$ : índice del resorte

Reemplazar  $C$  en la ecuación 2.65 resulta en:

$$K_s = 1 + \left( \frac{0,5}{8} \right)$$

$$K_s = 1,0625$$

El factor  $K_s$  toma el valor 1,0625.

### 2.7.10. Resistencia a la tracción del alambre

La resistencia a la tracción es la resistencia del material del resorte helicoidal para soportar un esfuerzo de tracción antes de que se rompa. La expresión para encontrar esta resistencia es:

$$S_{ut} = Ad^b \quad (2.66)$$

Donde:

$S_{ut}$ : resistencia a la tracción del alambre (MPa)

$A$ : coeficiente para materiales de alambres en los rangos de diámetros especificados

$d$ : diámetro de alambre (mm)

$b$ : exponente para materiales de alambres en los rangos de diámetros especificados

Los coeficientes adquieren un valor según el material del alambre de acuerdo a la figura 2.56.

ASTM #	Material	Intervalo		Exponente $b$	Coeficiente $A$		Factor de correlación
		mm	in		MPa	psi	
A227	Forjado en frío	0.5–16	0.020–0.625	–0.182 2	1 753.3	141 040	0.998
A228	Alambre musical	0.3–6	0.010–0.250	–0.162 5	2 153.5	184 649	0.9997
A229	Revenido en aceite	0.5–16	0.020–0.625	–0.183 3	1 831.2	146 780	0.999
A232	Cromo-v.	0.5–12	0.020–0.500	–0.145 3	1 909.9	173 128	0.998
A401	Cromo-s.	0.8–11	0.031–0.437	–0.093 4	2 059.2	220 779	0.991

Figura 2.56: Coeficientes y exponentes para el cálculo de la resistencia a la tracción del alambre

Fuente: [39]

Los datos adquiridos se sustituyen en la ecuación 2.66:

$$S_{ut} = 1753,3 \text{ (MPa)} * (3,50 \text{ (mm)})^{-0,1822}$$

$$S_{ut} = 1395,4910 \text{ (MPa)}$$

Se encuentra que  $S_{ut} = 1395,4910 \text{ (MPa)}$ .

### 2.7.11. Resistencia cortante

La ecuación para estimar esta resistencia se obtiene gracias a pruebas exhaustivas de materiales de alambre para resortes trabajados en frío bajo condiciones de carga controladas.

$$S_{ys} = 0,6 * S_{ut} \quad (2.67)$$

Donde:

$S_{ys}$ : resistencia al corte del resorte (MPa)

$S_{ut}$ : resistencia a la tracción del alambre (MPa)

Se aplica la ecuación 2.67 como sigue:

$$S_{ys} = 0,6(1395,4910 \text{ (MPa)})$$

$$S_{ys} = 837,2946 \text{ (MPa)}$$

La resistencia al corte del resorte es 837,2946 (MPa).

### 2.7.12. Constante del resorte

La constante del resorte es la relación entre la precarga al momento de la instalación del resorte y la deflexión que provoca esa precarga inicial. La expresión para obtener esta constante es:

$$k = \frac{F}{y} \quad (2.68)$$

Donde:

$k$ : constante del resorte (N/m)

$F$ : carga que soporta el resorte (N)

$y$ : longitud de deflexión del resorte (m)

Se estima que sabiendo la precarga total de 44,0826 (N), la carga que soporta cada resorte es 1/4 de la misma (4 resortes en total), siendo 11,0207 (N) la precarga individual de cada resorte. Entonces, se considera que la deflexión por cada resorte está en torno a 3 (mm) ó 0,003 (m).

Se sustituyen las variables en la ecuación 2.68:

$$k = \frac{11,0207 \text{ (N)}}{0,003 \text{ (m)}}$$

$$k = 3673,5667 \text{ (N/m)}$$

La constante del resorte es 3673,5667 (N/m).

### 2.7.13. Número de espiras activas

Las espiras activas son las espiras que están involucradas en la deformación del resorte bajo carga, se ubican entre los extremos del resorte y se comprimen cuando se aplica una carga.

La fórmula para calcular el número de espiras activas es:

$$N_a = \frac{d^4 G}{8kD^3} \quad (2.69)$$

Donde:

$N_a$ : número de espiras activas

$d$ : diámetro del alambre (m)

$G$ : módulo de rigidez del material (GPa)

$k$ : constante del resorte (N/m)

$D$ : diámetro medio de la espiral (m)

El módulo de rigidez del acero al carbono ASME A227 se presenta en la figura 2.57.

Material	Módulo de elasticidad $E$		Módulo de rigidez $G$		Relación de Poisson $\nu$	Peso específico $w$		
	Mpsi	GPa	Mpsi	GPa		lbf/pulg <sup>3</sup>	lbf/ft <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>
Aluminio (todas las aleaciones)	10.4	71.7	3.9	26.9	0.333	0.098	169	26.6
Cobre al berilio	18.0	124.0	7.0	48.3	0.285	0.297	513	80.6
Latón	15.4	106.0	5.82	40.1	0.324	0.309	534	83.8
Acero al carbono	30.0	207.0	11.5	79.3	0.292	0.282	487	76.5
Hierro fundido (gris)	14.5	100.0	6.0	41.4	0.211	0.260	450	70.6
Cobre	17.2	119.0	6.49	44.7	0.326	0.322	556	87.3
Abeto Douglas	1.6	11.0	0.6	4.1	0.33	0.016	28	4.3
Vidrio	6.7	46.2	2.7	18.6	0.245	0.094	162	25.4
Inconel	31.0	214.0	11.0	75.8	0.290	0.307	530	83.3
Plomo	5.3	36.5	1.9	13.1	0.425	0.411	710	111.5
Magnesio	6.5	44.8	2.4	16.5	0.350	0.065	112	17.6
Molibdeno	48.0	331.0	17.0	117.0	0.307	0.368	636	100.0
Metal Monel	26.0	179.0	9.5	65.5	0.320	0.319	551	86.6
Plata niquelada	18.5	127.0	7.0	48.3	0.322	0.316	546	85.8
Acero al níquel	30.0	207.0	11.5	79.3	0.291	0.280	484	76.0
Bronce fosforado	16.1	111.0	6.0	41.4	0.349	0.295	510	80.1
Acero inoxidable (18-8)	27.6	190.0	10.6	73.1	0.305	0.280	484	76.0
Aleaciones de titanio	16.5	114.0	6.2	42.4	0.340	0.160	276	43.4

Figura 2.57: Constantes físicas de diferentes materiales

Fuente: [38]

Se obtiene que el módulo de rigidez es 79,3 (GPa).

Los datos conocidos se sustituyen en la ecuación 2.69:

$$N_a = \frac{(0,0035 \text{ (m)})^4 * 79,3 * 10^9 \text{ (Pa)}}{8 * 3673,5667 \text{ (N/m)} * (0,028 \text{ (m)})^3}$$

$$N_a = 18,4456 \text{ espiras activas}$$

Se calculan 18,4456 *espiras activas* que, por motivos de seguridad y que en el mercado solo se dispone de resortes con un número entero de espiras, se redondea a 19 *espiras activas*.

### 2.7.14. Tipo de extremo del resorte

Existen cuatro tipos de extremos en los resortes helicoidales a compresión, estos se muestran en la figura 2.58.

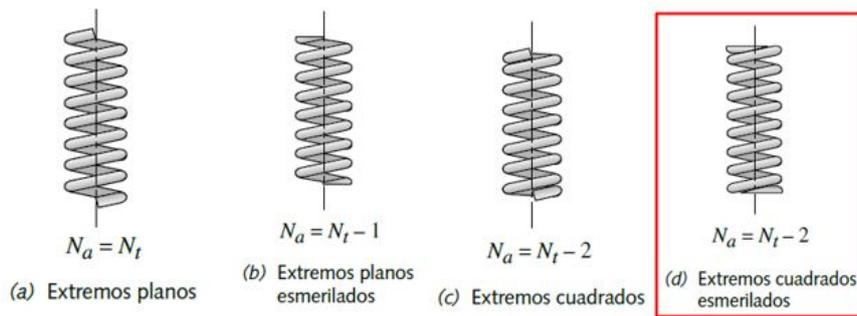


Figura 2.58: Estilos de tratamientos en los extremos de la espiral de resortes helicoidales de compresión

Fuente: [39]

Se selecciona los extremos cuadrados esmerilados, por la razón de que, este tipo de extremos brindan una superficie plana perpendicular al eje del resorte de entre 270° a 330° con esto se consigue una mejor alineación y es el recomendado para resortes de maquinaria [39].

También se presenta la ecuación para el cálculo del número de espiras total:

$$N_a = N_t - 2 \tag{2.70}$$

Donde:

$N_a$ : número de espiras activas

$N_t$ : número de espiras totales

De la ecuación 2.70 se despeja las espiras totales:

$$N_t = N_a + 2$$

$$N_t = 19 + 2$$

$$N_t = 21 \text{ espiras totales}$$

Se considera que el resorte debe contar con 21 *espiras totales*.

### 2.7.15. Longitud sólida

En la nomenclatura del resorte helicoidal a compresión existen varios tipos de longitudes como se observa en la figura 2.59.

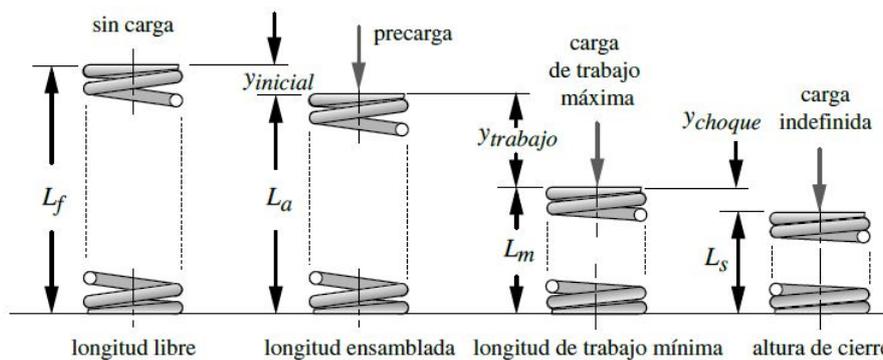


Figura 2.59: Varias longitudes en diferentes etapas del resorte helicoidal de compresión

Fuente: [39]

La longitud sólida o de cierre es la longitud del resorte cuando se comprime y todas las espiras del mismo están en contacto. La ecuación para calcular esta longitud es:

$$L_s = d * N_t \quad (2.71)$$

Donde:

$L_s$ : longitud sólida del resorte (m)

$d$ : diámetro del alambre (m)

$N_t$ : número de espiras totales

Se aplica la expresión 2.71 y se halla:

$$L_s = 0,0035 \text{ (m)} * 21 \text{ espiras totales}$$

$$L_s = 0,0735 \text{ (m)}$$

Se encuentra que la longitud sólida es 0,0735 (m) ó 73,5 (mm).

### 2.7.16. Longitud de trabajo

Como se aprecia en la figura 2.59, es la deflexión presente en el resorte luego de que se le aplique la carga de trabajo máxima. La longitud de trabajo se calcula con la siguiente fórmula:

$$y_{trabajo} = \frac{F_{trabajo}}{k} \quad (2.72)$$

Donde:

$y_{trabajo}$ : deflexión de trabajo (m)

$F_{trabajo}$ : carga de trabajo (N)

$k$ : constante del resorte (N/m)

Se sustituyen las magnitudes conocidas en la ecuación 2.72 como sigue:

$$y_{trabajo} = \frac{137,7710 \text{ (N)}}{3673,5667 \text{ (N/m)}}$$

$$y_{trabajo} = 0,0375 \text{ (m)}$$

Se calcula que la deflexión de trabajo es 0,0375 (m) ó 37,5 (mm).

### 2.7.17. Altura de choque

También conocida como holgura de choque o entre espiras, se refiere a la diferencia entre la longitud de trabajo mínima y la altura de cierre que se expresa en un porcentaje de la deflexión de trabajo. Se recomienda una altura de choque del 10 % al 15 % [39], con el objetivo de eliminar la posibilidad de alcanzar la altura de cierre debido a deflexiones excesivas.

Se supone una altura de choque de 10 % de la distancia de trabajo según la siguiente ecuación:

$$y_{choque} = \%ch * y_{trabajo} \quad (2.73)$$

Donde:

$y_{choque}$ : altura de choque (m)

$\%ch$ : porcentaje de choque

$y_{trabajo}$ : deflexión de trabajo (m)

Con la ecuación 2.73 se prosigue:

$$y_{choque} = 0,1 * 0,0375 \text{ (m)}$$

$$y_{choque} = 0,003750 \text{ (m)}$$

Se estima que la altura de choque  $y_{choque}$  equivale a 0,00375 (m).

### 2.7.18. Longitud inicial

Se acuerdo con la figura 2.59, la longitud inicial es la deflexión inicial del resorte debido a la precarga.

La ecuación a continuación ayuda a hallar esta longitud:

$$y_{inicial} = \frac{F_{inicial}}{k} \quad (2.74)$$

Donde:

$y_{inicial}$ : deflexión inicial (m)

$F_{inicial}$ : precarga aplicada al resorte individual (N)

$k$ : constante del resorte (N/m)

Al aplicarse la ecuación 2.74 se encuentra:

$$y_{inicial} = \frac{11,0207 \text{ (N)}}{3673,5667 \text{ (N/m)}}$$

$$y_{inicial} = 2,9999 * 10^{-3} \text{ (m)}$$

La longitud inicial del resorte es 0,002999 (m).

### 2.7.19. Longitud libre

La longitud libre del resorte es la longitud total del resorte cuando no se le aplica ninguna carga. La siguiente expresión ayuda a calcularla:

$$L_f = L_s + y_{choque} + y_{trabajo} + y_{inicial} \quad (2.75)$$

Donde:

$L_f$ : longitud libre del resorte (m)

$L_s$ : longitud sólida (m)

$y_{choque}$ : altura de choque (m)

$y_{trabajo}$ : deflexión de trabajo (m)

$y_{inicial}$ : deflexión inicial (m)

Se reemplazan todos los valores conocidos en la ecuación 2.75:

$$L_f = (0,0735 + 0,00375 + 0,0375 + 0,002999) \text{ (m)}$$

$$L_f = 0,1177 \text{ (m)}$$

La longitud libre es 0,1177 (m).

### 2.7.20. Longitud de cierre

Es la altura que el resorte disminuye cuando se comprime completamente. La expresión siguiente ayuda a calcularla:

$$y_{cierre} = L_f - L_s \quad (2.76)$$

Donde:

$y_{cierre}$ : longitud de cierre (m)

$L_f$ : longitud libre del resorte (m)

$L_s$ : longitud sólida (m)

Se aplica la ecuación 2.76:

$$y_{cierre} = (0,1177 - 0,0735) \text{ (m)}$$

$$y_{cierre} = 0,0442 \text{ (m)}$$

La longitud de cierre  $y_{cierre}$  es 0,0442 (m).

### 2.7.21. Fuerza de cierre

Es la que se debe aplicar al resorte para lograr que llegue a la longitud sólida. Para encontrarla se utiliza la expresión a continuación:

$$F_{cierre} = k * y_{cierre} \quad (2.77)$$

Donde:

$F_{cierre}$ : fuerza de cierre (N)

$k$ : constante del resorte (N/m)

$y_{cierre}$ : longitud de cierre (m)

Se aplica la ecuación 2.77:

$$F_{cierre} = 3673,5667 \text{ (N/m)} * 0,0442 \text{ (m)}$$

$$F_{cierre} = 162,3716 \text{ (N)}$$

La fuerza de cierre calculada es 162,3716 (N).

### 2.7.22. Esfuerzo cortante máximo

Se da debido a la presencia del esfuerzo cortante por torsión, debido a un momento, y del esfuerzo cortante directo, debido a una fuerza de compresión. En la figura 2.60 se aprecia la representación de estos esfuerzos combinados en la sección transversal del alambre del resorte [39].

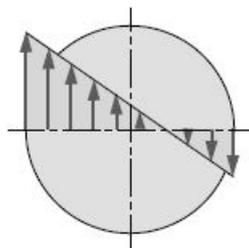


Figura 2.60: Esfuerzos combinados cortante directo y cortante por torsión

Fuente: [39]

La ecuación necesaria para el cálculo del esfuerzo cortante máximo es:

$$\tau_{max} = K_s * \frac{8DF_{cierre}}{\pi d^3} \quad (2.78)$$

Donde:

$\tau_{max}$ : esfuerzo cortante máximo (MPa)

$K_s$ : factor de cortante directo

$D$ : diámetro medio del resorte (m)

$F_{cierre}$ : fuerza de cierre (N)

$d$ : diámetro del alambre (m)

Al utilizar la ecuación 2.78 se tiene:

$$\tau_{max} = 1,0625 * \left( \frac{8 * 0,028 \text{ (m)} * 162,3716 \text{ (N)}}{\pi * (0,0035 \text{ (m)})^3} \right)$$

$$\tau_{max} = 286901633,9 \text{ (Pa)}$$

$$\tau_{max} = 286,9016 \text{ (MPa)}$$

Se obtiene que el esfuerzo cortante máximo es 286,9016 (MPa).

### 2.7.23. Factor de seguridad

El factor de seguridad es una medida de la capacidad del resorte para soportar una carga sin romperse. Para calcularlo se aplica la ecuación siguiente:

$$n_s = \frac{S_{ys}}{\tau_{max}} \quad (2.79)$$

Donde:

$n_s$ : factor de seguridad del resorte

$S_{ys}$ : resistencia al corte del resorte (MPa)

$\tau_{max}$ : esfuerzo cortante máximo (MPa)

Finalmente, se utiliza la ecuación 2.79 para conocer si el resorte falla:

$$n_s = \frac{837,2946 \text{ (MPa)}}{286,9016 \text{ (MPa)}}$$

$$n_s = 2,9184$$

Se calcula que el factor de seguridad del resorte  $n_s$  es 2,9184, con lo que se establece que el resorte diseñado es adecuado para esta máquina.

#### **2.7.24. Resumen del resorte diseñado**

A continuación, se exponen los datos más sobresalientes en el diseño del resorte:

- El material del resorte es un acero al carbono ASTM A227.
- El diámetro del alambre es de 3,5 milímetros.
- El tipo de extremos del resorte es extremos cuadrados esmerilados.
- La longitud libre del resorte es aproximadamente 0,1177 metros ó 117,7 milímetros.
- El número de espiras del resorte es 21.
- El diámetro medio del resorte es 28 milímetros.

# Capítulo III

## Resultados

En este capítulo se presentan los detalles del ensamblaje de la máquina y los resultados obtenidos mediante las pruebas de funcionamiento.

### 3.1. Componentes de la máquina

A continuación, en la tabla 3.1 se describen los componentes que forman parte de la máquina.

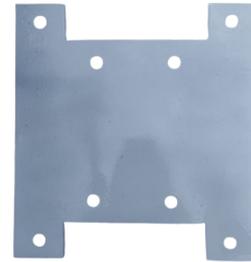
Tabla 3.1: Componentes de la máquina

Nombre	Descripción	Imagen
Tabla triplex	Tabla de 18 milímetros de espesor que se utiliza para realizar el tablero de apoyo de la máquina.	
Motor servo	Motor seleccionado por sus características técnicas y funcionalidades de uso, incluye el controlador de cambio de velocidad y de giro además de la polea motriz.	
Estante	El estante incluye el pedal para el control del motor, es la estructura metálica donde se asienta el tablero y permite que la máquina pueda ser utilizada al estilo de una máquina de coser industrial de mesa.	

Polea conducida	Se trata de la polea que recibe la potencia motriz desde el motor para el funcionamiento de la máquina.	
Correa de transmisión	La correa seleccionada según los cálculos es una de tipo trapezoidal A46.	
Eje superior	El eje de 3/4 de pulgada está acoplado a la polea motriz y transmite el movimiento rotatorio para el suavizado del borde del ala de los sombreros.	
Eje inferior	Este eje de 3/4 de pulgada está unido al señalador inferior y puede girar libremente pues no está conectado al motor de forma directa. Cuando se acciona el motor, gira en conjunto con el eje superior, ya que, los dos señaladores en los extremos de ambos ejes giran en conjunto al aprisionar al ala del sombrero.	
Señalador superior	Esta pieza aprisiona a la falda del sombrero por la parte superior para suavizarla.	
Señalador inferior	Este elemento está en contacto directo con el sombrero por la parte inferior para suavizarlo en conjunto con el señalador superior.	
Chumaceras y rodamientos	Se adquiere cuatro rodamientos de inserción de 3/4 de pulgada con sus respectivas chumaceras P204.	

Pletina superior

Es una pletina de acero al carbono de 6 milímetros de espesor sobre la que se instala el eje superior.



Pletina inferior

Pletina de acero al carbono de 6 milímetros de espesor sobre la que se asientan las chumaceras y el eje inferior.



Pernos y tuercas

Es necesario ocho pernos de 3/8 x 4 y cuatro pernos de 3/8 x 8 pulgadas de paso fino con sus respectivas tuercas.



Arandelas

Es necesario contar con 20 arandelas para pernos de 3/8 de pulgada.



Pintura

Se adquiere pintura blanca para el recubrimiento del tablero y de las pletinas.



Pegamento

Se aplica en las caras de las tablas triplex para unir las y crear el tablero.



Tornillos autoros-  
cantes

Tornillos que se utilizan para anclar el  
tablero al estante.



Resortes a com-  
presión

Los resortes a compresión mantienen  
una presión constante del señalador in-  
ferior contra el superior para obtener  
un suavizado adecuado del borde del  
ala del sombrero.



Fuente: Autor

## 3.2. Tiempos de funcionamiento

Los sombreros en los que se realiza las pruebas de funcionamiento tienen dos espesores diferentes, un grupo cuenta con 2 milímetros y otro grupo con 3 milímetros de espesor como se presenta en la figura 3.1.

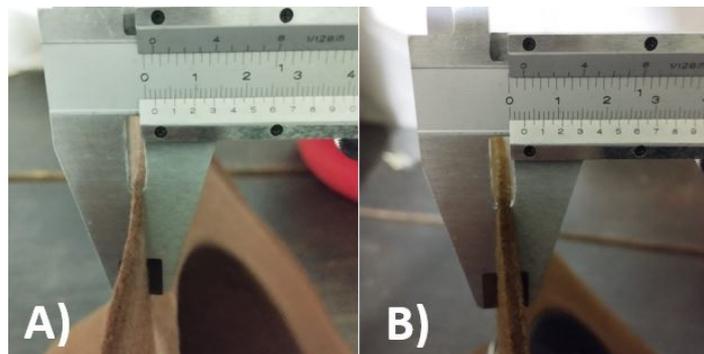


Figura 3.1: Espesores del paño de los sombreros. A) Espesor de 2 (mm) y B) Espesor de 3 (mm)

Fuente: Autor

Se utiliza un cronómetro para obtener el tiempo. Se realizan 15 pruebas en sombreros con espesor de paño de 2 milímetros y 15 en sombreros de 3 milímetros como se aprecia en la figura 3.2.



Figura 3.2: Sombreros para las pruebas de funcionamiento

Fuente: Autor

Las pruebas de suavizado se realizan en un taller artesanal de sombreros de paño. La persona que emplea la máquina cuenta con experiencia en el uso de máquinas de coser industriales tipo mesa y es quien manipula los sombreros para esta prueba de funcionamiento.

En las figura 3.3 se visualiza que la persona opera la máquina durante el suavizado del borde del ala de los sombreros.



Figura 3.3: Operación de la máquina de suavizado, A) Sombrero talla 55, B) Sombrero talla 57, C) Sombrero talla 59

Fuente: Autor

### 3.2.1. Sombreros de paño de 2 milímetros de espesor

En la figura 3.4 se observa un diagrama de barras que representa el tiempo versus las pruebas realizadas.



Figura 3.4: Tiempo de suavizado para sombreros de espesor de 2 (mm)

Fuente: Autor

El tiempo de suavizado en el espesor de 2 milímetros se detalla en la tabla 3.2.

N° prueba	Tiempo (s)
1	82,81
2	85,63
3	91,43
4	78,01
5	105,87
6	96,45
7	81,96
8	78,19
9	92,10
10	110,66
11	94,71
12	88,20
13	80,59
14	94,99
15	102,27

Tabla 3.2: Tabla de tiempos de suavizado para sombreros de paño de 2 (mm) de espesor

Fuente: Autor

Se calcula el tiempo promedio del suavizado mediante la ecuación 2.2:

$$\bar{X}_{e2} = 90,9247 \text{ (s)}$$

Se obtiene que el tiempo promedio obtenido en las pruebas de funcionamiento para los sombreros de espesor de 2 milímetros es 90,9247 (s).

### 3.2.2. Sombreros de paño de 3 milímetros de espesor

Los sombreros del segundo grupo para las pruebas de suavizado se caracterizan por tener un gramaje mayor, por lo que, su espesor aumenta. Para estos sombreros se emplea el mismo método para la obtención del tiempo, los resultados para cada sombrero se muestran en la figura 3.5.



Figura 3.5: Tiempo de suavizado para sombreros de espesor de 3 (mm)

Fuente: Autor

Se observa que en estos sombreros las pruebas de suavizado tomaron más tiempo que las de los sombreros de espesor menor, esto puede ser debido a que requieren más pasadas para tener el suavizado adecuado.

Los resultados de esta prueba se resumen en la tabla 3.3.

N° prueba	Tiempo (s)
1	108,36
2	113,87
3	115,23
4	123,08
5	105,46
6	107,58
7	111,48
8	118,89
9	131,14
10	112,55
11	107,74
12	109,03
13	126,27
14	121,33
15	117,63

Tabla 3.3: Tabla de tiempos de suavizado para sombreros de paño de 3 (mm) de espesor

Fuente: Autor

El tiempo promedio de suavizado para los sombreros de 3 (mm) de espesor es:

$$\bar{X}_{e3} = 115,3093 \text{ (s)}$$

### 3.3. Error en el proceso

Este error se debe a variaciones en el proceso de suavizado. Por ejemplo, el tiempo de suavizado puede variar en función de la práctica que tenga el operario al utilizar la máquina, del espesor del sombrero o de las condiciones lumínicas en las que se desarrolla el suavizado.

Se obtiene el tiempo de suavizado para diferentes muestras, con lo que, se toma como referencia el tiempo promedio para cada espesor y se calcula el error absoluto y el porcentual.

En la tabla 3.4 se presenta el error para las muestras de 2 milímetros de espesor con la referencia de  $\bar{X}_{e2} = 90,9247 \text{ (s)}$ .

N° prueba	Tiempo de suavizado (s)	Error absoluto (s)	Error porcentual (%)
1	82,81	8,11	8,92
2	85,63	5,29	5,82

3	91,43	0,50	0,55
4	78,01	12,91	14,20
5	105,87	14,94	16,43
6	96,45	5,52	6,07
7	81,96	8,96	9,85
8	78,19	12,73	14,00
9	92,10	1,17	1,29
10	110,66	19,73	21,70
11	94,71	3,78	4,16
12	88,20	2,72	2,99
13	80,59	10,33	11,36
14	94,99	4,06	4,47
15	102,27	11,34	12,47

Tabla 3.4: Tabla de error absoluto y porcentual para sombreros de paño de 2 (mm) de espesor

Fuente: Autor

El error porcentual promedio es 8,95 %.

En la tabla 3.5 se muestra el error para las muestras de 3 milímetros de espesor con la referencia del tiempo promedio de  $\bar{X}_{e3} = 115,3093$  (s).

N° prueba	Tiempo de suavizado (s)	Error absoluto (s)	Error porcentual (%)
1	108,36	6,94	6,02
2	113,87	1,43	1,24
3	115,23	0,07	0,06
4	123,08	7,77	6,73
5	105,46	9,84	8,54
6	107,58	7,72	6,70
7	111,48	3,82	3,32
8	118,89	3,58	3,10
9	131,14	15,83	13,72
10	112,55	2,75	2,39
11	107,74	7,56	6,56
12	109,03	6,27	5,44
13	126,27	10,96	9,50
14	121,33	6,02	5,22
15	117,63	2,32	2,01

Tabla 3.5: Tabla de error absoluto y porcentual para sombreros de paño de 3 (mm) de espesor

Fuente: Autor

El error porcentual promedio para los sombreros de 3 mm de espesor es 5,37 %.

### 3.4. Eficiencia

De acuerdo a la encuesta realizada al artesano presente en los anexos, de forma tradicional el proceso de suavizado de cada sombrero tarda alrededor de 4 minutos (Anexo 1), a continuación, se compara el porcentaje de reducción del tiempo en la ejecución del proceso con la máquina.

#### 3.4.1. Eficiencia en los sombreros de 2 milímetros de espesor

Se compara el tiempo que toma suavizar el borde del ala del sombrero artesanalmente con el tiempo que toma con la máquina.

Se aplica la siguiente ecuación:

$$\% \text{ eficiencia} = \frac{\text{Tiempo mano de obra estándar}}{\text{Tiempo de trabajo con la máquina}} * 100 \% \quad (3.1)$$

Donde:

*% eficiencia*: porcentaje de eficiencia al utilizar la máquina

*Tiempo mano de obra estándar*: tiempo de suavizado de forma artesanal (s)

*Tiempo de trabajo con la máquina*: tiempo de suavizado empleando la máquina (s)

Al aplicar la ecuación 3.1 se obtiene:

$$\% \text{ eficiencia} = \frac{240 \text{ (s)}}{90,9247 \text{ (s)}} * 100 \%$$

$$\% \text{ eficiencia} = 263,9546 \%$$

Se obtiene una eficiencia de 263,9546 %, con lo que para este espesor de sombreros la eficiencia de trabajo con la máquina es de más del doble.

#### 3.4.2. Eficiencia en los sombreros de 3 milímetros de espesor

Se recurre a la ecuación de 3.1 para calcular la eficiencia obtenida en el suavizado de los sombreros de 3 (mm) de espesor:

$$\% \text{ eficiencia} = \frac{240 \text{ (s)}}{115,3093 \text{ (s)}} * 100 \%$$

$$\% \text{ eficiencia} = 208,1356 \%$$

Se obtiene una eficiencia del 208,1356 % que representa un ahorro de la mitad de tiempo del suavizado hecho tradicionalmente.

### 3.5. Análisis de resultados

La eficiencia por encima del 100 % representa ahorro de tiempo en la confección de sombreros de paño. También al emplear la máquina se consigue la eliminación del esfuerzo físico por parte del artesano y la prevención de enfermedades musculo esqueléticas relacionadas al trabajo físico.

En la figura 3.6 se observa el antes y el después del suavizado en un sombrero de prueba.

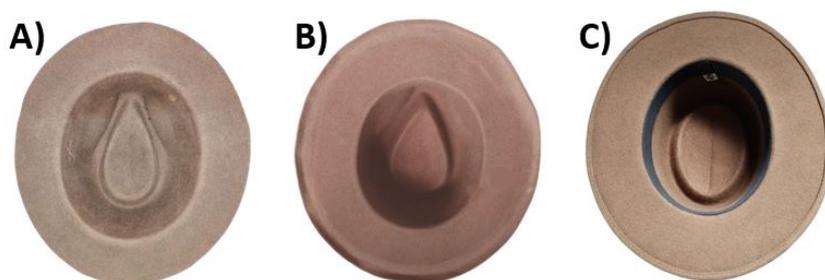


Figura 3.6: A) Sombrero antes del suavizado, B) Sombrero después del suavizado, C) Sombrero con el borde cocido

Fuente: Autor

Por información de parte del artesano se sabe que cuando se intenta coser el borde del sombrero sin que esté suavizado, la aguja de la máquina de coser industrial recta se rompe debido al espesor y dureza del paño por el almidón. Por medio de inspección con el tacto, el borde del sombrero se siente más suave que antes del proceso en la máquina, esto es lo que se desea conseguir, ya que, como se observa en la figura 3.6 literal C) el cosido del borde ya suavizado se lleva a cabo sin fallas.

#### 3.5.1. Conformidad del artesano con el suavizado

En el anexo 7 se presenta una encuesta de satisfacción sobre el suavizado del ala de los sombreros realizado al artesano, se concluye que la mayoría de muestras analizadas bajo su criterio y expertiz cuentan con un grado de conformidad de adecuado, por lo que, los sombreros suavizados pueden continuar con su proceso de confección y ser comercializados.

En la figura 3.7 se aprecia como queda el borde del sombrero una vez que ha sido suavizado, cosido, y planchado.



Figura 3.7: Vista del borde cosido del sombrero

Fuente: Autor

## **3.6. Análisis estático**

Se utiliza un software de modelado mecánico para simular el comportamiento de una estructura o componente mecánico bajo cargas estáticas.

### **3.6.1. Cargas en la estructura**

Se toma en cuenta las cargas que actúan en la estructura de la máquina de acero ASTM A36 y en el tablero de madera de pino. Las cargas que influyen, además de la precarga de la tabla 2.12, son el peso de las pletinas, los ejes, las chumaceras, la correa, los resortes, los señaladores, la carcasa de protección y el motor. Aproximadamente, se tiene una masa combinada de 15 kilogramos.

La carga en la estructura se observa en la figura 3.8, donde las flechas verdes representan las sujeciones fijas de la estructura y las de color lila la carga equivalente a 147,1500 (N).

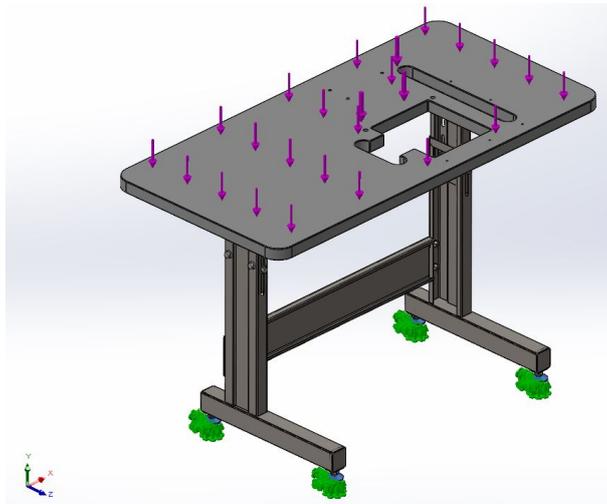


Figura 3.8: Carga en la estructura de la máquina

Fuente: Autor

### 3.6.2. Resultado de desplazamiento

En la figura 3.9 se aprecia el desplazamiento máximo en la estructura, el cual se da en una zona en voladizo sobre la que se asienta la pletina superior, dos chumaceras, el eje superior y la pila de sombreros, este desplazamiento no representa ningún riesgo para la persona que opera la máquina ni afecta el buen funcionamiento de la misma.

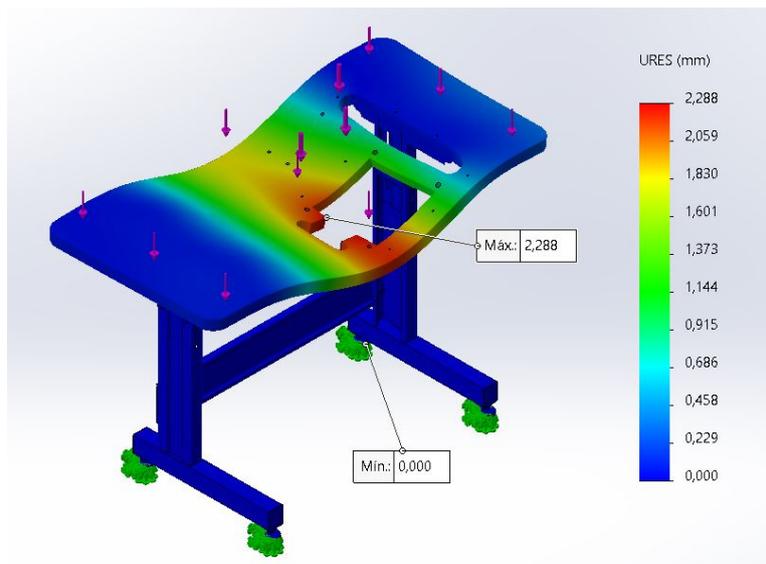


Figura 3.9: Desplazamiento máximo en la estructura

Fuente: Autor

### 3.6.3. Resultado del factor de seguridad

En la figura 3.10 se observa que el factor de seguridad mínimo es 7,98 esto significa que la estructura soporta satisfactoriamente la carga simulada sin fallar.

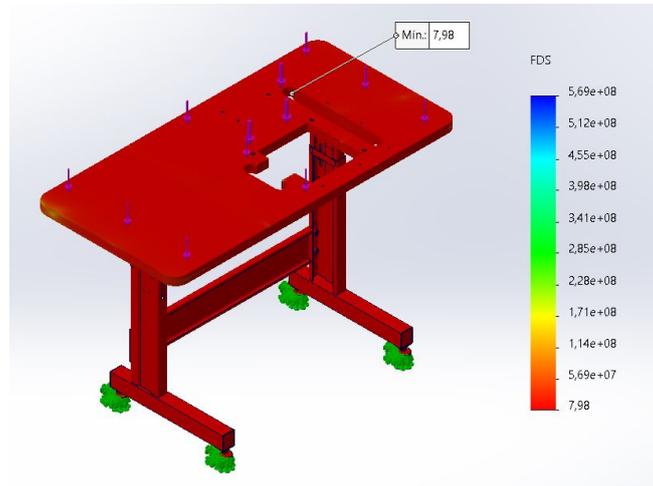


Figura 3.10: Factor de seguridad de la estructura

Fuente: Autor

### 3.7. Ensamble de la máquina

A continuación, se describe el proceso de ensamble de la máquina:

1. **Limpieza y unión del tablero:** se unen dos tableros de 16 (mm) de espesor cada uno, en la figura 3.11 se aprecia la unión mediante un adhesivo para trabajos de carpintería.



Figura 3.11: Limpieza y unión del tablero de la máquina

Fuente: Autor

2. **Corte y pintado de las pletinas:** la pletina inferior y superior se cortan con plasma ya que tienen 6 milímetros de espesor y luego se pintan como se observa en la figura 3.12.

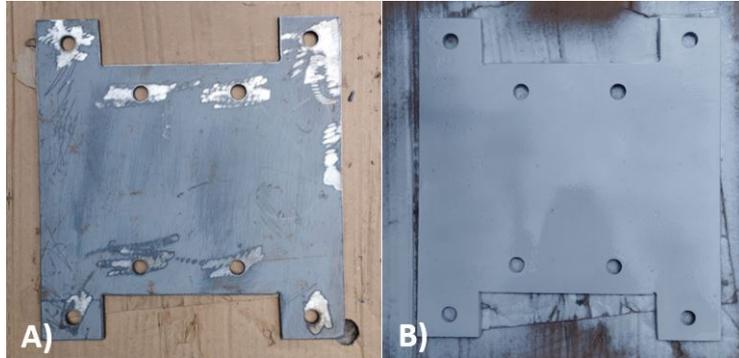


Figura 3.12: A) Pletina cortada, B) Pletina pintada

Fuente: Autor

3. **Corte y pintado del tablero:** el tablero se lija y se pinta, luego se traza y se corta los espacios para la instalación de las pletinas, la polea conducida y los suavizadores tal como se expone en la figura 3.13.



Figura 3.13: Tablero pintado

Fuente: Autor

4. **Instalación del suavizador y polea:** se corta el eje, se instala el suavizador en un extremo y se lo ajusta con los prisioneros, seguidamente se instala las chumaceras con los rodamientos a la distancia correspondiente y se aprietan los tornillos de fijación, luego en el otro extremo se repite el proceso con la polea conducida, el resultado se aprecia en la figura 3.14.

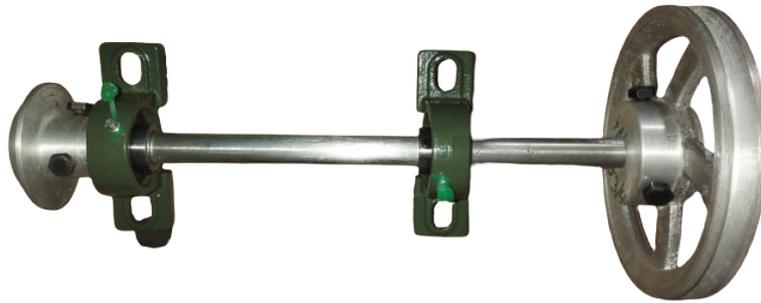


Figura 3.14: Eje superior completo

Fuente: Autor

5. **Instalación pletina inferior:** como se observa en la figura 3.15 se coloca la pletina inferior junto a las chumaceras, los resortes, el eje inferior y el suavizador inferior. En conjunto con el suavizador superior se consigue suavizar el borde del ala del sombrero.



Figura 3.15: Pletina inferior instalada

Fuente: Autor

6. **Banda y motor:** el motor se instala en la zona posterior de la máquina y la banda se coloca entre ambas poleas para la transmisión de potencia. El resultado se observa en la figura 3.16.

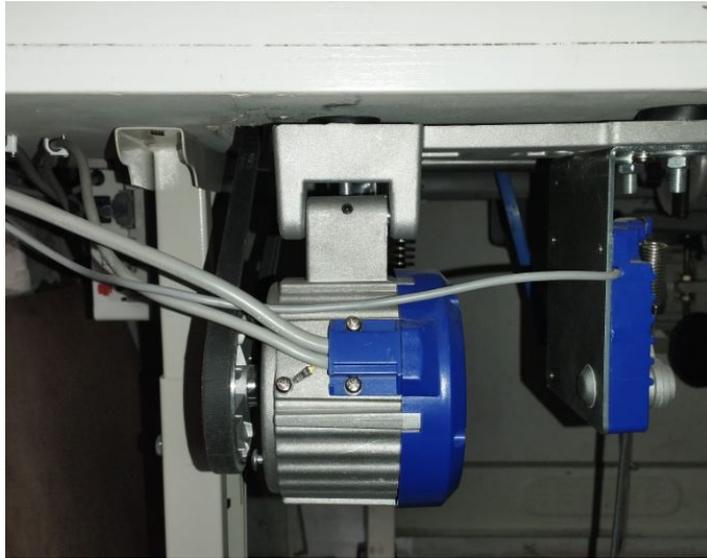


Figura 3.16: Motor y banda instalados

Fuente: Autor

- 7. Instalación de la carcasa protectora:** se diseña y se imprime en 3D varias piezas que al instalarlas conforman una carcasa para evitar atrapamientos y demás accidentes. La carcasa se muestra en la figura 3.17.

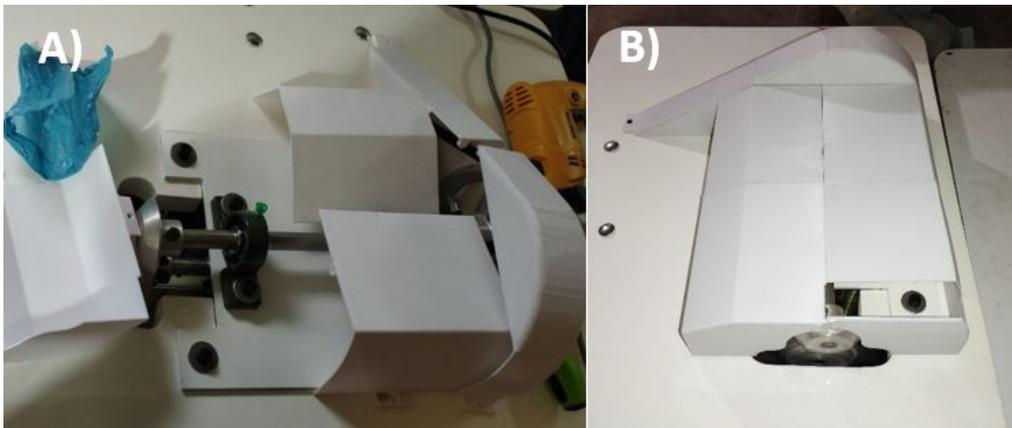


Figura 3.17: A) Instalación de la carcasa, B) Resultado de la instalación

Fuente: Autor

- 8. Instalación del estante:** el estante sostiene al tablero y a todos los demás elementos de la máquina. El estante instalado se aprecia en la figura 3.18.



Figura 3.18: Estante instalado

Fuente: Autor

9. **Máquina lista:** en la figura 3.19 se evidencia la máquina completamente ensamblada y lista para el trabajo.



Figura 3.19: Máquina ensamblada

Fuente: Autor

## 3.8. Costos de implementación

Se estiman los costos directos e indirectos asociados con la compra de partes, implementación e instalación de la máquina.

### 3.8.1. Costos directos

Son aquellos que se asignan directamente a un servicio o producto como son los materiales o partes utilizadas en la construcción de la máquina suavizadora. En la tabla 3.6 se detallan los materiales y servicios relacionados al costo directo.

Detalle	Cantidad	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
Tabla triplex de 16 mm de espesor	1	24	24
Cola blanca Bioplast	1	2,25	2,25
Corte y pintura del tablero	1	7	7
Estante metálico	1	50	50
Servomotor 550 Watts	1	110	110
Correa de transmisión	1	3,50	3,50
Polea conducida de 7 in	1	12	12
Impresión 3D piezas suavizadoras	2	5	10
Fundición pieza suavizadora inferior	1	20	20
Fundición pieza suavizadora superior	1	15	15
Eje de acero AISI 4340 de 3/4 in	1	15	15
Corte eje de acero	1	1	1
Pletina de acero al carbono	2	7	14
Corte pletinas	1	32	32
Chumacera de piso y rodamientos	4	5	20
Resorte de acero al carbono	4	6,50	26
Perno de 3/4 x 4	4	0,89	3,56
Perno de 3/8 x 8	4	1,79	7,16
Arandela plana de 3/8	20	0,04	0,89
Broca HSS 3/8	1	2,03	2,03
Rollo de PLA de 1 kg	1	20	20
Impresión 3D Carcasa protectora	1	15	15
Tornillos y tuercas Carcasa protectora	6	0,1	0,6
Costo estimado de diseño	1	200	200
		<b>TOTAL</b>	<b>610,99</b>

Tabla 3.6: Costos directos del proyecto

Fuente: Autor

Al sumar todos los costos directos se obtiene 610,99 *USD*.

### 3.8.2. Costos indirectos

Son los que no se pueden asignar directamente a un producto o servicio. En la tabla 3.7 se muestran los costos indirectos estimados del desarrollo del proyecto.

<b>Detalle</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo unitario (USD)</b>	<b>Costo total (USD)</b>
Transporte	30	0,5	15
Alimentación	7	2,5	17,5
Internet	1	10	10
Energía eléctrica	1	10	10
Gastos varios	1	30	30
		<b>TOTAL</b>	<b>82,50</b>

Tabla 3.7: Costos indirectos del proyecto

Fuente: Autor

Se estima que los costos indirectos son 82,50 *USD*.

### 3.8.3. Costo total

Es la suma de los costos directos e indirectos, este valor se muestra en la tabla 3.8.

<b>Costo</b>	<b>Valor (USD)</b>
Directos	610,99
Indirectos	82,50
<b>Total</b>	<b>693,49</b>

Tabla 3.8: Costo total

Fuente: Autor

### 3.8.4. Análisis de rentabilidad

Se estima el costo que toma hacer una actividad artesanalmente y en cuánto tiempo se pagaría la máquina en función de su tiempo de trabajo.

A continuación se realiza un análisis general sobre la inversión de la máquina. La capacidad de producción por semana del taller de sombreros es de 100 unidades por semana, lo que se traduce en 400 al mes, cada modelo tiene un precio diferente, por lo que se promedia un costo por sombrero de 15 dólares americanos, de los cuales 8 dólares se traducen en la recuperación de la inversión en materia prima, con lo que la ganancia neta por sombrero es de 7 dólares americanos. Suponiendo que se venden todos los sombreros confeccionados en el mes se tiene un beneficio esperado mensual de 2800 dólares.

Con la siguiente ecuación se estima el tiempo de amortización de la máquina:

$$\text{Tiempo de amortización} = \frac{\text{Beneficios esperados}}{\text{Costo de la máquina}} \quad (3.2)$$

Donde:

*Tiempo de amortización*: tiempo de recuperación del capital en meses

*Costo de la máquina*: costo total de la máquina en USD

*Beneficios esperados*: monto de ganancia mensual en USD

Al reemplazar los valores se obtiene:

$$\text{Tiempo de amortización} = \frac{2800 \text{ USD}}{693,49 \text{ USD}}$$

$$\text{Tiempo de amortización} = 4,0375 \text{ meses}$$

Se estima que la inversión de la máquina se recupera en un poco más de cuatro meses, aproximadamente en 122 días de trabajo. Este resultado se debe tomar como un estimado, pues la comercialización de los sombreros no es sencilla y está sujeta a muchos cambios.

## Capítulo IV

# Conclusiones, Recomendaciones y Trabajo a futuro

En este capítulo se exponen las conclusiones, recomendaciones y trabajo a futuro relacionado con el presente trabajo de titulación.

### 4.1. Conclusiones

- Se desarrolla una máquina para suavizar el borde del ala de sombreros artesanales de paño, se diseña y selecciona los componentes adecuados para el correcto funcionamiento de la misma. El motor seleccionado tiene una potencia de 550 Watts lo que es suficiente para suavizar hasta el paño de 3 mm el cual es el mayor espesor disponible para sombreros, este motor permite regular su velocidad mediante un controlador con una interfaz amigable para el usuario dentro de un rango que va desde 250 hasta 4500 RPM. La potencia se transmite por un sistema de poleas el cual realiza su tarea sin inconvenientes, se selecciona este sistema para aprovechar la polea incluida en la adquisición del motor y para la reducción del costo de la implementación del equipo. El eje de acero AISI 4340 soporta todos los esfuerzos corroborado mediante distintos criterios de factor de seguridad siendo en todos mayor a 2. Los rodamientos de inserción rígidos de bolas seleccionados cumplen su función correctamente y se adaptan al diámetro del eje, además cuentan con tornillos prisiones capaces de brindar el ajuste necesario para una buena estabilidad y funcionamiento a bajas y altas velocidades. Por otro lado, los resortes a compresión estática diseñados son los idóneos para brindar la fuerza de 551 Newtons necesaria para que los señaladores suavicen sin problemas el paño de los sombreros. El equipo construido es de tipo máquina de coser industrial debido a la familiaridad de los artesanos con este tipo de

dispositivos, la misma cuenta con una estructura metálica capaz de adaptarse a diferentes alturas de trabajo lo que brinda comodidad y ergonomía al operario.

- Se determinan los principales parámetros para el correcto suavizado del paño mediante una encuesta al artesano en un taller de confección de sombreros de paño y bajo estas condiciones se diseñan y seleccionan los elementos que conforman la máquina. Se considera la seguridad del operario, la fuerza necesaria para el suavizado, el tiempo de operación de la máquina, también que el suavizado se debe realizar a aproximadamente a 1 centímetro del borde del ala del sombrero y en todo el perímetro del mismo, que el paño procesado se pueda coser posteriormente en una máquina de coser común y que el correcto suavizado se determinará en base al sentido del tacto, la experiencia y visto bueno del artesano.
- La máquina se diseña en el software de diseño mecánico SolidWorks y se concluye que la estructura metálica de chapa de 1,5 mm de acero A36 y el tablero de madera soportan sin ningún problema la carga combinada de 15 kg del peso de todos los elementos mecánicos y eléctricos además de una pila de sombreros ubicada en la zona libre de la máquina. Mediante un análisis de elementos finitos (FEA) se determina que el desplazamiento máximo es de 2 mm y se da en el tablero lo que no representa ninguna complicación en el desempeño normal y que el factor de seguridad de la estructura es de 7,98 lo que asegura que no habrá ningún efecto negativo en el funcionamiento de la máquina.
- Se implementa la máquina teniendo en cuenta la reducción del costo, para esto se busca todos los elementos en proveedores nacionales y se ensambla las partes en el taller de sombreros del artesano pues este es el lugar de funcionamiento definitivo de la máquina. Se obtiene un costo de implementación de 693,49 dólares americanos lo que con una producción de 100 sombreros por semana y una venta unitaria promedio de 15 dólares americanos menos el costo de la materia prima, se estima que la inversión se recupera en 4 meses de trabajo. Este cálculo es un estimado y se recomienda no tomarlo como una referencia, ya que, el mercado de los sombreros es volátil y es muy probable que no todos los sombreros que se confeccionen se logren vender enseguida.
- Se realizan pruebas de funcionamiento, para ello se capacita al artesano para la correcta operación de la máquina. Los resultados obtenidos son una eficiencia de 263 % en el suavizado de sombreros de 2 mm de espesor y 208 % en los sombreros de 3 mm, esto indica que el tiempo que toma el suavizado del paño con la máquina se reduce a aproximadamente la mitad y, lo más importante, se elimina el esfuerzo físico que haría el artesano de forma tradicional. También se obtiene que el tiempo de procesado en cada sombrero

es mayor al estimado de 30 segundos, pues en los sombreros de 2 mm de espesor se obtiene un promedio de 90 segundos por sombrero y en los de 3 mm de 115 segundos, este aumento se debe a que la persona que opera la máquina es novata en su utilización y se espera que el tiempo se reduzca conforme vaya adquiriendo experiencia con la práctica.

## **4.2. Recomendaciones**

- Se recomienda que la persona que vaya a operar la máquina este familiarizada con el proceso de confección de los sombreros de paño y lea el manual para conocer los requerimientos de la máquina como la velocidad del motor, el modo de sujeción del sombrero y la zona de suavizado de la falda. Debido a que una operación incorrecta puede terminar agujereando el paño por exceso de pasadas de suavizado o causar lesiones físicas en la persona.
- Es recomendable que el ambiente de trabajo en el que se instale la máquina tenga una buena presencia de luz, ya que, al trabajar con sombreros de tonos oscuros sin una buena condición lumínica el operario puede tener dificultades en realizar el suavizado a 1 centímetro del borde del ala del sombrero, además de que por falta de luz la operación de la máquina se dificulta y hay más probabilidades de que suceda un accidente.
- Una vez programada la velocidad límite del motor en el controlador el operario puede variar proporcionalmente esta velocidad en el rango de cero hasta el valor establecido presionando con menos o más fuerza el pedal del motor. Esto es recomendable cuando el paño del motor está ingresando entre las piezas suavizadoras con velocidad menor, aumentarla conforme el suavizado se lleva a cabo en todo el perímetro del sombrero y dejar de presionar el pedal para que el motor se detenga cuando el suavizado haya terminado.
- Los componentes de la máquina fueron diseñados y seleccionados para ser utilizados en sombreros de paño, por lo que, se recomienda no emplearla con sombreros de otros materiales porque el resultado no será el esperado.
- Si se desea implementar una máquina funcional a bajo costo siempre es recomendable que en el proceso de diseño no se modelen elementos desde cero, en su lugar se deben seleccionar partes estándar y disponibles en el mercado local pues serán más accesibles económicamente.

- Es recomendable realizar un modelo de toda la máquina en un software de diseño asistido por computador (CAD) ya que trae ventajas importantes, como por ejemplo, ayuda a identificar problemas potenciales y realizar cambios antes de que la máquina se construya, esto puede ahorrar tiempo y dinero en el proceso de fabricación. También permite realizar simulaciones para predecir el comportamiento de la máquina en condiciones reales y es especialmente útil para la creación de planos y documentación para construir la máquina de manera precisa y eficiente.

### **4.3. Trabajo a futuro**

La máquina fue diseñada para que el artesano no realice esfuerzo físico y el tiempo que toma este proceso disminuya pero este es solo una parte de todo el proceso de elaboración del sombrero, con lo que, para trabajos a futuro se recomienda construir nuevos dispositivos que intervengan en las demás fases en la cadena de confección. También se recomienda que toda la fabricación de los sombreros de paño se automatice de forma que cuando un paso termine, enseguida se lleve a cabo el siguiente, esto puede ayudar a incrementar la matriz productiva del país, beneficiando a la economía de los artesanos mediante la exportación de sus productos.

# Bibliografía

- [1] D. R. Solís Guevara, “De la producción de materias primas a la industrialización, un desafío para el Ecuador.” Master’s thesis, Quito, Ecuador: Flacso Ecuador, 2011.
- [2] G. Raymi, “Taller de sombreros en Ilumán.” WebPage, Disponible en: <https://www.goraymi.com/es-ec/imbabura/otavalo/gestores-artesanales/taller-sombreros-iluman-a3885b535>, 2022.
- [3] R. Quito, “La tradición del sombrero perdura en Quito,” *Revista Líderes*, 2019. Disponible en: <https://www.revistalideres.ec/lideres/tradicion-sombrero-artesanal-quito-emprendimiento.html>, [Online; accedido el 10-01-2023].
- [4] YANAPI, “El proceso garantizando un producto de calidad.” WebPage, Enero 2023. Disponible en: <https://yanapi.com/fabrica/>.
- [5] Healthwise, “Lesiones de los dedos, de las manos y de las muñecas.” WebPage, 09 de Noviembre 2022. Disponible en: <https://www.cigna.com/es-us/knowledge-center/hw/temas-de-salud/lesiones-de-los-dedos-de-las-manos-y-de-las-muecas-handi>.
- [6] M. de Turismo, “El chagra es un símbolo del mestizaje,” Boletín de Prensa 356, Ministerio de Turismo, Quito, Av. Gran Colombia N11-165 y Gral. Pedro Briceño, Edificio “La Licuadora”, 15 de Julio 2014. [Online], Disponible en: <https://www.turismo.gob.ec/el-chagra-es-un-simbolo-del-mestizaje/#>.
- [7] A. N. Montalvo, “Estudio de factibilidad para la creación de una pequeña empresa productora y comercializadora de sombreros de lana en la comunidad de San Luis de Ilumán, cantón Otavalo,” bachelor thesis, Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador, Mayo 2016. [Online], Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/4943>.
- [8] H. V. Dueñas, “Caracterización al aplicar estándares de calidad en la producción de los sombreros artesanales,” bachelor tesis, Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecu-

- dor, Septiembre 2020. [Online], Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/10602>.
- [9] CIDAP, “Cómo se hace un sombrero de saraguro,” *Diario El Mercurio*, vol. 34.950, p. 4B, Enero 2017. Disponible en: <http://documentacion.cidap.gob.ec:8080/handle/cidap/1322>.
- [10] E. Quevedo, “Diseño de una máquina hidráulica automática para el planchado de sombreros de paja toquilla,” bachelor tesis, Universidad Nacional de Piura, Piura, Perú, 2015. [Online], Disponible en: <http://repositorio.unp.edu.pe/handle/UNP/665>.
- [11] M. Ángel Chávez, “Caracterización al aplicar estándares de calidad en la producción de los sombreros artesanales,” bachelor tesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, Agosto 2016. [Online], Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/6558>.
- [12] J. H. Endara and M. Guerrero, “Plan de comercialización para los pequeños productores de sombreros del sector artesanal de la parroquia de san juan de ilumán provincia de imbabura,” bachelor tesis, Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador, Septiembre 2018. [Online], Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/8523>.
- [13] V. J. Cacuango, “Indumentaria indígena en las comunidades casco valenzuela, topo, angla y ugsha parroquia san pablo, otavalo – ecuador siglo xx y xxi,” bachelor tesis, Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador, Septiembre 2020. [Online], Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/9735>.
- [14] G. E. Duque and B. M. Ibarra, “Reproducción de la cultura chacarera a través de la fiesta del paseo del chagra en la parroquia de machachi cantón mejía, provincia de pichincha,” bachelor tesis, Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador, 2016. [Online], Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/11020>.
- [15] D. Flores and J. I. Reyes, “La neoartesanía en el diseño de sombreros con paño y totora,” bachelor tesis, Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ambato, Ambato, Ecuador, 2020. [Online], Disponible en: <https://repositorio.pucesa.edu.ec/handle/123456789/2993>.
- [16] C. Bustos, “La producción artesanal,” *Revista Visión Gerencial*, no. 1, pp. 37–52, 2009.
- [17] W. Org., “Fieltro.” WebPage, Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Fieltro>, 2022.

- [18] S. R. Vera Lecaro, M. E. Vélez Tovar, E. Salazar, *et al.*, *Estudio de factibilidad para la creación de una microempresa de sombreros de paño con su respectiva campaña publicitaria*. PhD thesis, ESPOL, FADCOM., 2012.
- [19] I. C. Baez, C. O. Carrillo, O. Castelblanco, F. Betancourt, G. Leguizamón, R. García, and D. Mendoza, “Metodología de diseño de producto bajo la estructura de innovación y creatividad. estudio de revisión,” *Revista Espacios*, vol. 39, no. 11, p. 20, 2018.
- [20] C. Latorre-Coscolluela, S. Vázquez-Toledo, A. Rodríguez-Martínez, and M. Liesa-Orús, “Design thinking: creatividad y pensamiento crítico en la universidad,” *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, vol. 22, e28, pp. 1–13, 2020.
- [21] G. A. A. González and E. O. V. Sánchez, “Evolución y desarrollo estratégico organizacional del diseño para la manufactura y montaje (dfma): Una revisión,” *Cuaderno activa*, vol. 9, pp. 143–167, 2017.
- [22] C. J. Lardiés, *Criterios de diseño mecánico en tecnologías industriales*. Zaragoza, España: Prensas de la Universidad de Zaragoza, 1 ed., 2015.
- [23] D. F. Guillen Vilañez, “Diseño, construcción y funcionamiento de una dobladora de tejido tipo artesanal para textiles vinardi,” B.S. thesis, Universidad Técnica del Norte, 2013.
- [24] L. A. Cabrera Polo *et al.*, “Diseño y manufactura de una máquina dobladora y cortadora de tela,” B.S. thesis, Quito, 2012, 2012.
- [25] P. Rodríguez Parra *et al.*, “Desarrollo de prototipo de máquina dobladora de tela,” B.S. thesis, Universidad de Oviedo, 2016.
- [26] G. A. Chiriboga Larrea, V. Vega Falcón, *et al.*, “Estimación del riesgo ergonómico en trabajadoras de la microempresa ecuatoriana d’ mishels en el año 2020,” Master’s thesis, Universidad Regional Autónoma de los Andes, 2022.
- [27] H. Pérez Montiel, *Física 1. Serie integral por competencias*. Renacimiento 180, Col. San Juan Tlihuaca, México, D.F., México: Grupo Editorial Patria, 2 ed., 2014.
- [28] F. y. C. Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (México) y Comisión Nacional de Energía Eléctrica (Guatemala), “Curso – taller promotores de ahorro y eficiencia de energía eléctrica,” *FIDE* y *CNEE*, vol. 1, pp. 1 – 5, Marzo 2010. Disponible en: [https://www.cnee.gob.gt/eficienciaenergetica/FIDE/004%20Módulo%20IV%20\(AEE%20Motores%20de%20Inducciñ\).pdf](https://www.cnee.gob.gt/eficienciaenergetica/FIDE/004%20Módulo%20IV%20(AEE%20Motores%20de%20Inducciñ).pdf).

- [29] R. U. Marroquín Cadenas, “Reflexión sobre diagrama funcional - metodología de valor.” *Diseño, Tecnología e Innovación*, Mayo 2016. Disponible en: <https://portafoliorenemarroquin.wordpress.com/2016/05/05/diagrama-funcional-y-metodologia-de-valor/>.
- [30] Y. P. Garg, “La productividad de los motores de máquinas de coser es la clave.” *Tecnología de fabricación*, Septiembre 2009. Disponible en: <https://apparelresources.com/technology-news/manufacturing-tech/sewing-machine-motors-productivity-key/>.
- [31] D. S. M. . Supplies, “Clutch motor.” *Apparel Equipment Services & Supplies*, Diciembre 2023. Disponible en: <https://www.directsewing.co.nz/products/clutch-motor>.
- [32] R. Mujica, “Motor servo (ahorro de energía) para máquina de coser extra pesada.” *HM HIGHTEX*, Abril 2019. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/595339805/Motor-servo-ahorro-de-energia-para-maquina-de-coser-pesada>.
- [33] P. C. Alberto and F. H. Mauricio, “Impacto en la eficiencia energética debido a la innovación tecnológica de motores de embrague a motores con controladores electrónicos en el sector maquilado textil,” B.S. thesis, Universidad de El Salvador, 2018.
- [34] F. Alva Davila, *Diseño de elementos de máquinas I*. Lima, Perú: Biblioteca Nacional del Perú, 1ª ed., May 2008.
- [35] Wikipedia, “Ecuación de euler (poleas) — wikipedia, la enciclopedia libre,” 2022. [Internet; descargado 11-marzo-2022].
- [36] J. G. R.S. Khurmi, *Textbook of Machine Design*. Eurasia Publishing House (PVT.) LTD., 1st ed., Dec. 2005.
- [37] S. I. A. T. y Equipos, “Bandas de caucho industriales: Tipos y funciones,” Sep 2020.
- [38] R. Budynas and K. Nisbett, *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. Educación, México, D.F.: McGraw Hill, 9. ed., 2012. Título original: Shigley’s mechanical engineering design.
- [39] L. R. Norton, *Diseño de máquinas - Un enfoque integrado*. Educación, México, D.F.: Pearson Educación, 4. ed., 2011.
- [40] M. Vázquez-Alonso, J. Díaz-López, M. Lázaro-Huerta, and M. Guamán-González, “Medición de la fuerza de prensión y de las pinzas de la mano en pacientes sanos,” *Acta ortopédica mexicana*, vol. 35, no. 1, pp. 56–60, 2021.

- [41] MATWEB, “Aisi 4340 steel, normalized.” WebPage, Diciembre 2023. Disponible en: <https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=fd2df45bffa54018b54989bc14092d9f>.
- [42] D. Productos de acero, “Eje aisi 4340 (705).” WebPage, Diciembre 2023. Disponible en: <https://dipacmanta.com/producto/ejes/aisi-4340-705/eje-aisi-4340-705/>.
- [43] A. L. Varela and S. R. Ron, “Geografía y clima del ecuador.” WebPage, Octubre 2022. Disponible en: <https://bioweb.bio/faunaweb/amphibiaweb/GeografiaClima/>.
- [44] SKF, “Rodamientos.” WebPage, Enero 2009. Disponible en: [https://cdn.skfmediahub.skf.com/api/public/0901d19680416953/pdf\\_preview\\_medium/0901d19680416953\\_pdf\\_preview\\_medium.pdf](https://cdn.skfmediahub.skf.com/api/public/0901d19680416953/pdf_preview_medium/0901d19680416953_pdf_preview_medium.pdf).

# **Anexos**

## **0.1. Anexo 1: Encuesta sobre los parámetros de correcto suavizado del borde del ala del sombrero**



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS  
ALICADAS  
INGENIERÍA MECATRÓNICA



**Tema de tesis:** Máquina para suavizar el borde del ala de sombreros de fieltro de lana previo al proceso de cosido para pequeñas empresas de sombreros artesanales.

**Encuesta sobre los parámetros de correcto suavizado del borde del ala del sombrero**

**Estudiante:** Artos Antamba Bryan Wilson

**Fecha:** 26 de febrero del 2023

**Encuesta realizada en:** Sombrerería Wiilis

1. ¿Cuál es el procedimiento que se sigue para doblar el borde de los sombreros?

Primero hay que tener uniforme todo el borde del ala del sombrero, se usa una plancha de hierro, pieza para alisar y una franela húmeda, se extiende la venda sobre el ala y se pasa la plancha caliente, se retira la venda y con los dedos se empieza a doblar el filo del sombrero y con el alizador se repasa todo el borde dos veces para que quede bien doblado antes de coser en la máquina recta industrial.

2. ¿Cuál debe ser el estado del ala del sombrero previo al suavizado?

Depende del cliente si desea que el ala sea de 4 centímetros o puede variar hasta 10 centímetros, igual tiene que estar recortado toda el ala del sombrero a esa medida.

3. ¿Cuál será el estado del ala del sombrero después del suavizado?

Después del suavizado tiene que estar semidoblado para que se pueda meter y coser en la máquina industrial.

4. ¿Cómo se sabe si el proceso se llevó a cabo correctamente?

El borde queda sin ninguna desigualdad en el doblado, queda de 1 centímetro igualito todo alrededor del sombrero.

5. ¿Qué herramientas son necesarias?

Las herramientas son la plancha de hierro, la pieza alizadora y una venda húmeda para colocar sobre la falda para que no se quemé con la plancha.

6. ¿Cuánto tiempo toma suavizar el borde del ala de un sombrero de forma manual?

Toma aproximadamente 3 a 4 minutos por unidad.

7. ¿Cuál es la capacidad de producción de la empresa empleando el método artesanal?

Depende porque nosotros abarcamos el mercado nacional en las ferias, y la capacidad manual para fabricar los sombreros es de 50 unidades a la semana. Realmente es un promedio porque en realidad son demorosos todos los procesos que se hacen.

8. ¿Cómo debe ser la forma de operación de la máquina?

Debe ser algo fácil como la máquina de coser recta industrial con un encendido y apagado de manejo fácil

9. ¿Considera que el peso de la máquina es importante?

Si considero porque el hecho de que el sombrero es de paño y es semiduro entonces lo que se necesita para el doblar debe ser algo sólido a duro para que le suavice bien y poder hacer el doblar, eso por un lado, y por otro lado también sería bueno que en cuanto a la movilización de la máquina no sea muy pesada

10. ¿Realizar este proceso le produce alguna dolencia física al artesano?

Realmente si, si causa un dolor porque al momento que se utiliza la plancha caliente lo que se tiende a lastimar son las yemas de los dedos porque el paño está bien caliente y tenemos que hacer el doblar con los dedos y con la fuerza que se hace con el alizador tiende a doler los brazos

Constatación de autenticidad:



Artos Antamba Bryan Wilson

Autor de la tesis



Antamba Antamba Myrian del Rocío

Sombreros Wiliis

## **0.2. Anexo 2: Manual de operación del motor**

# Electronic control operation manual B2

## 1. Basic operation



"P", "S" keys to set parameters or other functions;

When standby mode, press the "P" key to set the function of "needle up". "needle down" and "no stop needle".

When standby mode, press "+" and "-" to quickly adjust the setting speed; Press "s" button, the needle light is on, press again and light off.

## 2. Parameter mode

Press "P key" and "+" key" to enter parameter mode and display "P00";

Press "+" and "-" to change the serial number of the parameter, press "p" to display the corresponding parameter, press "+" and "-" to modify the specific value, press "s" to exit the parameter mode and return to normal standby mode;

When the operation box is set, even if the pedal is pressed, it will not run until it returns to standby mode.

The specific parameters are as follows:

Parameter ordinal	Parameter specifies	Default	Range	Step size
P1(advanced parameter)	Sewing speed limit	4000	1000-7000rpm	50
P2	Motor direction	0	0-1	1
P3	Angle of down needle position	12	10-14	1
P4	Start speed	250	200-800rpm	50
P5	Accelerate speed	3200	1200-4000	200
P6	Automatic find the needle position	1	0-1(1: SEARCH)	1
P7	Aging speed	3700	1000-4500rpm	50
P8	Aging running time	3000	500-5000ms	100
P9	Aging pause time	2000	100-5000ms	100
P10	Needle position the parameter adjust	195	90-210	5
P11	Foot control (electromagnet)	40	20-70	1
	Foot control (pneumatic)	1	0-1(1: option)	1
P12	Pressure foot down delay running	0	0-200ms	20
P13	Suction option	1	0: No suction	1
			1: Long suction	
			2-250needles: suction intervals (Air suction will be done once every set needle number during operation, and no air suction when the machine is shut down)	
P14	Interval suction maintenance time	1	1-5s(P13 is set to 2-250 when valid)	1
P15	Number of soft start stitches	0	0-15 (0:No soft start, 1 for half stitch, 2 for 1 stitch, etc.)	1
P16	Number of soft start stitches	400	200-1500rpm	50
P17	Reserved	0	0-1	1

**Note:**

P10: It is related to the head. The larger the load inertia is, the value can be reduced appropriately. Default is overlock parameter.

P11: For the electromagnet type, please set this parameter reasonably. If the setting value is too small, the electromagnet cannot be lifted up. If the electromagnet is too large, it is easy to overheat. When the foot is lifted, it will close by itself after 15 seconds.

P12: This parameter is to ensure that the lifting foot is put down reliably before sewing. When the lifting foot is not connected, the parameter is set to 0; otherwise, there will be a delay when stepping backward and then stepping forward.

P15: The soft start function is only effective when setting the upper and lower needle position. When it is set to the upper needle position, after the pedal stops to the upper needle position during operation, there will be soft start at the next start stitch. When set to the lower needle position, after stepping on the upper needle position after stepping or running, there will be soft start at the next start stitch.

**3. Restore factory parameters**

Method 1. Enter parameter setting, display "PD0", long press "S" for 3 seconds, and the parameter will be automatically restored; Method 2. Press The P key to power on, it restores all parameters.

**4. Password mode**

Press "P key" and "-" key to enter the password mode and display "0000"

Press "P" key to move left and right, the current number will flash, press "+" "." key to adjust the value; After setting, press "s" to confirm; If the password is wrong, it will switch to standby mode. If correct, display "PO0", adjust to "PO1" and set the maximum speed.

**5. Monitoring mode**

Press "P key"+"s key" to enter the monitoring mode, c-XX will be displayed. Press P key to display the corresponding monitoring value. Long press S key to return to standby mode.

C-01: Actual motor speed

C-02: AC incoming voltage (for reference only when shut down)

**6. Plant aging mode**

Press S to power on, the system enters the aging mode;

Method 1. In this mode, press "5" and "+" to start the motor running, and press "S" and "." to stop the motor;

Method 2. Click on the pedal once to start aging, and then click on the pedal again to stop. Pay attention do not mix to the panel start stop and pedal start stop

**7. Failure mode**

Fault code	Error content	Possible cause	Remarks
Er01	Can't find stop needle position	The needle position plug is not properly plugged.	It can be restored without affecting the operation. *If the needle position is set, it will automatic turn into no needle position, and alarm Er01 no needle position signal. * If the panel is changed to no needle position setting the alarm fault will disappear automatically.
Er02	Pedal signal cannot be found when starting the machine.	The pedal plug is not plugged in or the wire is broken.	Recoverable, plug in and run
Er03	Motor hall wire error	Check plug	Recoverable, plug in and run
Er04/Er01	motor is overload locked-rotor	Check if the machine is jammed.	When the pedal is in position, it will resume.
Er05	Hardware over current	Excessive load or circuit board problem.	Unrecoverable, need to lose power.
Er06	Operation box communication error	Plug loose between operation box and motherboard or bad signal line	Recoverable, does not affect the operation.
Er07	The speed ratio difference is large	The wheel deviation is too large for hanging applications.	Recoverable, does not affect the operation, but will affect the effect of needle position.
Er08	Hardware circuit problem	Check circuit board	Unrecoverable, need to lose power.
Er09	Motor does not run	Motor wire is not connected or board problem.	Unrecoverable, need to lose power.
Er10	Over voltage fault	Check if incoming voltage is too high	
U-Lo	Under voltage alarm	Check if incoming voltage is too low	When the voltage is normal, it can be restored without affecting the operation.

**8. Others**

This electric control supports direct drive and belt hanging products. For belt hanging products, the wheel ratio system automatically calculates the lower needle position through the upper needle position sensor. As the belt slips, the lower stop needle error will be larger which is a normal phenomenon.

### **0.3. Anexo 3: Manual de poleas en V de Intermec S.A.**

## FACTORES DE SERVICIO TÍPICOS

### TIPOS DE MÁQUINAS O EQUIPOS

	SERVICIO INTERMITENTE	SERVICIO NORMAL	SERVICIO CONTINUO
Agitadores para líquidos Sopladores y aspiradoras Transportadores de trabajo ligero Ventiladores de hasta 10 caballos de fuerza	1.1	1.2	1.3
Transportadores de banda para arena, grano, etc Bombas rotativas de desplazamiento positivo Máquinas herramientas Maquinaria de lavandería Mezcladores de masa Ejes de línea Generadores Maquinaria de imprenta Taladros-prensas-cortadores Cribas giratorias y vibratorias Ventiladores de mas de 10 caballos de fuerza	1.2	1.3	1.4
Maquinaria para aserríos y trabajos en madera Transportadores (arrastre o tornillo) Compresores de pistón Molinos de martillo Pulverizadores Excitadores Maquinaria textil Bombas de pistón Elevadores cangilones Maquinaria para ladrillos Sopladores de desplazamiento positivo	1.4	1.5	1.6
Trituradoras (giratorias-mandíbula-rodillo) Extrusoras-molinos de caucho Molinos de bolas Malacates	1.5	1.6	1.8

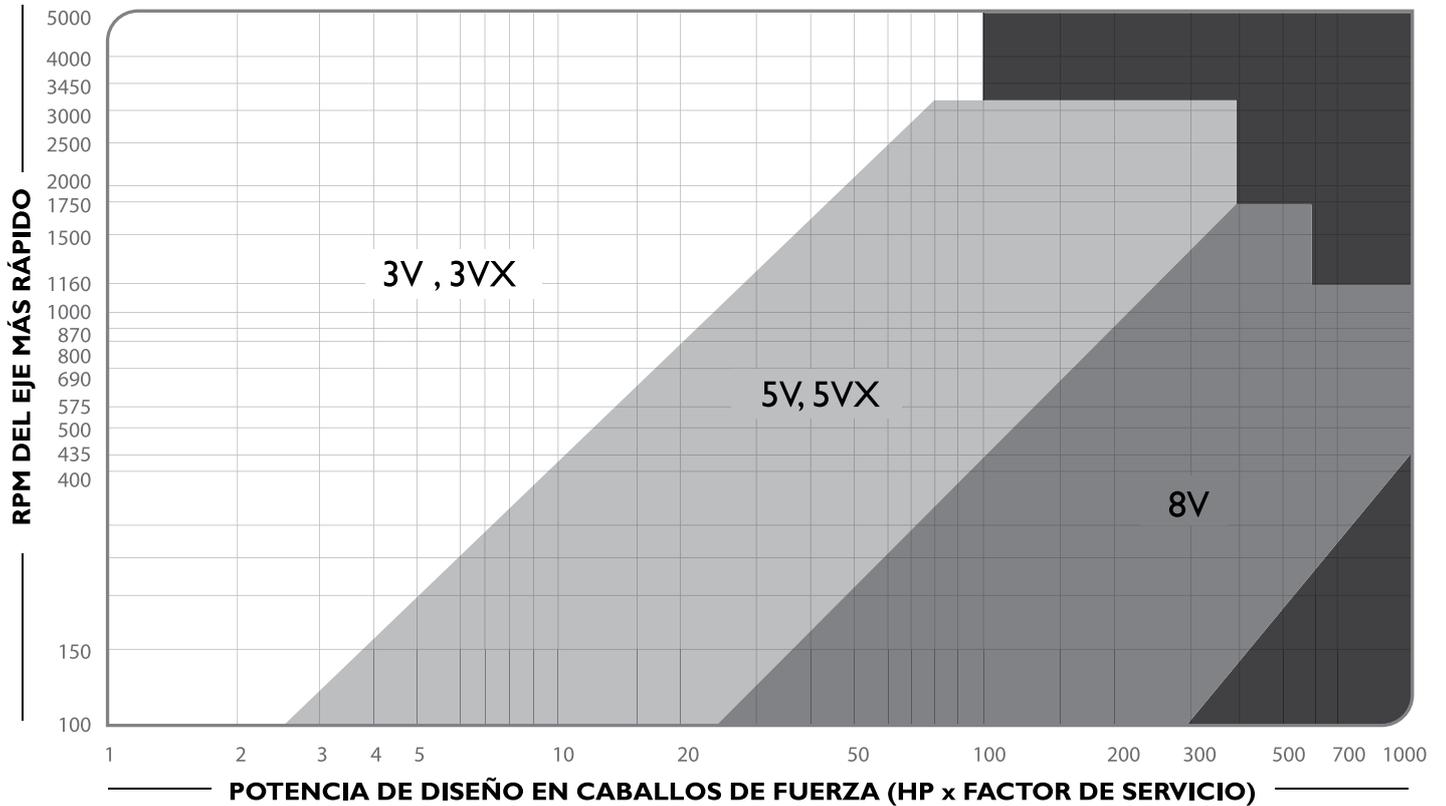
### SI SE UTILIZAN POLEAS TENSORAS, AÑADA EL SIGUIENTE VALOR AL FACTOR DE SERVICIO:

Polea tensora en tramo suelto (interior)	Ninguno
Polea tensora en tramo suelto (exterior)	0.1
Polea tensora en tramo tenso (interior)	0.1
Polea tensora en tramo tenso (exterior)	0.2

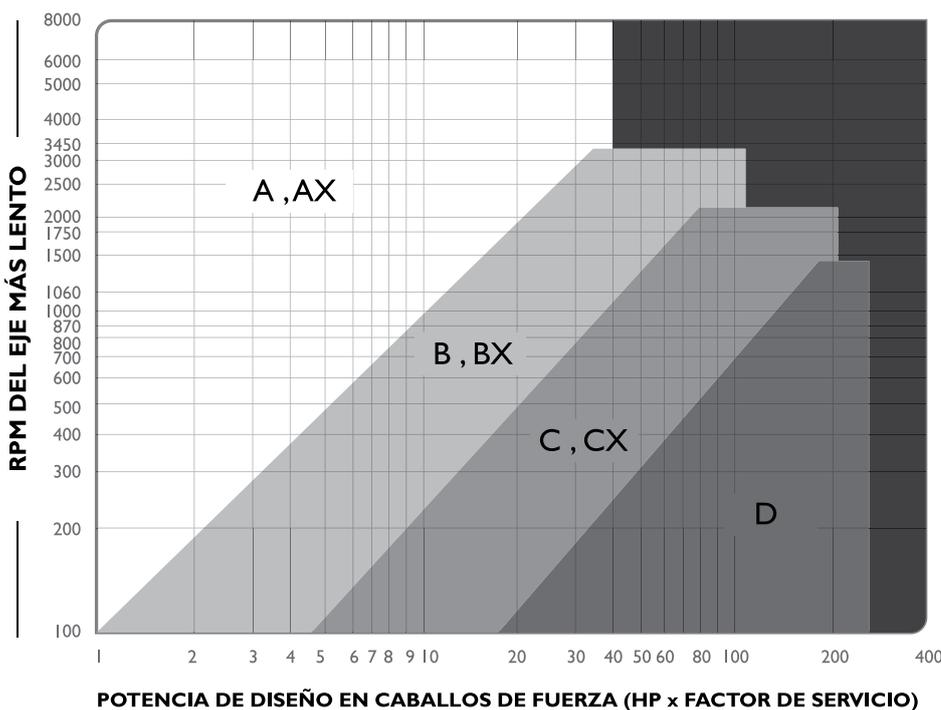
**TABLAS PARA SELECCIONAR EL TIPO O PERFIL DE LA CORREA**



**CORREAS ALTA CAPACIDAD**



**CORREAS CLÁSICAS**



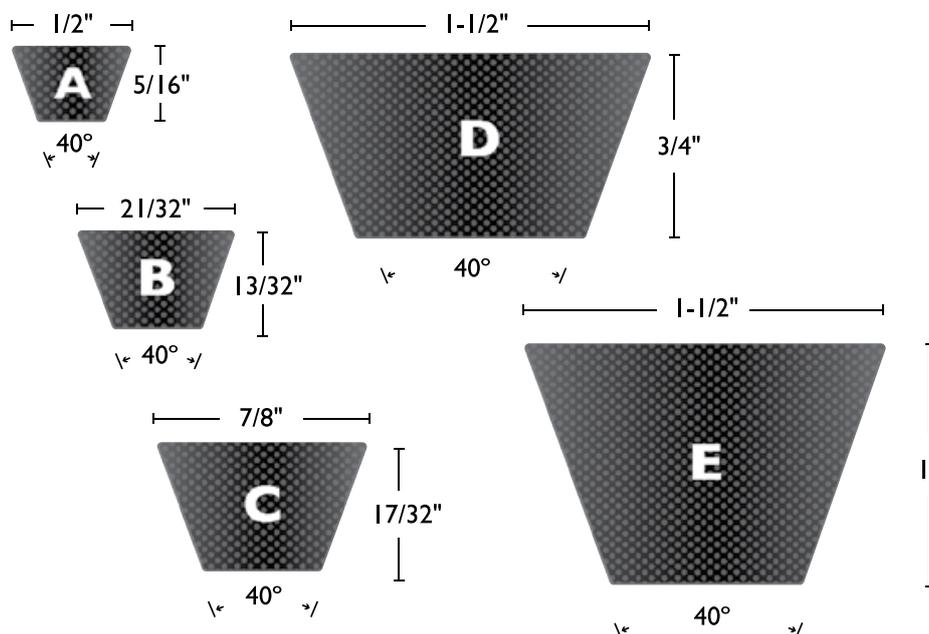
■ Consulte a **INTERMEC** para el área en negro

**CORREAS TIPO**
**A**
**TABLA DE CAPACIDAD DE TRANSMISIÓN POR CANAL (EN HP)**

RPM del Eje más Rápido	Diámetro exterior de la Polea Motriz (en milímetros)								
	85	90	100	105	110	115	120	125	130
50	0.11	0.13	0.16	0.17	0.19	0.20	0.21	0.23	0.24
100	0.20	0.23	0.28	0.31	0.34	0.37	0.39	0.42	0.45
500	0.71	0.83	1.07	1.20	1.30	1.43	1.55	1.67	1.80
600	0.81	0.96	1.24	1.38	1.52	1.66	1.80	1.94	2.08
700	0.91	1.08	1.40	1.57	1.73	1.90	2.05	2.20	2.36
800	1.00	1.20	1.56	1.74	1.92	2.10	2.28	2.46	2.64
900	1.10	1.30	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90
1000	1.17	1.40	1.85	2.07	2.30	2.50	2.73	2.94	3.16
1100	1.25	1.50	1.98	2.23	2.47	2.70	2.94	3.17	3.40
1160	1.30	1.55	2.06	2.32	2.57	2.82	3.06	3.30	3.55
1200	1.32	1.60	2.12	2.38	2.63	2.90	3.15	3.40	3.65
1300	1.40	1.68	2.24	2.52	2.80	3.07	3.35	3.62	3.90
1400	1.46	1.77	2.37	2.66	2.96	3.25	3.54	3.83	4.10
1500	1.53	1.85	2.50	2.80	3.20	3.42	3.73	4.03	4.34
1600	1.60	1.93	2.60	2.93	3.26	3.60	3.90	4.23	4.55
1700	1.65	2.00	2.70	3.06	3.40	3.75	4.10	4.43	4.76
1750	1.67	2.04	2.77	3.13	3.48	3.83	4.18	4.52	4.86
1800	1.70	2.08	2.82	3.20	3.55	3.90	4.26	4.60	4.96
1900	1.75	2.15	2.93	3.30	3.70	4.06	4.43	4.80	5.16
2000	1.80	2.22	3.03	3.42	3.82	4.20	4.60	4.97	5.34
2100	1.85	2.28	3.12	3.53	3.94	4.35	4.74	5.14	5.53
2200	1.90	2.34	3.20	3.64	4.07	4.48	4.90	5.30	5.70
2300	1.94	2.40	3.30	3.75	4.18	4.60	5.04	5.46	5.87
2400	1.98	2.45	3.40	3.85	4.30	4.74	5.18	5.60	6.03
2600	2.05	2.56	3.55	4.03	4.50	4.98	5.44	5.90	6.33
2800	2.10	2.65	3.70	4.20	4.70	5.20	5.67	6.14	6.60
3000	2.16	2.72	3.82	4.35	4.87	5.40	5.88	6.37	6.85
3200	2.20	2.80	3.93	4.50	5.03	5.56	6.07	6.57	7.06
3400	2.23	2.84	4.03	4.60	5.16	5.70	6.23	6.75	7.24
3500	2.24	2.87	4.08	4.66	5.22	5.77	6.30	6.82	7.32
3600	2.25	2.90	4.11	4.70	5.28	5.83	6.37	6.90	7.40
3800	2.26	2.92	4.18	4.78	5.37	5.93	6.48	7.00	7.50
4000	2.25	2.93	4.23	4.84	5.44	6.00	6.56	7.08	7.58
4200	2.24	2.94	4.26	4.89	5.49	6.06	6.60	7.13	7.63
4400	2.22	2.93	4.27	4.91	5.51	6.10	6.63	7.15	7.63
4600	2.18	2.90	4.27	4.91	5.51	6.08	6.62	7.13	7.60
4800	2.13	2.87	4.25	4.88	5.49	6.05	6.58	7.07	7.52
5000	2.07	2.82	4.20	4.84	5.44	6.00	6.50	6.98	7.40

 Consulte a **INTERMEC** para el área sombreada

## CORREAS EN "V" CLÁSICAS



**Fig 4.** Sección de correas en "V" clásicas tamaño real

Las correas en "V" Clásicas se utilizan tanto en aplicaciones pesadas como ligeras, dada la gran variedad de dimensiones. Están disponibles en diferentes tipos de correas y materiales. **INTERMEC** fabrica todas las referencias de poleas para correas Clásicas.

**Sin embargo, es importante anotar que las correas Clásicas han venido perdiendo terreno frente a las correas de Alta Capacidad (siguiente página) debido a que estas últimas son más eficientes.** Por ello, es muy frecuente que cuando se

gastan las poleas se reemplace toda la transmisión de correas "Clásicas" por una de correas de Alta Capacidad. Las correas en "V" Clásicas son identificadas por una única letra: A, B, C, D ó E seguida por la longitud interna aproximada de la correa.

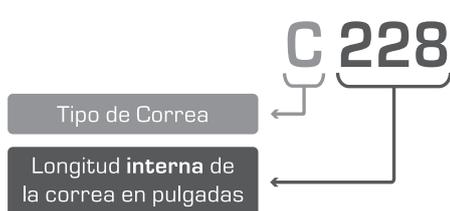
### Ejemplo:

¿Cuales son las dimensiones de una correa en "V" de referencia C228?

### Respuesta:

7/8 pulgadas de ancho, 17/32 pulgadas de grosor y 228 pulgadas de longitud interna.

## NOMENCLATURA PARA LAS CORREAS CLÁSICA



Para obtener la longitud interna en pulgadas:

- Correas Tipo A:** A la longitud externa réstele 2 pulgadas.
- Correas Tipo B:** A la longitud externa réstele 3 pulgadas.
- Correas Tipo C:** A la longitud externa réstele 4 pulgadas.
- Correas Tipo D:** A la longitud externa réstele 5 pulgadas.

#### **0.4. Anexo 4: Referencia de la correa seleccionada en el mercado**

**TABLA N° 7**  
**LONGITUD DE FAJA Y FACTOR POR LONGITUD DE FAJA**

SECCION A			SECCION B			SECCION C		
FAJA N°	LONG. PASO PULG.	K <sub>L</sub>	FAJA N°	LONG. PASO PULG.	K <sub>L</sub>	FAJA N°	LONG. PASO PULG.	K <sub>L</sub>
A26	27,3	0,81	B35	36,8	0,81	C51	53,9	0,80
A31	32,3	0,84	B38	39,8	0,83	C60	62,7	0,82
A33	34,3	0,85	B42	43,8	0,85	C68	70,9	0,85
A35	36,3	0,87	B46	47,8	0,87	C75	77,9	0,87
A36	37,3	0,87	B51	52,8	0,89	C81	83,9	0,89
A38	39,3	0,88	B53	54,8	0,89	C85	87,9	0,90
A40	41,3	0,89	B55	56,8	0,90	C90	92,9	0,91
A42	43,3	0,90	B58	59,8	0,91	C96	98,9	0,92
A43	44,3	0,90	B60	61,8	0,92	C100	102,9	0,92
A46	47,3	0,92	B62	63,8	0,92	C105	107,9	0,94
A48	49,3	0,93	B64	65,8	0,93	C112	114,9	0,95
A51	52,3	0,94	B66	67,8	0,93	C120	122,9	0,97
A53	54,3	0,95	B68	69,8	0,95	C124	126,9	0,97
A55	56,3	0,96	B71	72,8	0,95	C128	130,9	0,98
A58	59,3	0,97	B75	76,8	0,97	C136	138,9	0,99
A60	61,3	0,98	B78	79,8	0,97	C144	146,9	1,00
A62	63,3	0,98	B81	82,8	0,98	C158	160,9	1,02
A64	65,3	0,99	B83	84,8	0,98	C162	164,9	1,03
A66	67,3	0,99	B85	86,8	0,99	C173	175,9	1,04
A68	69,3	1,00	B90	91,8	1,00	C180	182,9	1,05
A71	72,3	1,01	B93	94,8	1,01	C195	197,9	1,07
A75	76,3	1,02	B97	98,8	1,02	C210	212,9	1,08
A78	79,3	1,03	B103	104,8	1,03	C225	225,9	1,10
A80	81,3	1,04	B105	106,8	1,04	C240	240,9	1,11
A85	86,3	1,05	B112	113,8	1,05	C255	255,9	1,12
A90	91,3	1,06	B120	121,8	1,07	C270	270,9	1,14
A96	97,3	1,08	B128	129,8	1,08	C300	300,9	1,16
A105	106,3	1,10	B136	137,8	1,09	C330	330,9	1,19
A112	113,3	1,11	B144	145,8	1,11	C360	360,9	1,21
A120	121,3	1,13	B158	159,8	1,13	C390	390,9	1,23
A128	129,3	1,14	B173	174,8	1,15	C420	420,9	1,24
			B180	181,8	1,16			
			B195	196,8	1,18			
			B210	211,8	1,19			
			B240	240,8	1,22			
			B270	270,3	1,25			
			B300	300,3	1,27			

## **0.5. Anexo 5: Propiedades del acero inoxidable AISI 4340**



## AISI 4340 Steel, normalized, 25 mm round

**Categories:** [Metal](#); [Ferrous Metal](#); [Alloy Steel](#); [AISI 4000 Series Steel](#); [Low Alloy Steel](#); [Carbon Steel](#); [Medium Carbon Steel](#)

**Material Notes:** AISI 4340 has a favorable response to heat treatment (usually oil quenching followed by tempering) and exhibits a good combination of ductility and strength when treated thusly. Uses include piston pins, bearings, ordnance, gears, dies, and pressure vessels.

**Key Words:** alloy steels, UNS G43400, AMS 5331, AMS 6359, AMS 6414, AMS 6415, ASTM A322, ASTM A331, ASTM A505, ASTM A519, ASTM A547, ASTM A646, MIL SPEC MIL-S-16974, B.S. 817 M 40 (UK), SAE J404, SAE J412, SAE J770, DIN 1.6565, JIS SNCM 8, IS 1570 40Ni2Cr1Mo28, IS 1570 40NiCr1Mo15

**Vendors:** No vendors are listed for this material. Please [click here](#) if you are a supplier and would like information on how to add your listing to this material.

 [Printer friendly version](#)
 [Download as PDF](#)
 [Download to Excel \(requires Excel and Windows\)](#)  
 [Export data to your CAD/FEA program](#)

 Add to Folder:  My Folder **0/0**

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	7.85 g/cc	0.284 lb/in <sup>3</sup>	
Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Hardness, Brinell	363	363	
Hardness, Knoop	392	392	Converted from Brinell
Hardness, Rockwell B	100	100	Converted from Brinell
Hardness, Rockwell C	40	40	Converted from Brinell
Hardness, Vickers	384	384	Converted from Brinell
Tensile Strength, Ultimate	1282 MPa	185900 psi	
Tensile Strength, Yield	862 MPa	125000 psi	
Elongation at Break	12.2 %	12.2 %	
Reduction of Area	36.3 %	36.3 %	
Modulus of Elasticity	200 GPa	29000 ksi	
Bulk Modulus	159 GPa	23100 ksi	Estimated from elastic modulus
Poissons Ratio	0.29	0.29	Typical for steel
Machinability	50 %	50 %	annealed and cold drawn. Based on 100% machinability for AISI 1212 steel.
Shear Modulus	78.0 GPa	11300 ksi	Estimated from elastic modulus
Electrical Properties	Metric	English	Comments
Electrical Resistivity 	0.0000248 ohm-cm @Temperature 20.0 °C	0.0000248 ohm-cm @Temperature 68.0 °F	
	0.0000298 ohm-cm @Temperature 100 °C	0.0000298 ohm-cm @Temperature 212 °F	
	0.0000552 ohm-cm @Temperature 400 °C	0.0000552 ohm-cm @Temperature 752 °F	
	0.0000797 ohm-cm @Temperature 600 °C	0.0000797 ohm-cm @Temperature 1110 °F	
Thermal Properties	Metric	English	Comments

CTE, linear 	12.3 $\mu\text{m}/\text{m}\cdot\text{C}$ @Temperature 20.0 °C	6.83 $\mu\text{in}/\text{in}\cdot\text{F}$ @Temperature 68.0 °F	specimen oil hardened, 600°C (1110°F) temper
	12.6 $\mu\text{m}/\text{m}\cdot\text{C}$ @Temperature 21.0 - 260 °C	7.00 $\mu\text{in}/\text{in}\cdot\text{F}$ @Temperature 69.8 - 500 °F	1.88% Ni, normalized and tempered
	12.7 $\mu\text{m}/\text{m}\cdot\text{C}$ @Temperature 20.0 °C	7.06 $\mu\text{in}/\text{in}\cdot\text{F}$ @Temperature 68.0 °F	specimen oil hardened, 600°C (1110°F) temper
	13.7 $\mu\text{m}/\text{m}\cdot\text{C}$ @Temperature 250 °C	7.61 $\mu\text{in}/\text{in}\cdot\text{F}$ @Temperature 482 °F	specimen oil hardened, 600°C (1110°F) temper
	13.7 $\mu\text{m}/\text{m}\cdot\text{C}$ @Temperature 21.0 - 540 °C	7.61 $\mu\text{in}/\text{in}\cdot\text{F}$ @Temperature 69.8 - 1000 °F	1.88% Ni, normalized and tempered
	13.9 $\mu\text{m}/\text{m}\cdot\text{C}$ @Temperature 21.0 - 540 °C	7.72 $\mu\text{in}/\text{in}\cdot\text{F}$ @Temperature 69.8 - 1000 °F	1.90% Ni, quenched, tempered
	14.5 $\mu\text{m}/\text{m}\cdot\text{C}$ @Temperature 500 °C	8.06 $\mu\text{in}/\text{in}\cdot\text{F}$ @Temperature 932 °F	specimen oil hardened, 600°C (1110°F) temper
Specific Heat Capacity	0.475 J/g·°C	0.114 BTU/lb·°F	Typical 4000 series steel
Thermal Conductivity	44.5 W/m-K	309 BTU-in/hr-ft <sup>2</sup> -°F	Typical steel

Component Elements Properties	Metric	English	Comments
Carbon, C	0.37 - 0.43 %	0.37 - 0.43 %	
Chromium, Cr	0.70 - 0.90 %	0.70 - 0.90 %	
Iron, Fe	95.195 - 96.33 %	95.195 - 96.33 %	As remainder
Manganese, Mn	0.60 - 0.80 %	0.60 - 0.80 %	
Molybdenum, Mo	0.20 - 0.30 %	0.20 - 0.30 %	
Nickel, Ni	1.65 - 2.0 %	1.65 - 2.0 %	
Phosphorus, P	<= 0.035 %	<= 0.035 %	
Silicon, Si	0.15 - 0.30 %	0.15 - 0.30 %	
Sulfur, S	<= 0.040 %	<= 0.040 %	

#### References for this datasheet.

Some of the values displayed above may have been converted from their original units and/or rounded in order to display the information in a consistent format. Users requiring more precise data for scientific or engineering calculations can click on the property value to see the original value as well as raw conversions to equivalent units. We advise that you only use the original value or one of its raw conversions in your calculations to minimize rounding error. We also ask that you refer to MatWeb's [terms of use](#) regarding this information. [Click here](#) to view all the property values for this datasheet as they were originally entered into MatWeb.

#### Users viewing this material also viewed the following:

[AISI 4340 Steel, annealed, 25 mm round](#)

[AISI 4340 Steel, normalized, 13 mm \(0.5 in.\) round](#)

[AISI 4340 Steel, oil quenched 800°C \(1470°F\), 540°C \(1000°F\) temper, 25 mm round](#)

[AISI 4340 Steel, normalized, 50 mm \(2 in.\) round](#)

[AISI 4140 Steel, normalized at 870°C \(1600°F\), air cooled, 13 mm \(0.5 in.\) round](#)

M434AC / 7753



#### Subscribe to Premium Services

Searches: [Advanced](#) • [Composition](#) • [Property](#) • [Material Type](#) • [Manufacturer](#) • [Trade Name](#) • [UNS Number](#)  
 Other Links: [Advertising](#) • [Submit Data](#) • [Database Licensing](#) • [Web Design & Hosting](#) • [Trade Publications](#)  
[Supplier List](#) • [Unit Converter](#) • [Reference](#) • [Links](#) • [Help](#) • [Contact Us](#) • [Site Map](#) • [FAQ](#) • [Home](#)

[Follow @MatWeb](#)

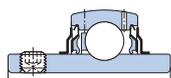
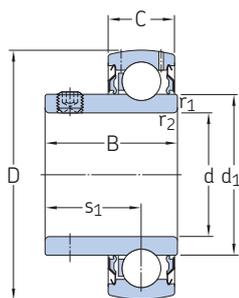
Please read our [License Agreement](#) regarding materials data and our [Privacy Policy](#). Questions or comments about MatWeb? Please contact us at [webmaster@matweb.com](mailto:webmaster@matweb.com). We appreciate your input.

The contents of this web site, the MatWeb logo, and "MatWeb" are Copyright 1996-2024 by MatWeb, LLC. MatWeb is intended for personal, non-commercial use. The contents, results, and technical data from this site may not be reproduced either electronically, photographically or substantively without permission from MatWeb, LLC.

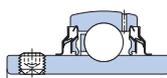
## **0.6. Anexo 6: Rodamientos de inserción rígidos de bolas SKF**

## 2.2 Rodamientos de inserción con prisioneros, ejes en pulgadas

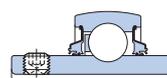
d 1/2 – 1 3/4 pulg.  
12,7 – 44,45 mm



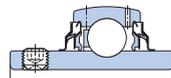
YAR ..-2F



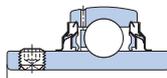
YAR ..-2RF/HV



YARAG



YAR ..-2RF



YAR ..-2RFGR/HV

YAT

Dimensiones							Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Velocidad límite	Masa	Designación
d	D	B	C	d <sub>1</sub>	s <sub>1</sub>	r <sub>1,2</sub> min.	dinámica C	estática C <sub>0</sub>	P <sub>u</sub>	con tolerancia de eje h6	kg	–
pulg./mm	mm						kN	kN		r. p. m.		
1/2 12,7	40	27,4	12	24,2	15,9	0,3	9,56	4,75	0,2	9 500	0,12	YAR 203-008-2F
5/8 15,875	40	22,1	12	24,2	15,9	0,3	9,56	4,75	0,2	9 500	0,09	YAT 203-010
	40	27,4	12	24,2	15,9	0,3	9,56	4,75	0,2	9 500	0,1	YAR 203-010-2F
3/4 19,05	47	25,5	14	28,2	18,3	0,6	12,7	6,55	0,28	8 500	0,14	YAT 204-012
	47	31	14	28,2	18,3	0,6	10,8	6,55	0,28	5 000	0,16	YAR 204-012-2RF/HV
	47	31	14	28,2	18,3	0,6	10,8	6,55	0,28	5 000	0,16	YAR 204-012-2RFGR/HV
	47	31	14	28,2	18,3	0,6	12,7	6,55	0,28	5 000	0,16	YAR 204-012-2RF
	47	31	14	28,2	18,3	0,6	12,7	6,55	0,28	5 000	0,16	YAR 204-012-2RF/VE495
	47	31	14	28,2	18,3	0,6	12,7	6,55	0,28	8 500	0,16	▶ YAR 204-012-2F
7/8 22,225	52	27,2	15	33,7	19,5	0,6	14	7,8	0,335	7 000	0,19	YAT 205-014
15/16 23,813	52	27,2	15	33,7	19,5	0,6	14	7,8	0,335	7 000	0,17	YAT 205-015
	52	34,1	15	33,7	19,8	0,6	14	7,8	0,335	4 300	0,21	YAR 205-015-2RF/VE495
	52	34,1	15	33,7	19,8	0,6	14	7,8	0,335	7 000	0,2	YAR 205-015-2F
1 25,4	52	27,2	15	33,7	19,5	0,6	14	7,8	0,335	7 000	0,16	YAT 205-100
	52	34,1	15	33,7	19,8	0,6	11,9	7,8	0,335	4 300	0,19	YAR 205-100-2RF/HV
	52	34,1	15	33,7	19,8	0,6	11,9	7,8	0,335	4 300	0,19	YAR 205-100-2RFGR/HV
	52	34,1	15	33,7	19,8	0,6	14	7,8	0,335	1 500	0,18	YARAG 205-100
	52	34,1	15	33,7	19,8	0,6	14	7,8	0,335	4 300	0,19	▶ YAR 205-100-2RF
	52	34,1	15	33,7	19,8	0,6	14	7,8	0,335	4 300	0,19	YAR 205-100-2RF/VE495
1 1/8 28,575	52	34,1	15	33,7	19,8	0,6	14	7,8	0,335	7 000	0,19	▶ YAR 205-100-2F
	62	38,1	18	39,7	22,2	0,6	19,5	11,2	0,475	6 300	0,35	YAR 206-101-2F
	62	38,1	18	39,7	22,2	0,6	19,5	11,2	0,475	1 200	0,32	YARAG 206-102
1 3/16 30,163	62	38,1	18	39,7	22,2	0,6	19,5	11,2	0,475	6 300	0,32	YAR 206-102-2F
	62	30,2	18	39,7	21	0,6	19,5	11,2	0,475	6 300	0,26	YAT 206-103
	62	38,1	18	39,7	22,2	0,6	16,3	11,2	0,475	3 800	0,3	YAR 206-103-2RF/HV
	62	38,1	18	39,7	22,2	0,6	16,3	11,2	0,475	3 800	0,3	YAR 206-103-2RFGR/HV
	62	38,1	18	39,7	22,2	0,6	19,5	11,2	0,475	1 200	0,3	YARAG 206-103
	62	38,1	18	39,7	22,2	0,6	19,5	11,2	0,475	3 800	0,3	YAR 206-103-2RF/VE495
	62	38,1	18	39,7	22,2	0,6	19,5	11,2	0,475	6 300	0,3	YAR 206-103-2F

▶ Producto popular

**0.7. Anexo 7: Encuesta de satisfacción sobre el suavizado del ala de los sombreros**



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS  
APLICADAS  
INGENIERÍA MECATRÓNICA



**Tema de tesis:** Máquina para suavizar el borde del ala de sombreros de fieltro de lana previo al proceso de cosido para pequeñas empresas de sombreros artesanales.

**Encuesta de satisfacción sobre el suavizado del ala de los sombreros**

**Fecha:** 27 de diciembre de 2023

**Encuesta realizada en:** Sombrerería Willis

**Grado de conformidad del suavizado**

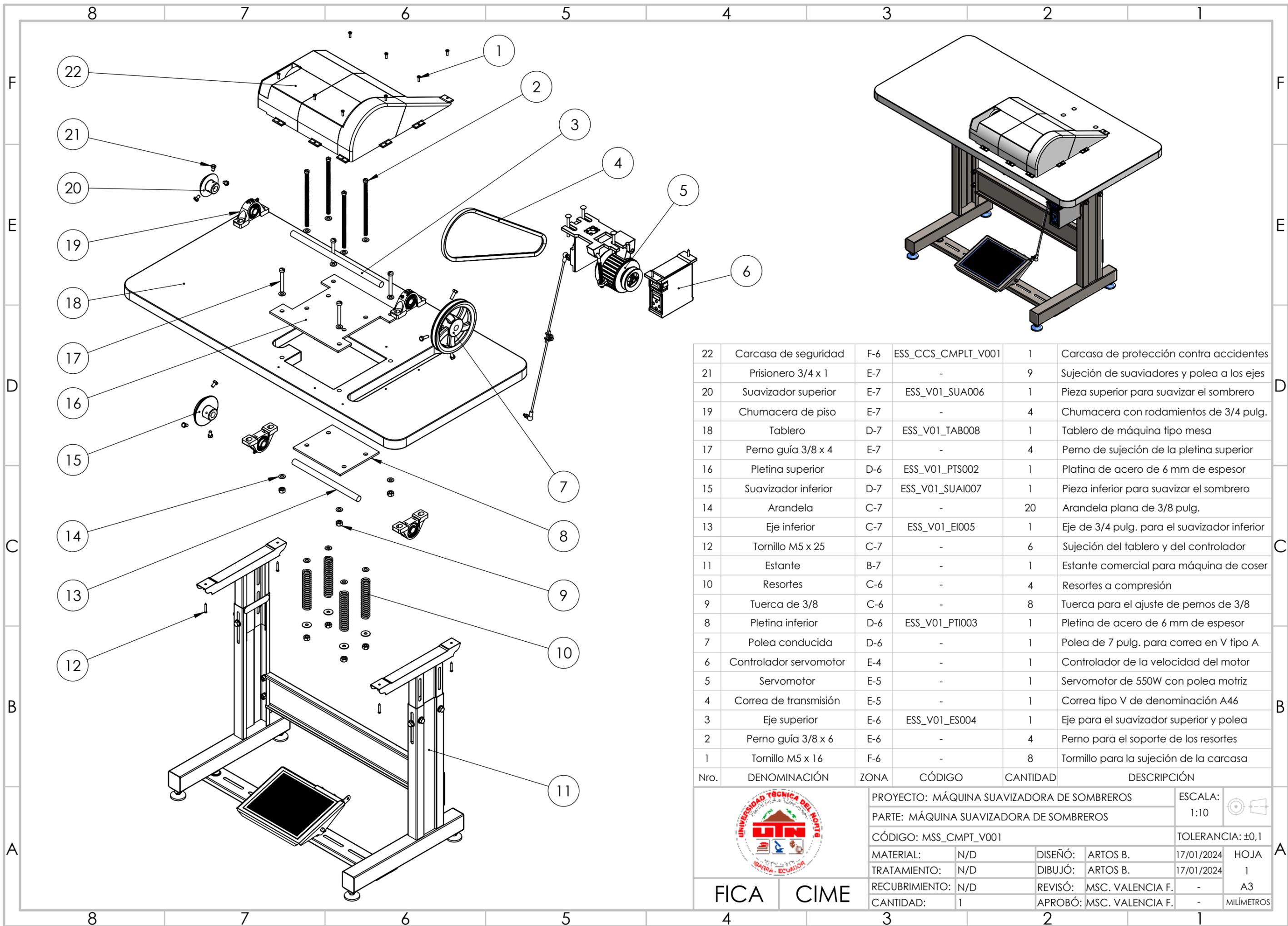
En un rango del 1 al 5, siendo 1 aceptable y 5 adecuado, por favor, indique su grado de conformidad en relación con el suavizado del borde del ala de los sombreros.

Espesor	Muestra	Conformidad
2 milímetros	Sombrero 1	4
	Sombrero 2	5
	Sombrero 3	5
	Sombrero 4	5
	Sombrero 5	4
3 milímetros	Sombrero 1	5
	Sombrero 2	5
	Sombrero 3	4
	Sombrero 4	5
	Sombrero 5	5

Artos Antamba Bryan Wilson  
Autor del trabajo de titulación

Antamba Antamba Myrian del Rocío  
Sombreros Willis

## **0.8. Anexo 8: Planos mecánicos**

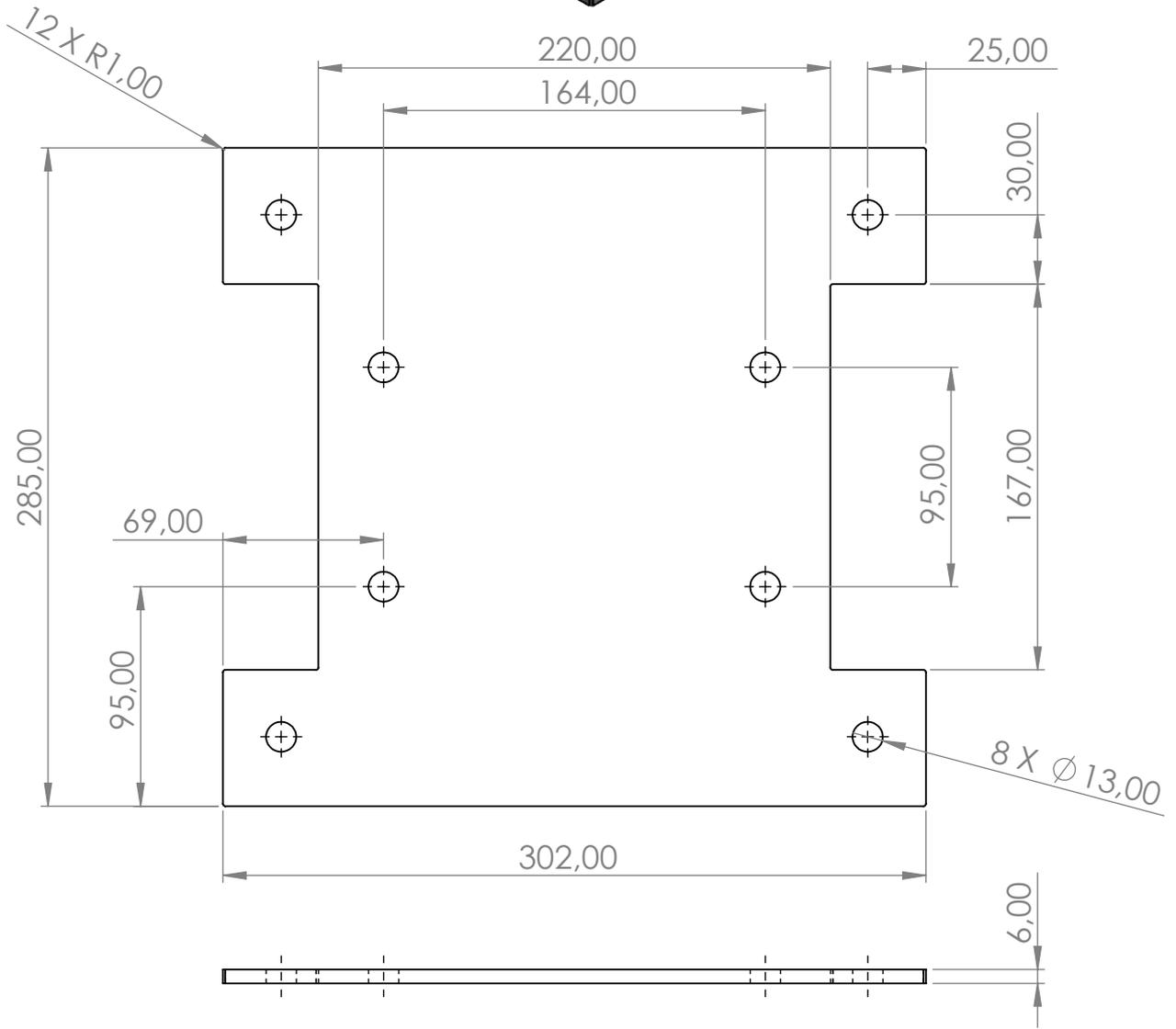
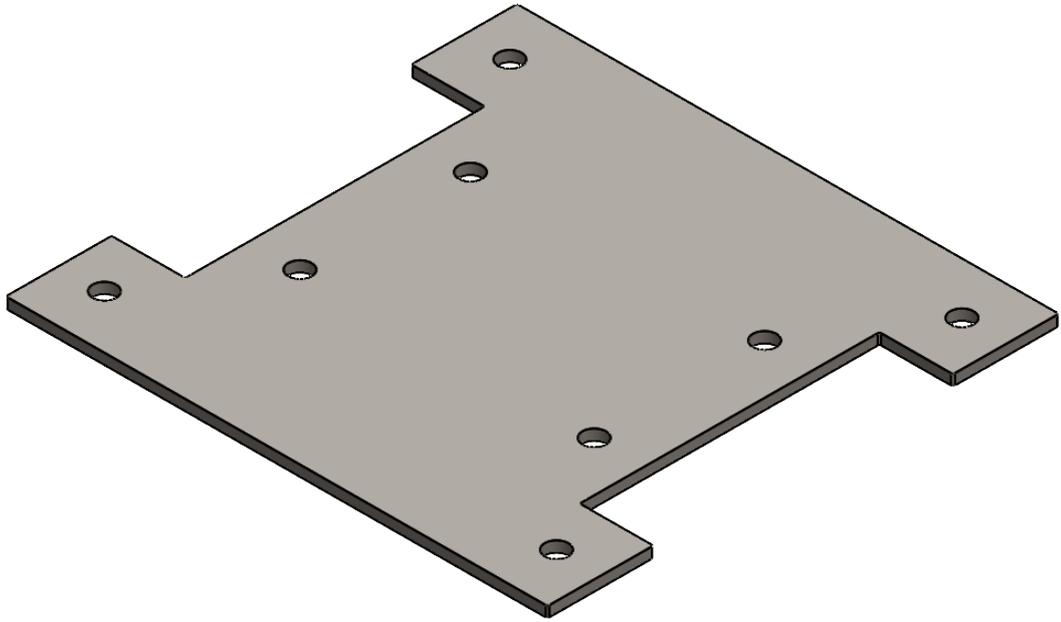


22	Carcasa de seguridad	F-6	ESS_CCS_CMPLT_V001	1	Carcasa de protección contra accidentes
21	Prisionero 3/4 x 1	E-7	-	9	Sujeción de suavizadores y polea a los ejes
20	Suavizador superior	E-7	ESS_V01_SUA006	1	Pieza superior para suavizar el sombrero
19	Chumacera de piso	E-7	-	4	Chumacera con rodamientos de 3/4 pulg.
18	Tablero	D-7	ESS_V01_TAB008	1	Tablero de máquina tipo mesa
17	Perno guía 3/8 x 4	E-7	-	4	Perno de sujeción de la pletina superior
16	Pletina superior	D-6	ESS_V01_PTS002	1	Platina de acero de 6 mm de espesor
15	Suavizador inferior	D-7	ESS_V01_SUA1007	1	Pieza inferior para suavizar el sombrero
14	Arandela	C-7	-	20	Arandela plana de 3/8 pulg.
13	Eje inferior	C-7	ESS_V01_EI005	1	Eje de 3/4 pulg. para el suavizador inferior
12	Tornillo M5 x 25	C-7	-	6	Sujeción del tablero y del controlador
11	Estante	B-7	-	1	Estante comercial para máquina de coser
10	Resortes	C-6	-	4	Resortes a compresión
9	Tuerca de 3/8	C-6	-	8	Tuerca para el ajuste de pernos de 3/8
8	Pletina inferior	D-6	ESS_V01_PT1003	1	Pletina de acero de 6 mm de espesor
7	Polea conducida	D-6	-	1	Polea de 7 pulg. para correa en V tipo A
6	Controlador servomotor	E-4	-	1	Controlador de la velocidad del motor
5	Servomotor	E-5	-	1	Servomotor de 550W con polea motriz
4	Correa de transmisión	E-5	-	1	Correa tipo V de denominación A46
3	Eje superior	E-6	ESS_V01_ES004	1	Eje para el suavizador superior y polea
2	Perno guía 3/8 x 6	E-6	-	4	Perno para el soporte de los resortes
1	Tornillo M5 x 16	F-6	-	8	Tornillo para la sujeción de la carcasa
Nro.	DENOMINACIÓN	ZONA	CÓDIGO	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN



PROYECTO: MÁQUINA SUAVIZADORA DE SOMBREROS				ESCALA:	
PARTE: MÁQUINA SUAVIZADORA DE SOMBREROS				1:10	
CÓDIGO: MSS_CMPT_V001				TOLERANCIA: ±0,1	
MATERIAL:	N/D	DISEÑÓ:	ARTOS B.	17/01/2024	HOJA
TRATAMIENTO:	N/D	DIBUJÓ:	ARTOS B.	17/01/2024	1
RECUBRIMIENTO:	N/D	REVISÓ:	MSC. VALENCIA F.	-	A3
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	MSC. VALENCIA F.	-	MILÍMETROS

FICA CIME

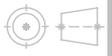


Nota: todas las perforaciones son simétricas.



PROYECTO: MÁQUINA SUAVIZADORA DE SOMBREROS

ESCALA:



PARTE: PLETINA SUPERIOR

1:3

CÓDIGO: MSS\_V01\_PTS002

TOLERANCIA: ±0,1

MATERIAL: ACERO A36

DISEÑO: ARTOS B.

16/01/2024

HOJA

TRATAMIENTO: NINGUNO

DIBUJÓ: ARTOS B.

16/01/2024

2

RECUBRIMIENTO: NINGUNO

REVISÓ: MSC. VALENCIA F.

-

A4

CANTIDAD: 1

APROBÓ: MSC. VALENCIA F.

-

MILÍMETROS

FICA

CIME

4

3

2

1

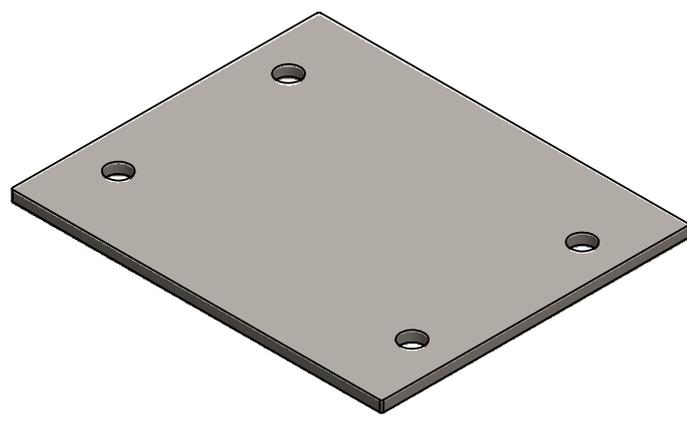
4 3 2 1

F

F

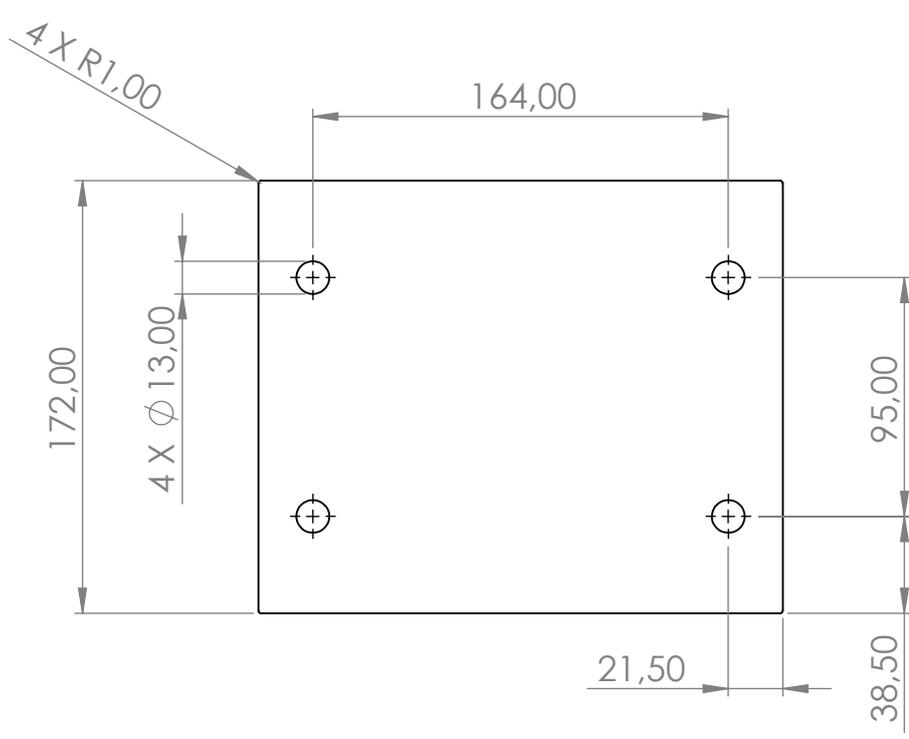
E

E



D

D



C

C

B

B

Nota: todas las perforaciones son simétricas.

A

A



PROYECTO: MÁQUINA SUAVIZADORA DE SOMBREROS				ESCALA: 1:3	
PARTE: PLETINA INFERIOR					
CÓDIGO: MSS_V01_PT003					
MATERIAL:	ACERO A36	DISEÑO:	ARTOS B.	16/01/2024	HOJA 3 A4
TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ:	ARTOS B.	16/01/2024	
RECUBRIMIENTO:	NINGUNO	REVISÓ:	MSC. VALENCIA F.	-	
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	MSC. VALENCIA F.	-	MILÍMETROS

FICA

CIME

4 3 2 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

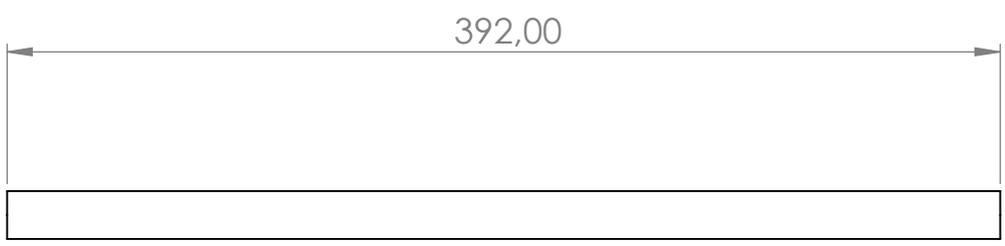
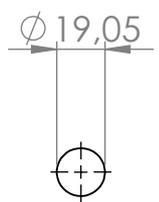
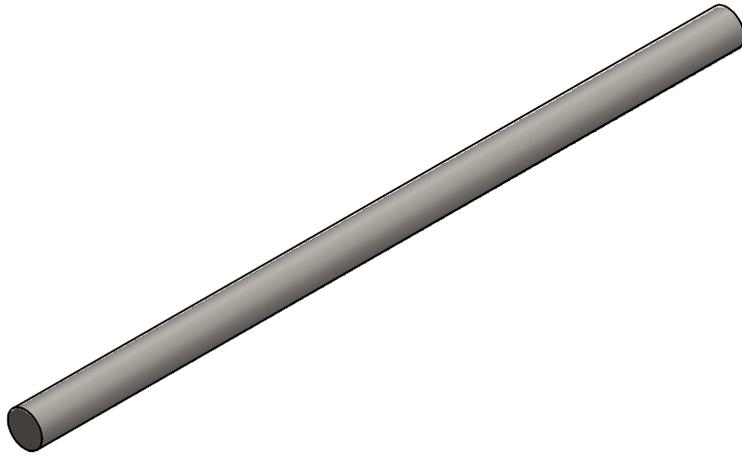
D

C

C

B

B



A

A



PROYECTO: MÁQUINA SUAVIZADORA DE SOMBREROS				ESCALA: 1:3		
PARTE: EJE SUPERIOR				TOLERANCIA: ±0,1		
CÓDIGO: MSS_V01_ES004				16/01/2024		HOJA 4 A4 MILÍMETROS
MATERIAL:	AISI 4340	DISEÑO:	ARTOS B.	16/01/2024		
TRATAMIENTO:	NORMALIZADO	DIBUJÓ:	ARTOS B.	16/01/2024		
RECUBRIMIENTO:	NINGUNO	REVISÓ:	MSC. VALENCIA F.	-		
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	MSC. VALENCIA F.	-		

FICA

CIME

4 3 2 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

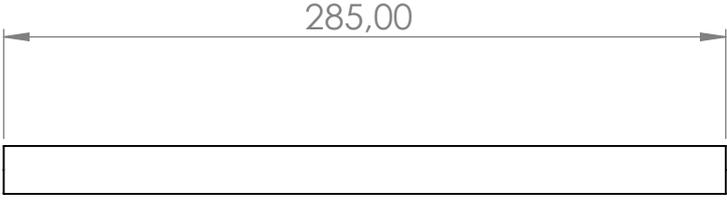
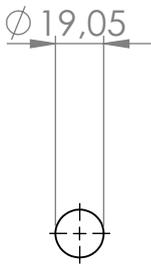
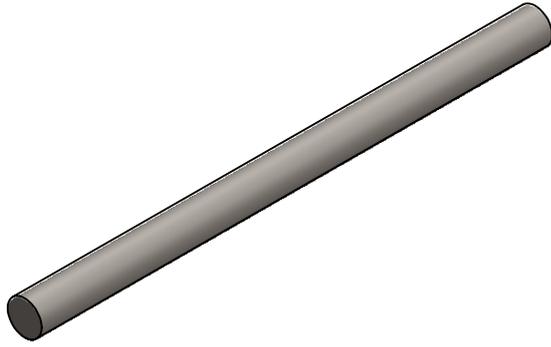
D

C

C

B

B



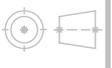
A

A



PROYECTO: MÁQUINA SUAVIZADORA DE SOMBREROS

ESCALA:



PARTE: EJE INFERIOR

1:3

CÓDIGO: MSS\_V01\_EI005

TOLERANCIA:  $\pm 0,1$

MATERIAL: ACERO A36

DISEÑO: ARTOS B.

16/01/2024

HOJA

TRATAMIENTO: NORMALIZADO

DIBUJÓ: ARTOS B.

16/01/2024

5

FICA

CIME

RECUBRIMIENTO: NINGUNO

REVISÓ: MSC. VALENCIA F.

-

A4

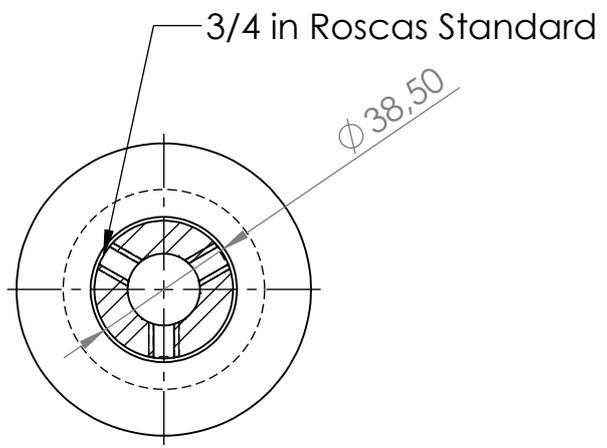
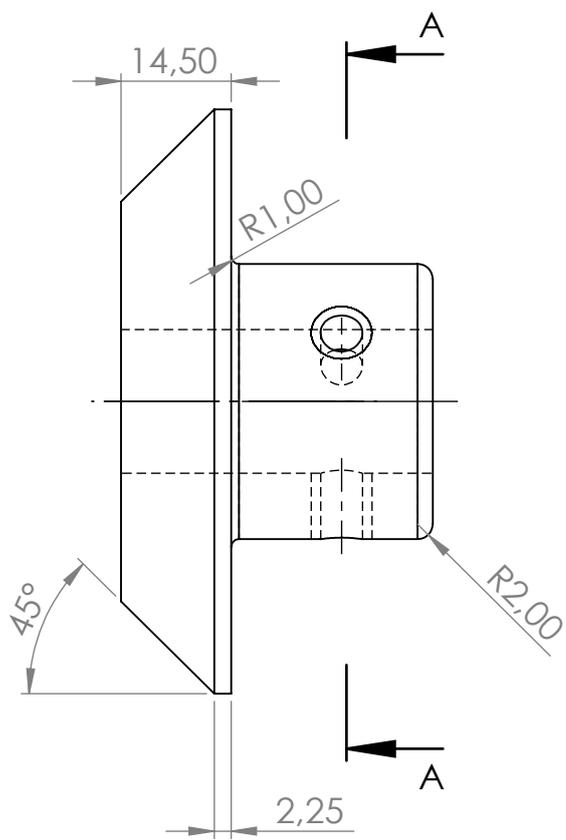
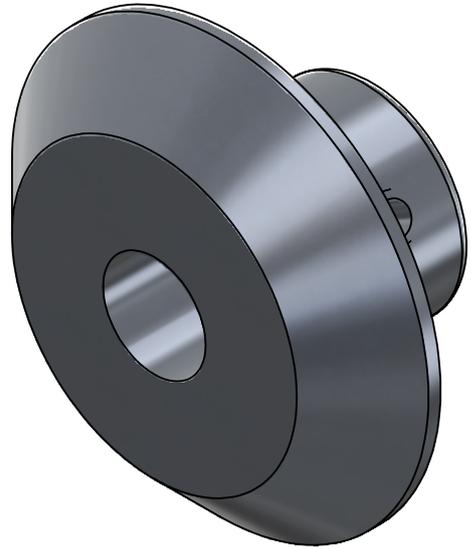
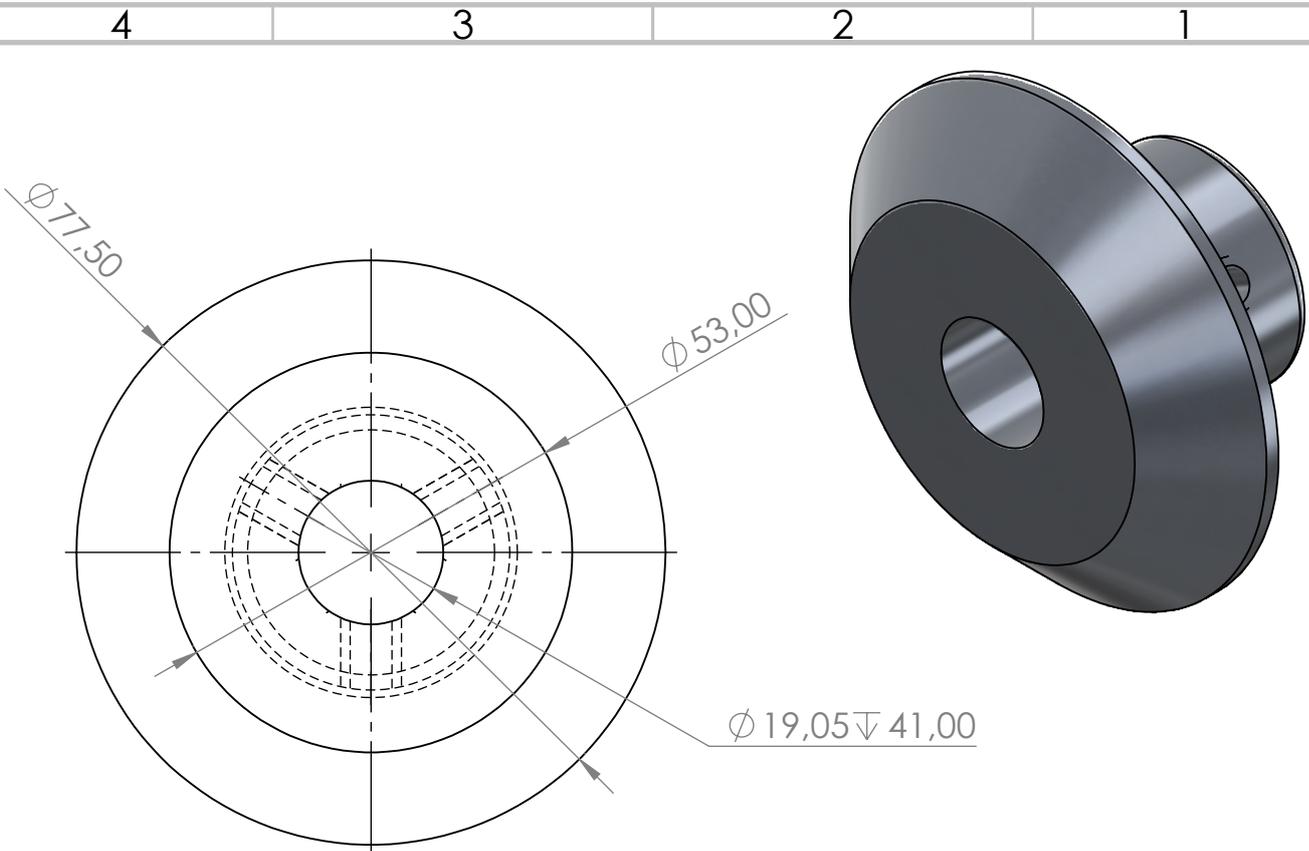
CANTIDAD: 1

APROBÓ: MSC. VALENCIA F.

-

MILÍMETROS

4 3 2 1



SECCIÓN A-A  
ESCALA 1:2



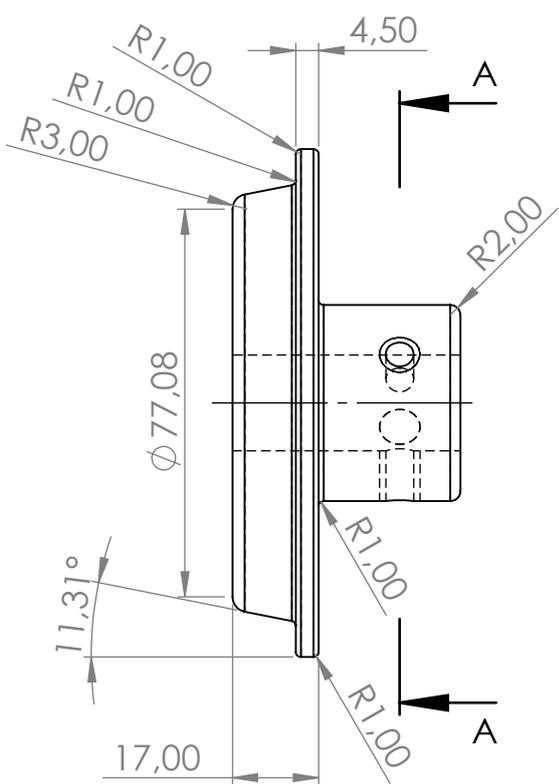
PROYECTO: MÁQUINA SUAVIZADORA DE SOMBREROS				ESCALA: 1:1	
PARTE: SUAVIZADOR SUPERIOR				TOLERANCIA: ±0,1	
CÓDIGO: MSS_V01_SUA006					
MATERIAL:	ALUMINIO 1060	DISEÑO:	ARTOS B.	16/01/2024	HOJA 6
TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ:	ARTOS B.	16/01/2024	
RECUBRIMIENTO:	NINGUNO	REVISÓ:	MSC. VALENCIA F.	-	A4
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	MSC. VALENCIA F.	-	
				MILÍMETROS	

FICA CIME

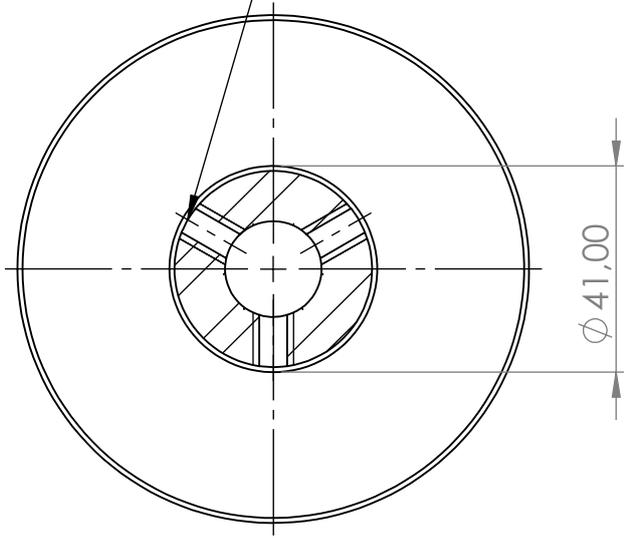
$\phi 19,05 \nabla 45,00$

$\phi 101,00$

$\phi 86,68$



3/4 in Roscas Standard

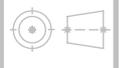


SECCIÓN A-A  
ESCALA 1 : 1.5



PROYECTO: MÁQUINA SUAVIZADORA DE SOMBREROS

ESCALA:



PARTE: SUAVIZADOR INFERIOR

1:1.5

CÓDIGO: MSS\_V01\_SUAI007

TOLERANCIA:  $\pm 0,1$

MATERIAL: ALUMINIO 1060

DISEÑO: ARTOS B.

16/01/2024

HOJA

TRATAMIENTO: NINGUNO

DIBUJÓ: ARTOS B.

16/01/2024

7

RECUBRIMIENTO: NINGUNO

REVISÓ: MSC. VALENCIA F.

-

A4

CANTIDAD: 1

APROBÓ: MSC. VALENCIA F.

-

MILÍMETROS

FICA

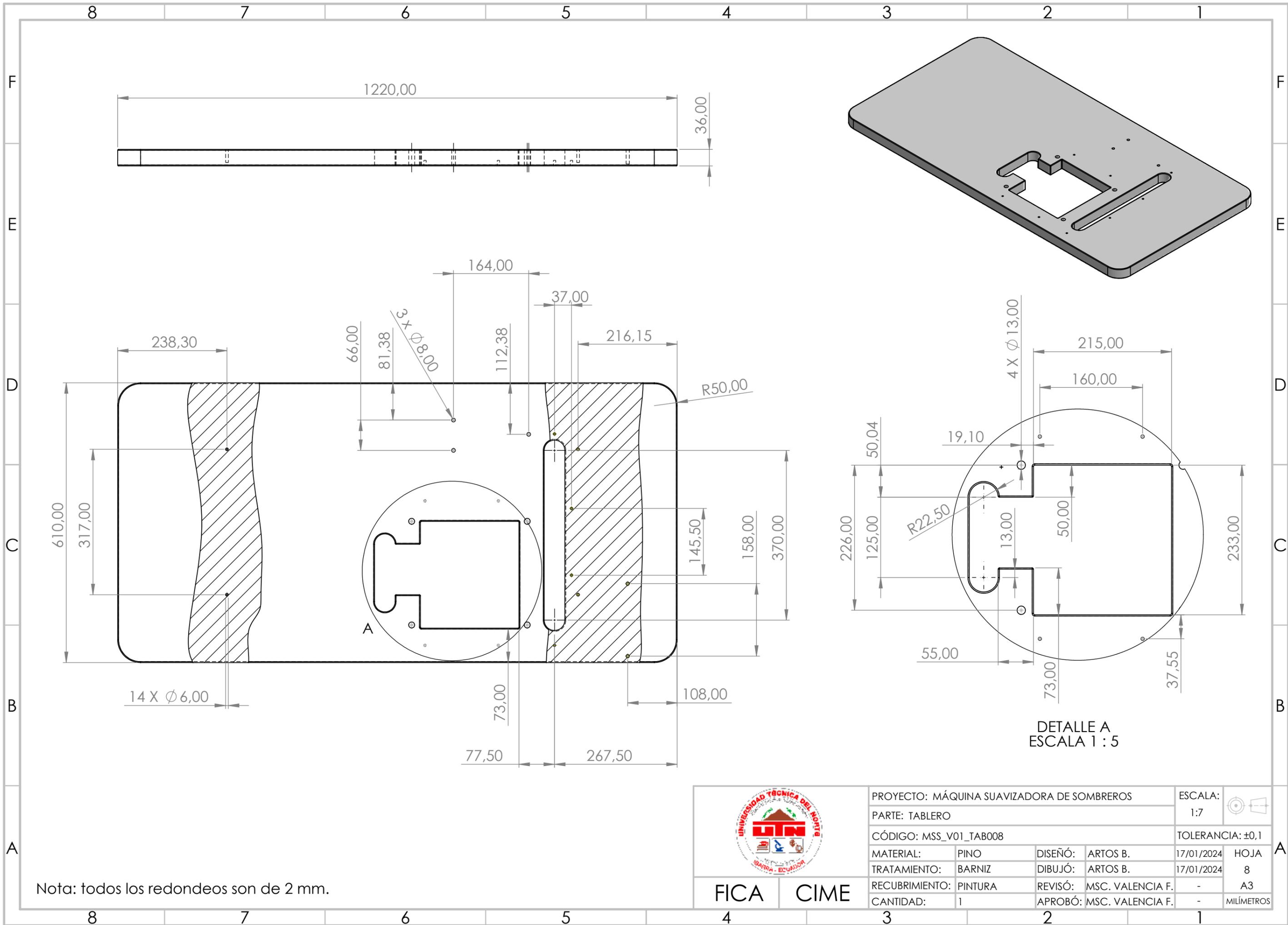
CIME

4

3

2

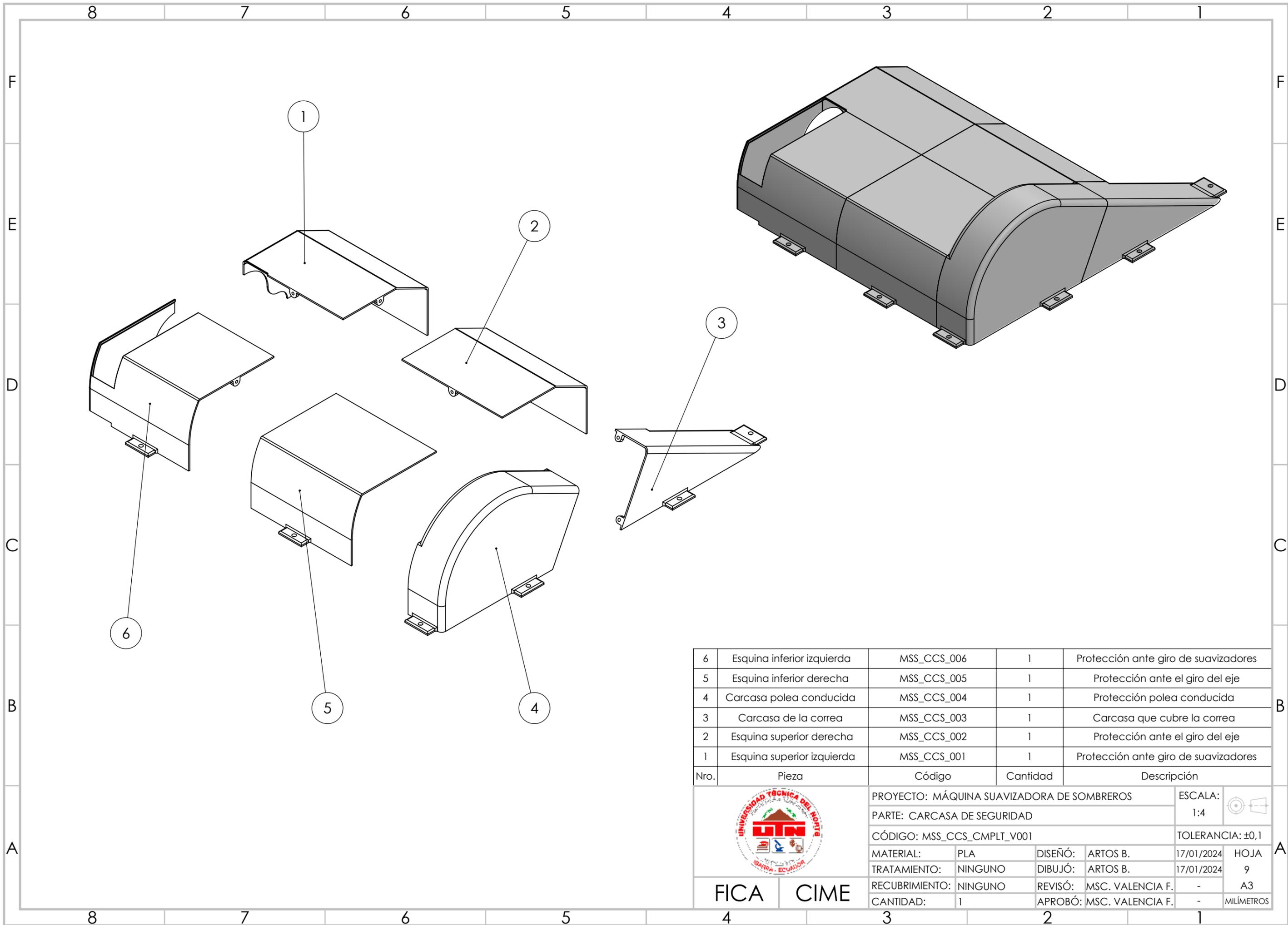
1



Nota: todos los redondeos son de 2 mm.

	PROYECTO: MÁQUINA SUAVIZADORA DE SOMBREROS			ESCALA:		
	PARTE: TABLERO			1:7		
	CÓDIGO: MSS_V01_TAB008			TOLERANCIA: ±0,1		
	MATERIAL:	PINO	DISEÑO:	ARTOS B.	17/01/2024	HOJA
	TRATAMIENTO:	BARNIZ	DIBUJÓ:	ARTOS B.	17/01/2024	8
RECUBRIMIENTO:	PINTURA	REVISÓ:	MSC. VALENCIA F.	-	A3	
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	MSC. VALENCIA F.	-	MILÍMETROS	

FICA CIME

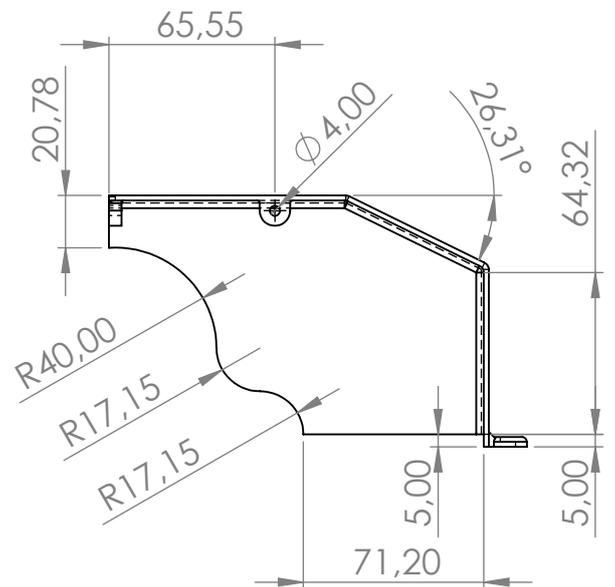
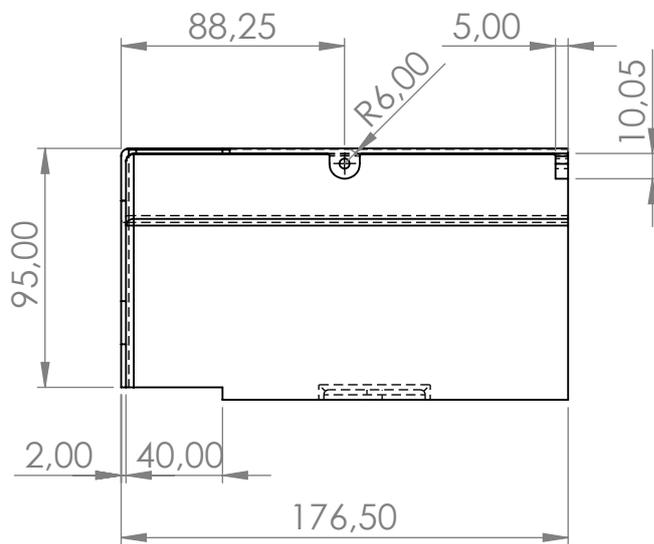
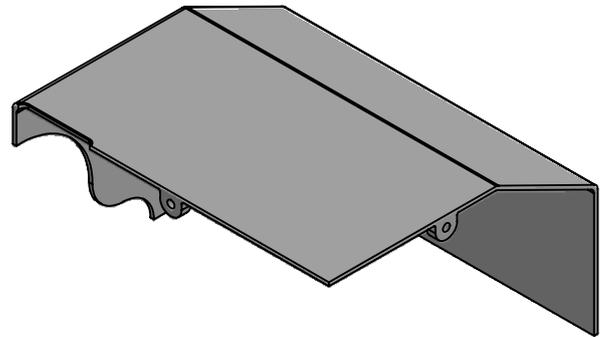
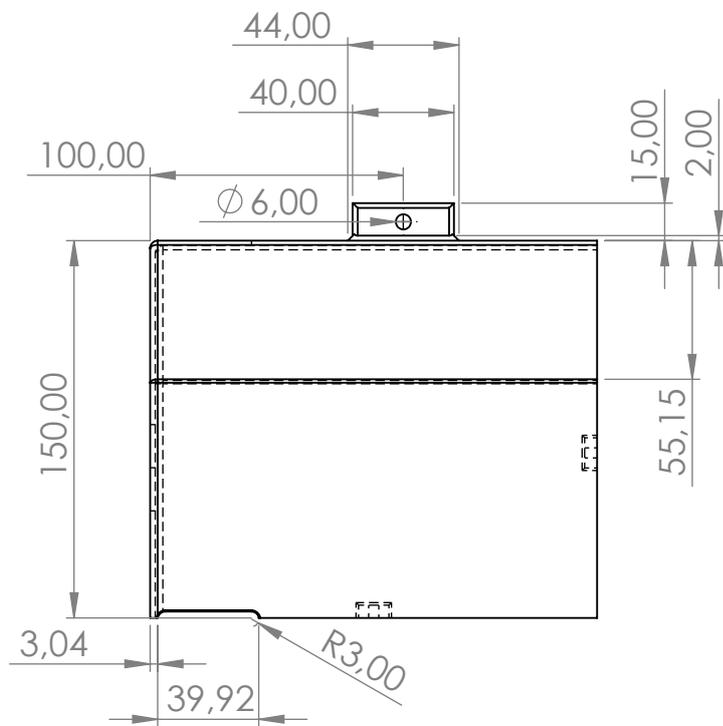


6	Esquina inferior izquierda	MSS_CCS_006	1	Protección ante giro de suavizadores
5	Esquina inferior derecha	MSS_CCS_005	1	Protección ante el giro del eje
4	Carcasa polea conducida	MSS_CCS_004	1	Protección polea conducida
3	Carcasa de la correa	MSS_CCS_003	1	Carcasa que cubre la correa
2	Esquina superior derecha	MSS_CCS_002	1	Protección ante el giro del eje
1	Esquina superior izquierda	MSS_CCS_001	1	Protección ante giro de suavizadores
Nro.	Pieza	Código	Cantidad	Descripción



PROYECTO: MÁQUINA SUAVIZADORA DE SOMBREROS				ESCALA:	
PARTE: CARCASA DE SEGURIDAD				1:4	
CÓDIGO: MSS_CCS_CMPLT_V001				TOLERANCIA: ±0,1	
MATERIAL:	PLA	DISEÑO:	ARTOS B.	17/01/2024	HOJA
TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ:	ARTOS B.	17/01/2024	9
RECUBRIMIENTO:	NINGUNO	REVISÓ:	MSC. VALENCIA F.	-	A3
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	MSC. VALENCIA F.	-	MILÍMETROS

FICA CIME



Nota: todos los redondeos no acotados son de 3 mm.

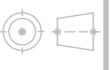


PROYECTO: MÁQUINA SUAVIZADORA DE SOMBREROS

ESCALA:

PARTE: CARCASA - ESQUINA SUPERIOR IZQUIERDA

1:3



CÓDIGO: MSS\_CCS\_001

TOLERANCIA:  $\pm 0,1$

MATERIAL:

PLA

DISEÑO:

ARTOS B.

17/01/2024

HOJA

TRATAMIENTO:

NINGUNO

DIBUJÓ:

ARTOS B.

17/01/2024

10

RECUBRIMIENTO:

NINGUNO

REVISÓ:

MSC. VALENCIA F.

-

A4

CANTIDAD:

1

APROBÓ:

MSC. VALENCIA F.

-

MILÍMETROS

FICA

CIME

4

3

2

1

A

A

F

F

E

E

D

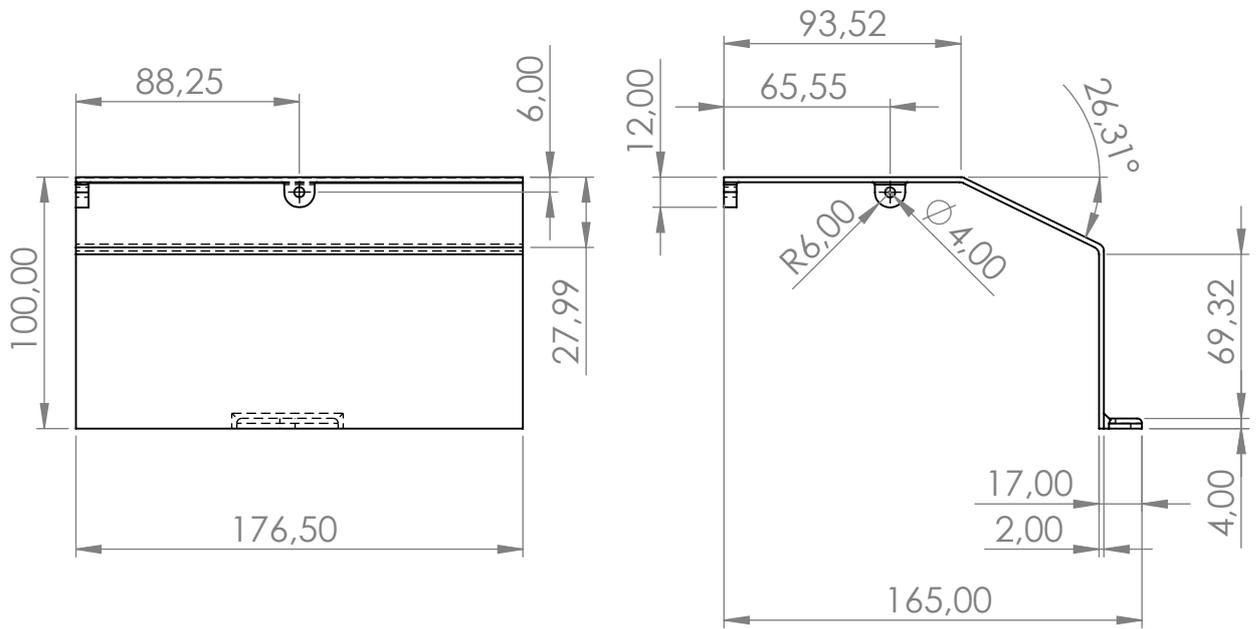
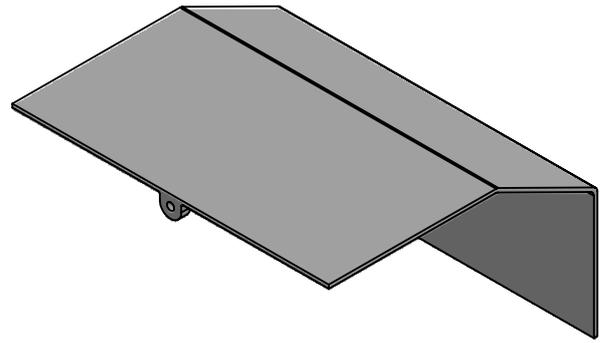
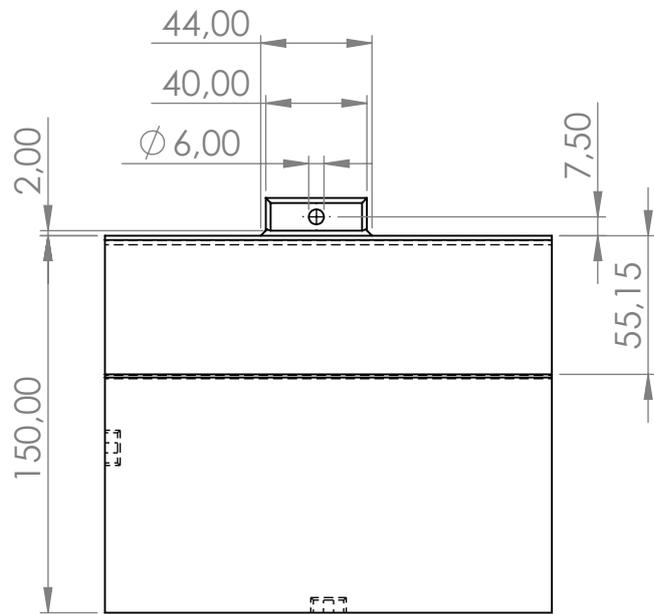
D

C

C

B

B



Nota: los redondeos no acotados son de 2 mm.

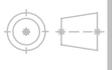


PROYECTO: MÁQUINA SUAVIZADORA DE SOMBREROS

ESCALA:

PARTE: CARCASA - ESQUINA SUPERIOR DERECHA

1:3



CÓDIGO: MSS\_CCS\_002

TOLERANCIA:  $\pm 0,1$

MATERIAL:

PLA

DISEÑO:

ARTOS B.

17/01/2024

HOJA

TRATAMIENTO:

NINGUNO

DIBUJÓ:

ARTOS B.

17/01/2024

11

RECUBRIMIENTO:

NINGUNO

REVISÓ:

MSC. VALENCIA F.

-

A4

CANTIDAD:

1

APROBÓ:

MSC. VALENCIA F.

-

MILÍMETROS

FICA

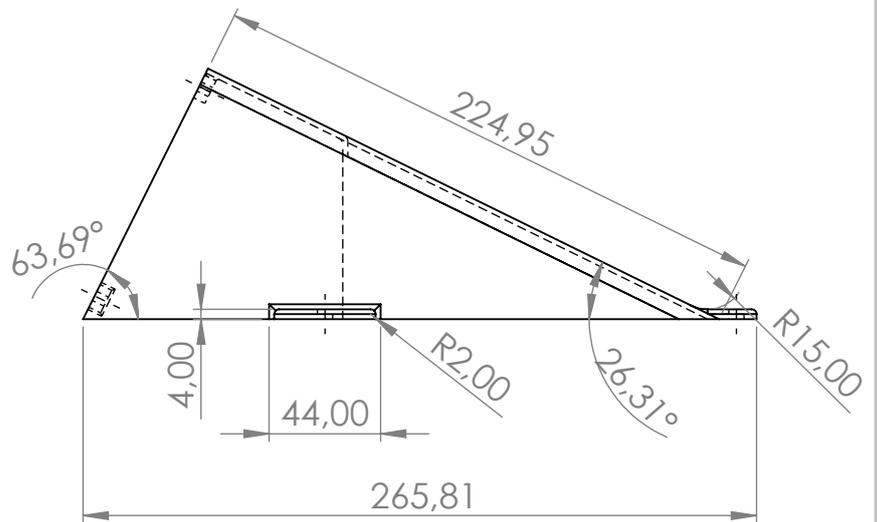
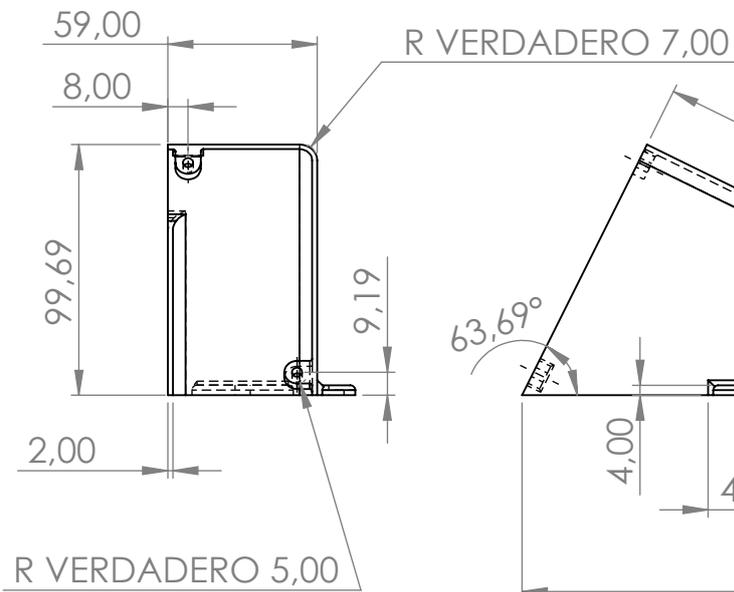
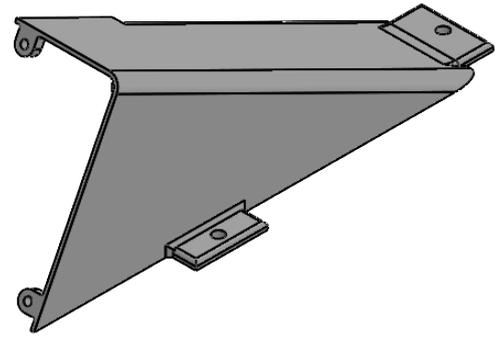
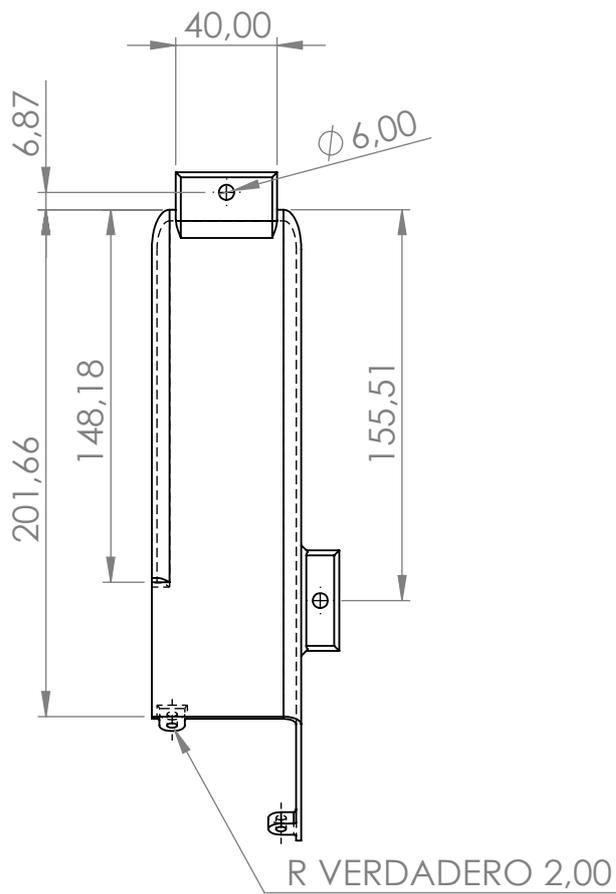
CIME

4

3

2

1

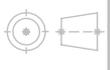


Nota: los redondeos no acotados son de 3 mm.



PROYECTO: MÁQUINA SUAVIZADORA DE SOMBREROS

ESCALA:



PARTE: CARCASA DE LA CORREA

1:3

CÓDIGO: MSS\_CCS\_003

TOLERANCIA:  $\pm 0,1$

MATERIAL: PLA

DISEÑO: ARTOS B.

17/01/2024

HOJA

TRATAMIENTO: NINGUNO

DIBUJÓ: ARTOS B.

17/01/2024

12

RECUBRIMIENTO: NINGUNO

REVISÓ: MSC. VALENCIA F.

-

A4

CANTIDAD: 1

APROBÓ: MSC. VALENCIA F.

-

MILÍMETROS

FICA

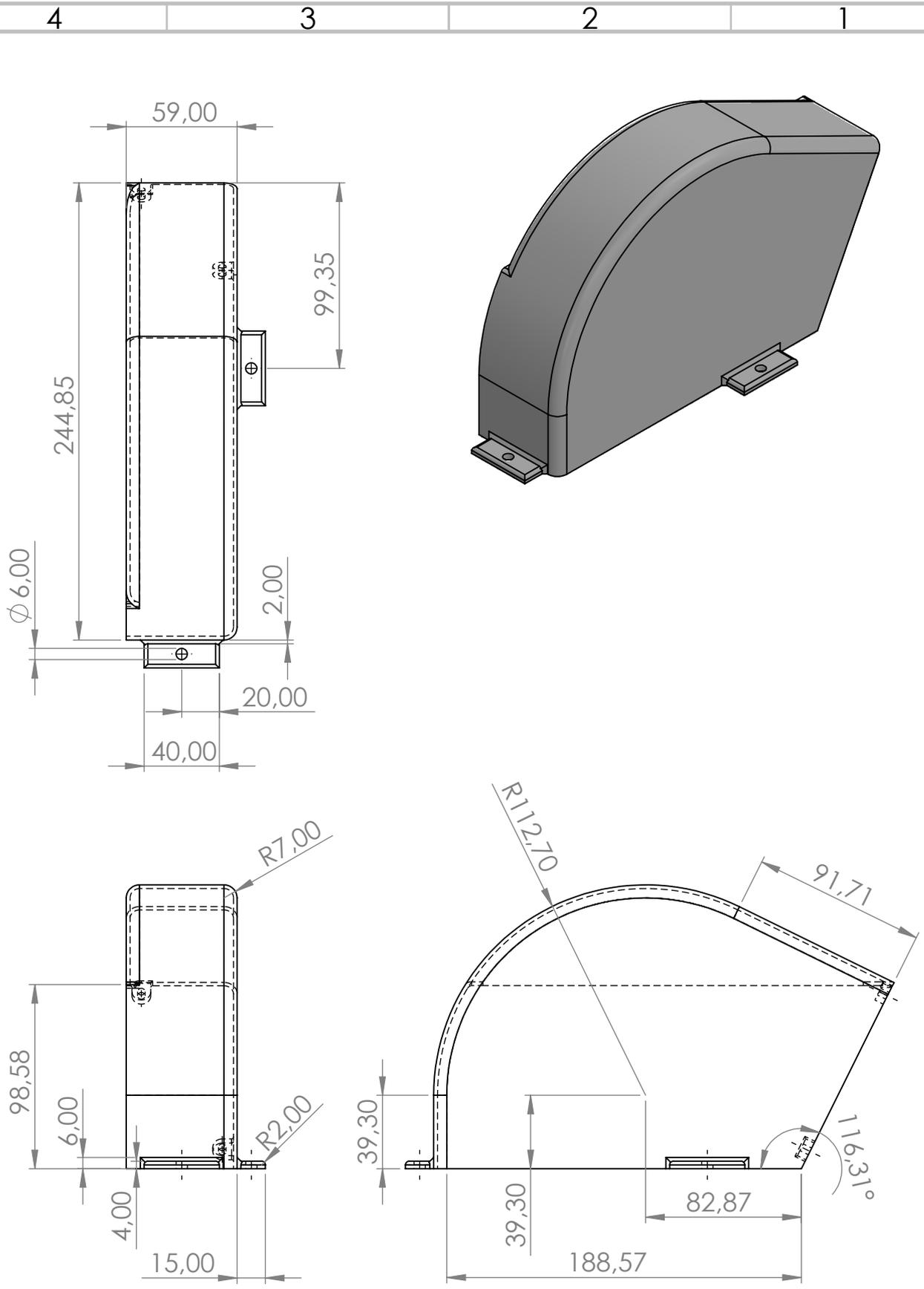
CIME

4

3

2

1



Nota: todos los redondeos no acotados son de 3 mm.

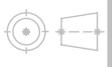


PROYECTO: MÁQUINA SUAVIZADORA DE SOMBREROS

ESCALA:

PARTE: CARCASA DE LA POLEA CONDUCTIDA

1:3



CÓDIGO: MSS\_CCS\_004

TOLERANCIA:  $\pm 0,1$

MATERIAL:

PLA

DISEÑO:

ARTOS B.

17/01/2024

HOJA

TRATAMIENTO:

NINGUNO

DIBUJÓ:

ARTOS B.

17/01/2024

13

RECUBRIMIENTO:

NINGUNO

REVISÓ:

MSC. VALENCIA F.

-

A4

CANTIDAD:

1

APROBÓ:

MSC. VALENCIA F.

-

MILÍMETROS

FICA

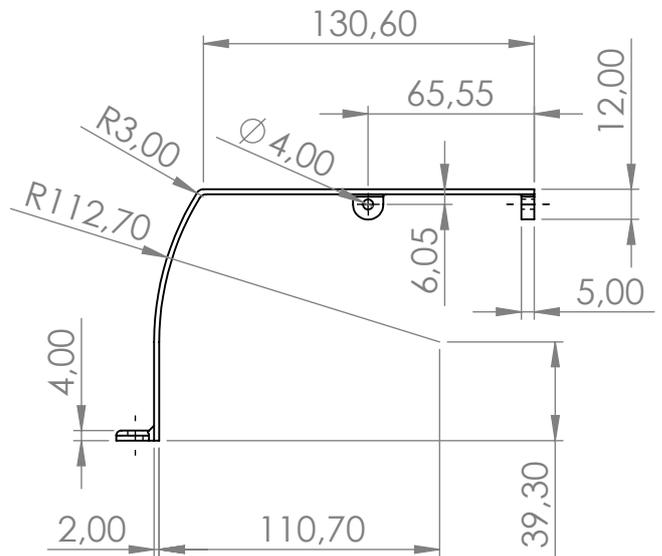
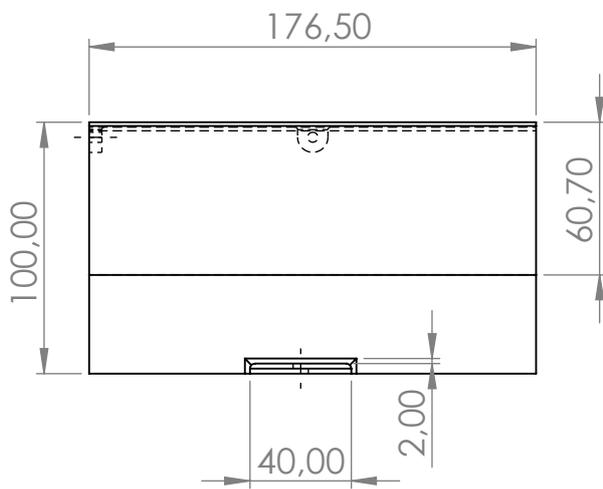
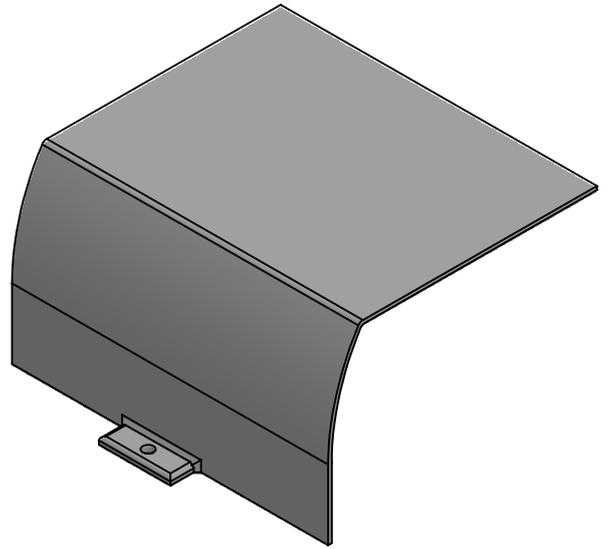
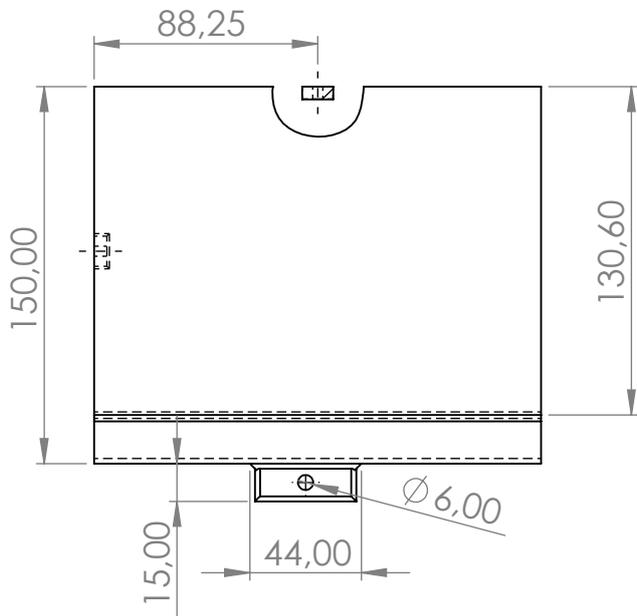
CIME

4

3

2

1

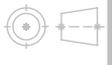


Nota: los redondeos no acotados son de 1 mm.



PROYECTO: MÁQUINA SUAVIZADORA DE SOMBREROS

ESCALA:



PARTE: CARCASA - ESQUINA INFERIOR DERECHA

1:3

CÓDIGO: MSS\_CCS\_005

TOLERANCIA:  $\pm 0,1$

MATERIAL: PLA

DISEÑO: ARTOS B.

17/01/2024

HOJA

TRATAMIENTO: NINGUNO

DIBUJÓ: ARTOS B.

17/01/2024

14

RECUBRIMIENTO: NINGUNO

REVISÓ: MSC. VALENCIA F.

-

A4

CANTIDAD: 1

APROBÓ: MSC. VALENCIA F.

-

MILÍMETROS

FICA

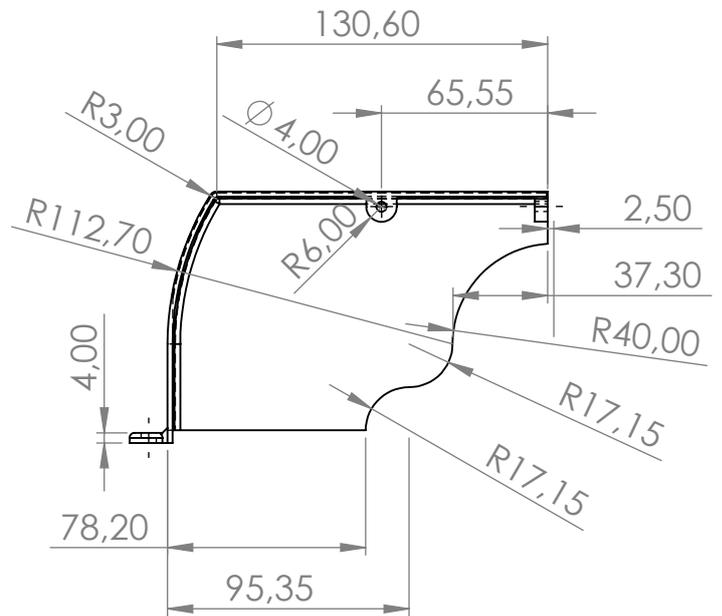
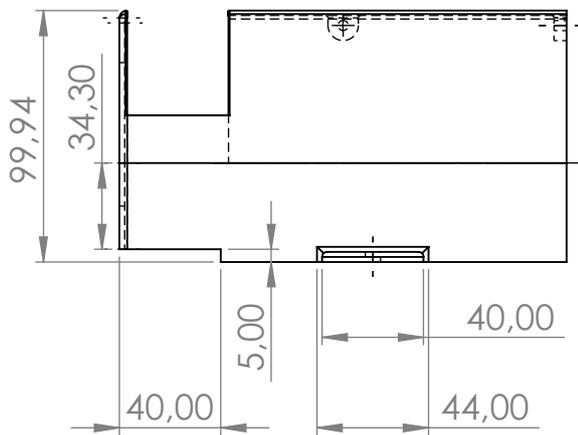
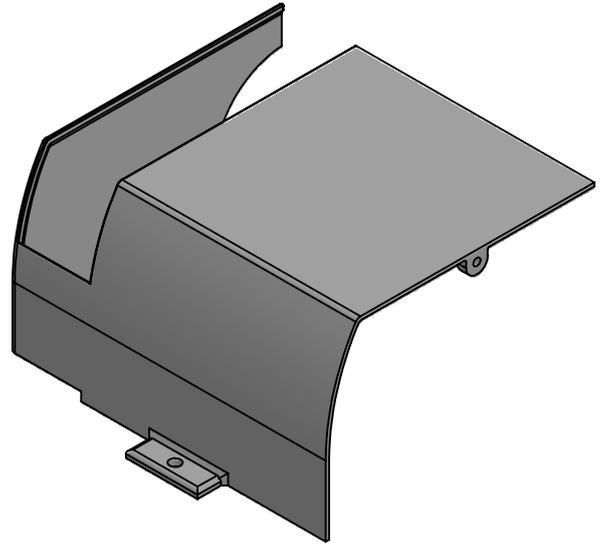
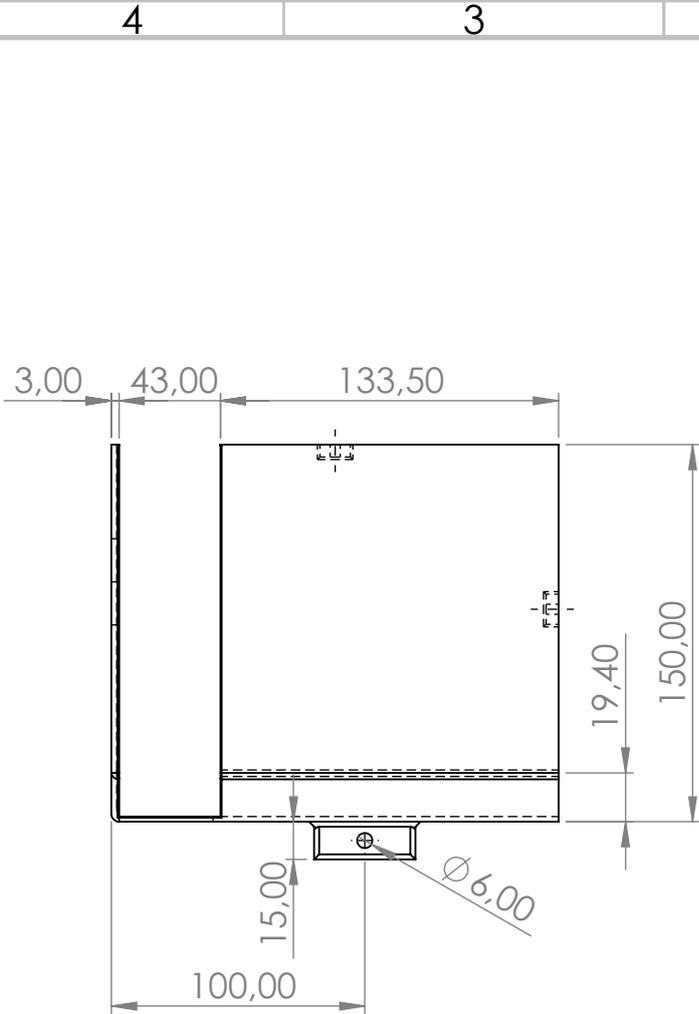
CIME

4

3

2

1



Nota: todos los redondeos no acotados son de 1 mm.

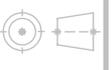


PROYECTO: MÁQUINA SUAVIZADORA DE SOMBREROS

ESCALA:

PARTE: CARCASA - ESQUINA INFERIOR IZQUIERDA

1:3



CÓDIGO: MSS\_CCS\_006

TOLERANCIA:  $\pm 0,1$

MATERIAL: PLA

DISEÑO: ARTOS B.

17/01/2024

HOJA

TRATAMIENTO: NINGUNO

DIBUJÓ: ARTOS B.

17/01/2024

15

RECUBRIMIENTO: NINGUNO

REVISÓ: MSC. VALENCIA F.

-

A4

CANTIDAD: 1

APROBÓ: MSC. VALENCIA F.

-

MILÍMETROS

FICA

CIME

4

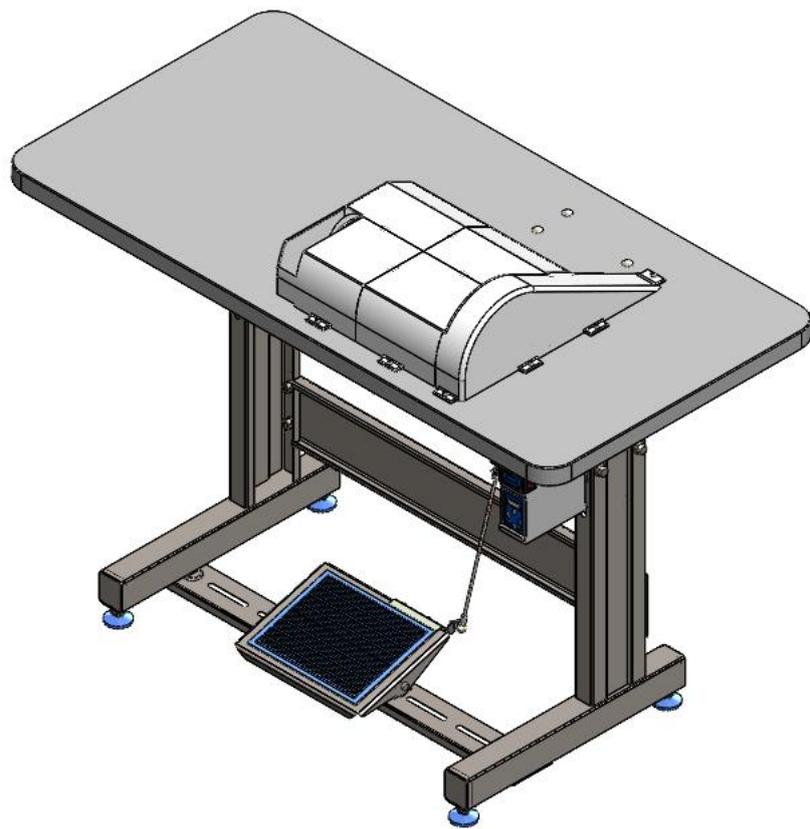
3

2

1

## **0.9. Anexo 9: Manual de usuario**

# MANUAL DE USUARIO



## Introducción

Este manual contiene información sobre el funcionamiento de la máquina suavizadora del borde del ala de sombreros de paño para pequeñas empresas de sombreros artesanales. Se recomienda leer esta manual atentamente antes de utilizar la máquina con el objetivo de brindar seguridad y beneficio al usuario.

## Precauciones



- No colocar las manos, brazos u otra parte del cuerpo cerca de los suavizadores antes ni durante la utilización de la máquina.
- Verificar la velocidad del motor antes de presionar el pedal de funcionamiento para evitar accidentes.
- Usar ropa adecuada que no se enrede en la máquina, evitar el cabello largo y el uso de accesorios colgantes.
- Antes de usar la máquina, inspeccione visualmente si hay daños o averías y que todos los componentes estén en buenas condiciones.
- No opere la máquina si presenta síntomas de fatiga o consumo de sustancias que afecten a su capacidad para operar la máquina de forma segura.
- Mantener a niños y a personas no familiarizadas con el funcionamiento y operación alejados de la máquina.
- No deje la máquina desatendida mientras está en uso, esté atento a la misma en todo momento para evitar accidentes.

## Especificaciones técnicas

A continuación, se presentan las características técnicas generales de la máquina:

<b>Característica</b>	<b>Valor referencial</b>
Alimentación del motor	110 V a 60 Hz
Potencia del motor	550 vatios o 0,73 HP
Velocidad recomendada	350 RPM
Período de uso recomendado	2 horas
Dimensiones	0,78 x 1,22 x 0,61 m
Peso estimado	50 kg

## Panel de control del motor



1. **Pantalla de visualización:** indica la velocidad actual del motor.
2. **Botón “+”:** incrementa la velocidad del motor en 50 RPM por cada vez que se presione el botón.
3. **Botón “S”:** se activa una salida de 5V para el encendido de la luz para iluminar la zona de la guja en una máquina de coser común, presione nuevamente y se apaga.
4. **Botón “P”:** este botón no se utiliza en esta máquina debido a que, sirve para configurar la función de “aguja arriba”, “aguja abajo” y “no parar aguja” en máquinas de coser con control de aguja.
5. **Botón “-“:** cada vez que se presione este botón la velocidad del motor se reduce en pasos de 50 RPM.

Nota: para acceder a más funciones revisar el Anexo 2 del Manual de operación del motor.

## Instrucciones de uso

### Encendido de la máquina

- El cable del motor eléctrico se enchufa a la energía eléctrica.
- El motor se enciende accionando el interruptor en el lado derecho del controlador del motor.



### Ajuste inicial

- En la pantalla del controlador se verifica la velocidad del motor en Revoluciones por minuto (RPM), si se requiere incrementar o disminuir la misma se presiona los botones de (+) y (-) respectivamente para cambiar la velocidad en pasos de 50 RPM.
- Si la pantalla muestra la velocidad deseada no es necesario presionar ningún botón.

### Preparativos del sombrero

- Se suaviza un sombrero a la vez, por lo que, el trabajador sitúa el borde de la falda del sombrero entre los suavizadores de la máquina.
- El trabajador mantiene el sombrero con sus manos por la copa y la falda antes de presionar el pedal de accionamiento del motor.



### Operación de la máquina

- Se presiona suavemente el pedal y los suavizadores empiezan a girar junto con el borde del ala siguiendo todo el perímetro de la falda del sombrero.
- Una vez suavizado el sombrero se libera de la máquina dirigiendo el sombrero hacia la izquierda de la máquina, es decir, hacia afuera de los suavizadores.
- De acuerdo con el grado de experiencia con la máquina al operario le tomará más o menos tiempo el suavizado, por lo que, si un trabajador nuevo va a operar la máquina se recomienda mucha práctica bajo la supervisión constante del personal con experiencia.

## Fallas en el funcionamiento

Se listan las posibles fallas en el funcionamiento normal de la máquina y sus soluciones:

Falla	Posible causa	Solución
El motor no enciende.	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ No está conectado correctamente a la energía eléctrica.</li> <li>○ El interruptor para el encendido está en la posición equivocada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Revisar y conectar adecuadamente al enchufe.</li> <li>○ Presionar el interruptor para encender el motor.</li> </ul>
La velocidad es muy alta o baja.	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ La velocidad del motor configurada en el controlador no es la adecuada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Presionar los botones "+" o "-" para ajustar la velocidad hasta la deseada.</li> </ul>
La presión entre los suavizadores es demasiada o insuficiente, lo que causa un suavizado insatisfactorio.	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Los resortes no están ajustados correctamente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Con una llave mixta Nro. 11 ajustar o aflojar la tuerca que presiona a los resortes hasta conseguir la presión idónea.</li> </ul>
El motor está encendido, pero al presionar el pedal el motor no arranca.	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ El tornillo que ajusta las varillas de conexión entre el pedal y el motor está flojo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Con una llave mixta Nro. 12 ajustar el tornillo ubicado en los extremos de las varillas de unión para eliminar el juego entre ellas.</li> </ul>
Los suavizadores no giran o giran sin fuerza.	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Los tornillos prisioneros de los suavizadores o la polea conducida están flojos.</li> <li>○ La correa de transmisión cumplió su tiempo de funcionamiento.</li> <li>○ Falta de lubricación en los rodamientos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Ajustar los tornillos prisioneros de los suavizadores y la polea conducida.</li> <li>○ Verificar el estado de la correa y cambiarla por una nueva de ser necesario.</li> <li>○ Retirar los sellos protectores de los rodamientos y verificar la lubricación, en caso de ser necesario, suministrar grasa para rodamientos por el orificio de cada chumacera.</li> </ul>

### Plan de mantenimiento

Para garantizar el correcto funcionamiento de la máquina, es necesario realizar un mantenimiento periódico como se muestra en la siguiente tabla:

Descripción	Mensual	Trimestral	Anual
Rodamientos			X
Correa		X	
Motor			X
Resortes		X	
Ajuste de pernos	X		
Revisión de cables	X		