



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**TEMA:**  
**“PROTOTIPO DE AMORTIGUADORES PARA PRÓTESIS DE  
RODILLA”**

**AUTOR:** Nelson Santiago Mora Fierro

**DIRECTOR:** Mcs. Cosme Damián Mejía Echeverría

Ibarra - Ecuador

**2023**



## 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:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1003223490		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Mora Fierro Nelson Santiago		
DIRECCIÓN:	José aria Larrea y Jijón y Pasaje A		
EMAIL:	nsmoraf@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	062616017	TELÉFONO MÓVIL:	0988043478

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	"PROTOTIPO DE AMORTIGUADORES PARA PRÓTESIS DE RODILLA"
AUTOR (ES):	Mora Fierro Nelson Santiago
FECHA: DD/MM/AAAA	2023-08-09
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Mecatrónica
ASESOR /DIRECTOR:	Mcs. Mejía Echeverría Cosme Damián

#### 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 9 días del mes de agosto de 2023

EL AUTOR:

(Firma).....  
Nombre: .....



**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 “PROTOTIPO DE AMORTIGUADORES PARA PRÓTESIS DE RODILLA”, presentado por el egresado Mora Fierro Nelson Santiago, que opta por el título de ingeniero en Mecatrónica, certifico que el mencionado proyecto fue realizado bajo mi dirección.

Ibarra, 9 de agosto de 2023

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Mejía Echeverría Cosme Damián", is written over a circular stamp that is partially obscured.

Ing. Mejía Echeverría Cosme Damián, MSc.  
Director de Tesis



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**DEDICATORIA**

La presente tesis es dedicada a mis padres, hermanos, familiares y en especial a mi pequeño hijo Sebastián motor principal de inspiración que ha hecho posible la culminación de una de mis metas profesionales.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**AGRADECIMIENTO**

Agradezco de manera especial a mi tutor Mcs. Mejía Echeverría Cosme Damián que gracias a su apoyo correcto e incondicional como profesional se logró culminar el desarrollo del prototipo.

De igual manera a quienes conforman la carrera de Ingeniería de Mecatrónica, personal docente y administrativo que con su paciencia y saber me supieron guiar en este proyecto.

A esta prestigiosa Institución la Universidad Técnica del Norte que forja cada día el buen impulso académico, la experiencia académica desarrollada en el tiempo de estudios servirá como base para mi desempeño profesional dentro de la sociedad.

## RESUMEN

La amputación transfemoral es un procedimiento quirúrgico en el que se remueve parte o la totalidad del muslo, dejando una extremidad residual. Las personas que se someten a este tipo de amputación enfrentan desafíos significativos durante su rehabilitación y adaptación a la vida diaria, ya que deben aprender a utilizar una prótesis de extremidad inferior para recuperar su movilidad. Uno de los elementos clave en la configuración de la prótesis de rodilla es el sistema de amortiguación que permite proporcionar una absorción de impactos y una estabilidad adecuada durante el movimiento. El objetivo de esta investigación fue diseñar un prototipo de amortiguación para prótesis de rodilla, basado en una observación directa de la importancia de abordar las limitaciones que conlleva una amputación transfemoral en la vida cotidiana de una persona. Para el diseño del sistema de amortiguación, se tomaron en cuenta la configuración de diferentes dispositivos de control de prótesis de rodilla, así como los principios de diseño de amortiguadores convencionales. Se propusieron diseños basados en la estructura de la prótesis de rodilla, considerando los parámetros mecánicos generados en la articulación durante la marcha humana y el principio de amortiguación como la capacidad de un sistema para disipar energía. Posteriormente, se seleccionaron los materiales adecuados y se elaboraron planos tentativos y hojas de proceso preliminares para las piezas. De esta manera, se logró desarrollar un dispositivo amortiguador con un diseño apropiado y funcional.

**Palabras clave:** Amputación, prótesis, amortiguación.

## ABSTRACT

Transfemoral amputation is a surgical procedure in which part or all of the thigh is removed, leaving a stump. People who undergo this type of amputation face significant challenges during their rehabilitation and adaptation to daily life, since they must learn to use a lower extremity prosthesis to regain their mobility. One of the key elements in the configuration of the knee prosthesis is the cushioning system that allows to provide adequate shock absorption and stability during movement. The objective of this research was to design a cushioning prototype for a knee prosthesis, based on a direct observation of the importance of addressing the limitations of a transfemoral amputation in a person's daily life. For the design of the damping system, the configuration of different knee prosthesis control devices was taken into account, as well as the design principles of conventional dampers. Designs based on the structure of the knee prosthesis were proposed, considering the mechanical parameters generated in the joint during human gait and the damping principle as the ability of a system to dissipate energy. Subsequently, the appropriate materials were selected and tentative drawings and preliminary process sheets were prepared for the parts. In this way, it was possible to develop a damping device with a suitable and functional design.

**Keywords:** Amputation, prosthesis, damping.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN .....	17
CAPÍTULO I .....	21
1. MARCO TEÓRICO.....	21
1.1. La Rodilla.....	21
1.1.1. Articulación tibiofemoral.....	22
1.1.2. Planos y movimientos de la rodilla.....	22
1.1.3. Ejes de la rodilla.....	23
1.1.4. Cinemática .....	24
1.1.5. Rango de movimiento .....	24
1.1.6. Cinética de la rodilla .....	25
1.1.7. Marcha humana.....	26
1.1.8. Parámetros de la marcha .....	31
1.2. Amputación .....	33
1.2.1. Tipos de amputaciones.....	33
1.2.2. Niveles de amputación de miembro inferior.....	34
1.3. Prótesis .....	35
1.3.1. Prótesis transfemoral.....	35
1.3.2. Articulación de rodilla .....	36
1.3.3. Sistema de control para prótesis .....	37
CAPÍTULO II.....	41
2. MARCO METODOLÓGICO.....	41
2.1. Investigación .....	41
2.2. Parámetros de Funcionamiento .....	41
2.3. Generación de Alternativas .....	41
2.4. Análisis de Elementos Finitos .....	42
2.5. Planos Tentativos y Diagrama de Procesos.....	42
CAPÍTULO III.....	43
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	43
3.1. Proceso de Diseño .....	43
3.1.1. Parámetros de Funcionamiento.....	43
3.1.2. Parámetros de forma .....	46
3.1.3. Variables del dispositivo.....	49

3.1.4.	Alternativas de funcionamiento .....	53
3.1.5.	Alternativas de diseño.....	55
3.1.6.	Evaluación de alternativas de diseño .....	57
3.1.7.	Selección de materiales.....	61
3.2.	Diseño.....	66
3.2.1.	Sistema de Circulación del Fluido .....	66
3.2.2.	Fluido Hidráulico.....	66
3.2.3.	Conexión hidráulica.....	70
3.3.	Análisis de Fuerzas.....	74
3.3.1.	Fuerza de Restricción de Paso del Fluido.....	75
3.4.	Diseño de elementos.....	81
3.4.1.	Resorte .....	81
3.4.2.	Horquilla .....	90
3.4.3.	Bocín.....	94
3.4.4.	Cilindro .....	96
3.4.5.	Vástago .....	101
3.4.6.	Pistón.....	105
3.4.7.	Tope .....	106
3.4.8.	Tapas .....	107
	CONCLUSIONES .....	114
	RECOMENDACIONES.....	115
	REFERENCIAS.....	116
	ANEXOS .....	120
A.	ANEXO – ACEITE.....	121
B.	ANEXO – TUERCA.....	126
C.	ANEXO – PERNO ALLEN.....	127
D.	ANEXO – RASCADOR .....	128
E.	ANEXO – CONEXIONES DE COMPRESIÓN .....	130
F.	ANEXO – TUBERÍA .....	131
G.	ANEXO – VÁLVULA DE AGUJA .....	132
H.	ANEXO – CONEXIONES ROSCADAS.....	133
I.	ANEXO – O-RING.....	134
J.	ANEXO- BARRA DE ACERO.....	135
K.	ANEXO-PLANOS MECÁNICOS .....	136
L.	ANEXO- HOJAS DE PROCESOS.....	140

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Valores de ángulos y torques generados durante la marcha humana</i> .....	45
Tabla 2 <i>Parámetros mecanismo prótesis de rodilla</i> .....	46
Tabla 3 <i>Parámetros mecanismo articulación de rodilla</i> .....	47
Tabla 4 <i>Angulo de flexión de la articulación de rodilla y longitud del amortiguador</i> .....	49
Tabla 5 <i>Fuerza generada</i> .....	52
Tabla 6 <i>Matriz de decisión para el sistema de control de la marcha</i> .....	54
Tabla 7 <i>Análisis alternativas de diseño</i> .....	57
Tabla 8 <i>Descripción, función y material de las partes del dispositivo</i> .....	60
Tabla 9 <i>Requisitos iniciales bocín</i> .....	61
Tabla 10 <i>Requisitos iniciales tope</i> .....	61
Tabla 11 <i>Requisitos iniciales pistón</i> .....	62
Tabla 12 <i>Requisitos iniciales horquilla</i> .....	62
Tabla 13 <i>Requisitos iniciales vástago</i> .....	62
Tabla 14 <i>Requisitos iniciales cilindro</i> .....	63
Tabla 15 <i>Requisitos iniciales tapa superior</i> .....	63
Tabla 16 <i>Requisitos iniciales tapa inferior</i> .....	63
Tabla 17 <i>Análisis selección A</i> .....	64
Tabla 18 <i>Análisis selección B</i> .....	65
Tabla 19 <i>Análisis selección C</i> .....	65
Tabla 20 <i>Propiedades del fluido hidráulico</i> .....	67
Tabla 21 <i>Característica técnicas aceite hidráulico Fork Oil vL 2.5W</i> .....	68
Tabla 22 <i>Característica técnicas aceite hidráulico Fork Oil 2.5W</i> .....	68
Tabla 23 <i>Característica técnicas aceite Hidráulico Aeroshell Fluid 41</i> .....	69
Tabla 24 <i>Cuadro comparativo de viscosidades</i> .....	69

Tabla 25 <i>Especificaciones válvula de aguja</i> .....	71
Tabla 26 <i>Especificaciones tubería</i> .....	72
Tabla 27 <i>Parámetro funcionamiento a extensión</i> .....	75
Tabla 28 <i>Requerimientos iniciales de diseño</i> .....	82
Tabla 29 <i>Parámetros iniciales de diseño</i> .....	82
Tabla 30 <i>Parámetros finales de diseño</i> .....	87
Tabla 31 <i>Resultados resorte, máximo esfuerzo mediante el método analítico y Solidworks Simulation</i> .....	89
Tabla 32 <i>Resultados resorte, factor de seguridad mediante el método analítico y Solidworks Simulation</i> .....	90
Tabla 33 <i>Resultados horquilla, máximo esfuerzo mediante el método Solidworks Simulation</i> .....	93
Tabla 34 <i>Resultados horquilla, factor de seguridad mediante el método Solidworks Simulation</i> .....	93
Tabla 35 <i>Resultados bocín, máximo esfuerzo mediante el método analítico y Solidworks Simulation</i> .....	95
Tabla 36 <i>Resultados bocín, factor de seguridad mediante el método analítico y Solidworks Simulation</i> .....	96
Tabla 37 <i>Resultados cilindro, tensión máxima mediante el método analítico y Solidworks Simulation</i> .....	99
Tabla 38 <i>Resultados cilindro, factor de seguridad mediante el método analítico y Solidworks Simulation</i> .....	100
Tabla 39 <i>Resultados eje, tensión máxima mediante el método analítico y Solidworks Simulation</i> .....	104

Tabla 40 <i>Resultados eje, factor de seguridad mediante el método analítico y Solidworks Simulation</i> .....	104
Tabla 41 <i>Datos característicos de la ranura tapa superior</i> .....	109
Tabla 42 <i>Datos característicos de la ranura tapa superior</i> .....	109

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Descripción articular de la rodilla</i> .....	21
Figura 2 <i>Planos y ejes del cuerpo</i> .....	22
Figura 3 <i>Ejes de movimiento de la rodilla</i> .....	23
Figura 4 <i>Cinemática de la rodilla</i> .....	24
Figura 5 <i>Cinética de la rodilla. Plano sagital</i> .....	25
Figura 6 <i>Marcha Humana</i> .....	26
Figura 7 <i>Representación de los principales componentes de la marcha</i> .....	27
Figura 8 <i>Análisis de la marcha en el plano sagital: contacto inicial</i> .....	27
Figura 9 <i>Análisis de la marcha en el plano sagital: respuesta a la carga</i> .....	28
Figura 10 <i>Análisis de la marcha en el plano sagital: soporte medio</i> .....	28
Figura 11 <i>Análisis de la marcha en el plano sagital: soporte terminal</i> .....	29
Figura 12 <i>Análisis de la marcha en el plano sagital: prebalanceo</i> .....	29
Figura 13 <i>Análisis de la marcha en el plano sagital: balanceo inicial</i> .....	30
Figura 14 <i>Análisis de la marcha en el plano sagital: balanceo medio</i> .....	30
Figura 15 <i>Análisis de la marcha en el plano sagital: balanceo terminal</i> .....	31
Figura 16 <i>Longitud de paso y paso completo del ciclo de marcha normal</i> .....	32
Figura 17 <i>Trayectoria de la rodilla durante la marcha normal</i> .....	32
Figura 18 <i>Gráfica momento vs ciclo de marcha</i> .....	33
Figura 19 <i>Niveles de amputación</i> .....	34
Figura 20 <i>Amputación por encima de la rodilla</i> .....	35
Figura 21 <i>Prótesis transfemoral</i> .....	36
Figura 22 <i>Rodilla policéntrica KneeR 2000</i> .....	37
Figura 23 <i>Rodilla neumática monocéntrica con freno</i> .....	37
Figura 24 <i>Soluciones de control, regulación y bloqueo de prótesis</i> .....	38

Figura 25 Rodilla neumática monocéntrica con freno .....	39
Figura 26 Articulación de rodilla Genium.....	40
Figura 27 Trayectoria de la rodilla durante la marcha normal .....	43
Figura 28 Momento interno de la articulación .....	44
Figura 29 Diseño CAD prótesis de rodilla .....	46
Figura 30 Parámetros longitudinales .....	47
Figura 31. Mecanismo con diferentes ángulos de flexión.....	48
Figura 32 Espacio del actuador.....	49
Figura 33 Mecanismo de la prótesis de rodilla monocéntrica con parámetros asociados ....	50
Figura 34 Velocidad lineal del actuador .....	53
Figura 35 Articulación de rodilla Genium.....	54
Figura 36 Amortiguador monotubo. ....	55
Figura 37 Amortiguador interruptor selector de bloqueo. ....	56
Figura 38 Modelo C .....	56
Figura 39 Dispositivo de amortiguación partes constitutivas .....	58
Figura 40 Circulación del fluido.....	66
Figura 41 Acoplamiento superior .....	70
Figura 42 Acoplamiento .....	70
Figura 43 Válvula de aguja.....	71
Figura 44 Tubería .....	72
Figura 45 Racor .....	72
Figura 46 Tuerca.....	73
Figura 47 Anillo Bicónico .....	73
Figura 48 Anillo Bicónico .....	74
Figura 49 Representación de las fuerzas en el interior .....	74

Figura 50 <i>Desplazamiento del fluido</i> .....	76
Figura 51 <i>Análisis de trabajo del resorte</i> .....	81
Figura 52 <i>Resorte final</i> .....	87
Figura 53 <i>Disposición de cargas y sujeciones</i> .....	88
Figura 54 <i>Máximo esfuerzo resultante</i> .....	88
Figura 55 <i>Máximo esfuerzo resultante</i> .....	89
Figura 56 <i>Factor de seguridad resultante</i> .....	89
Figura 57 <i>Puntos de anclaje</i> .....	90
Figura 58 <i>Cabeza de vástago</i> .....	91
Figura 59 <i>Vista lateral cabeza de vástago tipo hembra de dos orejas</i> .....	91
Figura 60 <i>Acoplamiento superior</i> .....	92
Figura 61 <i>Fuerzas aplicadas acoplamiento superior</i> .....	92
Figura 62 <i>Maximo esfuerzo resultante</i> .....	92
Figura 63 <i>Factor de seguridad resultante</i> .....	93
Figura 64 <i>Dimensiones del bocín</i> .....	94
Figura 65 <i>Fuerzas aplicadas</i> .....	94
Figura 66 <i>Máximo esfuerzo resultante</i> .....	95
Figura 67 <i>Factor de seguridad resultante</i> .....	96
Figura 68 <i>Cilindro</i> .....	97
Figura 69 <i>Distribución de tensiones en cilindros</i> .....	97
Figura 70 <i>Tensión máxima</i> .....	99
Figura 71 <i>Factor de seguridad</i> .....	100
Figura 72 <i>Eje</i> .....	101
Figura 73 <i>Tensión máxima</i> .....	103
Figura 74 <i>Factor de seguridad</i> .....	104

Figura 75 Pistón.....	105
Figura 76 Tensión máxima.....	105
Figura 77 Factor de seguridad .....	106
Figura 78 Tope .....	106
Figura 79 Diseño de tapas propuesto .....	107
Figura 80 Descripción de ranuras para rascador y juntas tóricas .....	108
Figura 81 Diseño de ranura para o-ring .....	108
Figura 82 Dimensiones del o-ring estático 2-026.....	109
Figura 83 Dimensiones del o-ring estático AX-110.....	110
Figura 84 Presión aplicada.....	110
Figura 85 Máximo esfuerzo resultante.....	111
Figura 86 Factor de seguridad .....	111
Figura 87 Ranura en tapa inferior.....	112
Figura 88 Presión aplicada.....	112
Figura 89 Máximo esfuerzo resultante.....	113
Figura 90 Factor de seguridad .....	113

## INTRODUCCIÓN

La discapacidad es una condición que afecta a un determinado número de personas que por diversas circunstancias presenta una deficiencia física, mental, intelectual o sensorial, “se estima que más de mil millones de personas viven con algún tipo de discapacidad; es decir, alrededor del 15% de la población mundial(según las estimaciones de la población mundial en 2010)” [1], por lo que es un motivo de preocupación por su aumento de manera progresiva año tras año.

En nuestro medio según datos del Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades (CONADIS), el tipo más frecuente de discapacidad es la física con aproximadamente 215156 [2], algunas de las causas por las cuales se presenta este tipo de discapacidad son causadas por amputaciones.

Consecuentemente la pérdida de un miembro del cuerpo como es el caso de extremidades inferiores provoca un impacto profundo en el físico de la persona, una disminución en sus capacidades motoras, seguidamente si no se toma medidas adecuadas como lo es el reemplazo del miembro perdido la persona tiende a disminuir de manera significativa sus actividades cotidianas, laborales y sociales.

Los dispositivos para suplir a un miembro inferior amputado han evolucionado con el tiempo, en la actualidad son cada vez más especializados y únicos, razón por la cual es esencial realizarlos de acuerdo a necesidades funcionales y requerimientos específicos.

En este caso una parte de la prótesis de rodilla es el sistema que permite el control de la flexión como de la extensión, el mismo que logrará un adecuado funcionamiento y seguidamente la persona afectada con esta deficiencia alcanzará una aceptable motricidad lo que le permitirá realizar sus actividades de manera adecuada.

**a. Objetivos.****Objetivo general**

- Diseñar un prototipo de amortiguación para prótesis de rodilla.

**Objetivos específicos**

- Determinar la biomecánica de la rodilla.
- Diseñar los componentes mecánicos que cumplan la función de amortiguación.
- Seleccionar el material y fluido más apropiados para el desarrollo del prototipo.
- Simular el comportamiento mecánico del prototipo de amortiguador mediante software específico.
- Elaborar planos tentativos y diagramas de procesos.

**b. Justificación**

El estado ecuatoriano ha tomado especial interés en el aspecto social de la población que tiene alguna discapacidad, sus políticas van encaminadas a la reinserción de este grupo de personas a la sociedad.

Art. 47.- “El Estado garantizará políticas de prevención de las discapacidades y, de manera conjunta con la sociedad y la familia, procurará la equiparación de oportunidades para las personas con discapacidad y su integración social. (Constitución de la república del Ecuador, 2008)

En el país se demandan de prótesis, que son dispositivos requeridos por pacientes que han sufrido alguna clase de amputación de sus miembros y que pretenden suplirlo para poder realizar sus actividades como lo realizaban antes de sufrir dicha discapacidad; alrededor del mundo, empresas se han tecnificado en la realización de estos dispositivos que a su vez para nuestro medio se tornan inaccesibles por su alto costo, esto motiva y justifica que la Universidad Técnica del Norte trabaje en el desarrollo de proyectos biomecátricos que van encaminados a la ayuda social, mediante la creación de prótesis económicas que sean accesible

a las personas que han sufrido algún tipo de discapacidad y que por problemas económicos no se encuentren en la posibilidad de adquirirlos.

Desde el punto de vista tecnológico se estará cimentando las bases para el estudio, diseño y consecución de productos biomecátricos, mediante una investigación multidisciplinaria que integrara conocimientos de diferentes áreas y cuya finalidad es el desarrollo de una prótesis, que sea capaz de realizar un trabajo igual o mejor a las realizadas naturalmente por el ser humano.

Consecuentemente se estará orientando al cambio de la matriz productiva logrando generar más riqueza, a través de un desarrollo sostenible impulsando la tecnología y el conocimiento.

### **c. Alcance**

El prototipo de amortiguación se diseñará para contribuir con la consecución del desarrollo del proyecto de investigación que se realiza en la Carrera de Ingeniería en Mecatrónica como es Construir un mecanismo de articulación de rodilla para prototipo de prótesis externa biomecátrica.

Para la realización de esta investigación se realizará el análisis biomecánico del movimiento articular de la rodilla, compuesta por la articulación tibio femoral, se pondrá énfasis en el plano sagital donde se dan las mayores magnitudes de movimientos y fuerzas; el mismo que tendrá dos tipos de movimientos, flexión y extensión.

Se investigará el funcionamiento de distintos tipos de amortiguadores como dispositivos de atenuación de energía y preámbulo al análisis de funcionalidad de amortiguamientos para prótesis transfemoral, que se adapte a las necesidades requeridas, haciendo hincapié en el diseño apropiado, examinando la selección del material más adecuado y morfología de la articulación tibio-femoral.

Se dinamizará el diseño del amortiguador, realizando un estudio mediante la utilización de software específico, para generar un modelo y obtener un proceso de diseño más funcional, que permita elegir los elementos más adecuados para el dispositivo.

Con el diseño del prototipo se tendrá un preámbulo para la realización de futuras investigaciones, que permitan llevar a cabo la total realización de componentes mecatrónicos adecuados a las diferentes necesidades de las personas con alguna discapacidad física.

# CAPÍTULO I

## 1. MARCO TEÓRICO

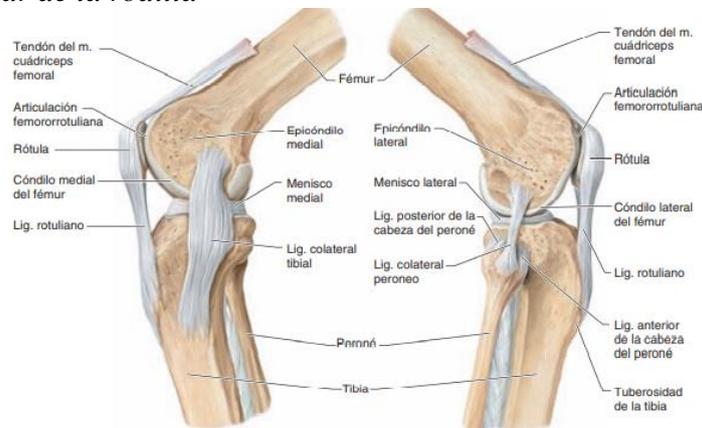
### 1.1.La Rodilla

Según Viladot [3], la rodilla es uno de los elementos “fundamentales y necesarios dentro de la cadena cinética de la extremidad inferior, para permitir al individuo realizar con normalidad actividades vitales como la marcha, la carrera, subir o bajar escaleras, arrodillarse o sentarse” [3]

La rodilla Figura 1, es la articulación más grande del cuerpo humano, está conformada por tres huesos (fémur, tibia y rótula), ligamentos, tendones, así como de músculos. Es una articulación sinovial, es decir que está envuelta en una cápsula con líquido sinovial que le ayuda a lubricarse.

#### Figura 1

*Descripción articular de la rodilla*



Fuente: Disponible en: [4]

Esta articulación soporta el peso del cuerpo, da estabilidad y movimiento. Estas funciones son posibles gracias a la interacción que existe entre ligamentos y músculos, así como por los “complejos movimientos de deslizamiento y rodamiento de las superficies articulares” [5].

Para la realización de un análisis biomecánico la articulación de rodilla se puede simplificar realizando un estudio de la articulación tibiofemoral, estudiar los movimientos en un plano como es el plano sagital y las fuerzas realizadas por dicha articulación.

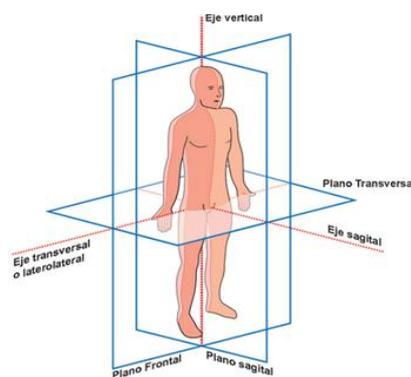
### 1.1.1. *Articulación tibiofemoral*

Según Viladot [3], la articulación tibiofemoral conocida como rodilla, es la “articulación central de los miembros inferiores” [3], está formada por la unión de los huesos fémur en su porción superior y tibia en la inferior; además cuenta con el hueso más grande sesamoideo del cuerpo denominado patella o rótula que es la encargada de articular la porción anterior e inferior del fémur.

### 1.1.2. *Planos y movimientos de la rodilla*

Para hablar de los planos y movimientos de la rodilla, es preciso conocer los planos y ejes en los que se realizan los diferentes movimientos del cuerpo. Así según la Sociedad Española de Cirugía Ortopédica y Traumatología (SECOT) [6], existen tres planos en los que por lo general se realizan los principales movimientos del cuerpo humano y tres ejes perpendiculares al plano donde ocurren los movimientos, Figura 2.

**Figura 2**  
*Planos y ejes del cuerpo*



Fuente: Disponible en: [7]

Los planos son:

- Plano sagital o anteroposterior, es un plano vertical que va desde la parte posterior a la frontal del cuerpo, fraccionándolo en mitad derecha e izquierda.

- Plano frontal o coronal, es un plano vertical que va de derecha a izquierda, fracciona al cuerpo en dos mitades: anterior y posterior.
- Plano horizontal o transversal, fracciona al cuerpo en la mitad superior e inferior.

Los ejes son:

- Eje sagital, está formado por la intersección del plano sagital con el plano horizontal, pasa de forma horizontal desde la mitad posterior a la anterior del cuerpo.
- Eje frontal, formado por la intersección de los planos: frontales y horizontal, pasa de forma horizontal de izquierda a derecha.
- Eje longitudinal o vertical, formado por la intersección entre los planos sagital y frontal, pasa de forma vertical de la mitad inferior a la superior del cuerpo.

### 1.1.3. Ejes de la rodilla

Son líneas imaginarias que se utilizan para la descripción de la orientación de la rodilla. Según Alter [8], los movimientos de flexión y extensión que realiza la rodilla se producen sobre su eje transversal en el plano sagital. Visto desde el plano frontal el eje transversal cruza los cóndilos femorales de forma horizontal. “Este eje al ser horizontal, forma un ángulo de  $81^\circ$  con el fémur y de  $93^\circ$  con la pierna” [8]. Por ello cuando la rodilla está totalmente flexionada, el eje de la pierna no se ubica puntualmente atrás del eje del fémur.

### Figura 3

*Ejes de movimiento de la rodilla*



Fuente: Disponible en: [9]

#### 1.1.4. Cinemática

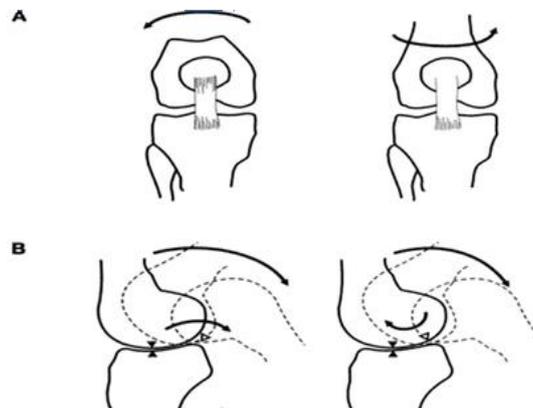
Según Nordin (2004), “la cinemática define el rango de movimiento y describe el movimiento de superficie de una articulación en tres planos: frontal (coronal o longitudinal), sagital y transversal (horizontal)”.

En la rodilla el mayor rango de movimiento se da en el plano sagital; en la articulación tibiofemoral se describe de manera adecuada este movimiento articular.

#### 1.1.5. Rango de movimiento

Según Viladot [3], la rodilla cuenta con: “una movilidad en los tres planos del espacio: sagital, frontal y horizontal. El arco de mayor amplitud es el de flexoextensión que se produce en el plano sagital. La flexión activa llega a los  $140^\circ$ , la pasiva a los  $160^\circ$  y la hiperextensión a  $15^\circ$ . Este movimiento de flexoextensión no es un movimiento simple como el de una bisagra, sino que se acompaña de rotación automática y de un deslizamiento del fémur sobre la tibia” [3], Figura 4.

**Figura 4**  
*Cinemática de la rodilla*



*Nota:* En la figura literal a se describe el movimiento de rotación automática y en el literal b el movimiento de deslizamiento Disponible en: [3].

- En extensión, la rodilla está estabilizada por el autoatornillamiento, el enrosque y tensión de los ligamentos cruzados, por la tensión de las estructuras laterales y posteriores y por la acción del cuádriceps.

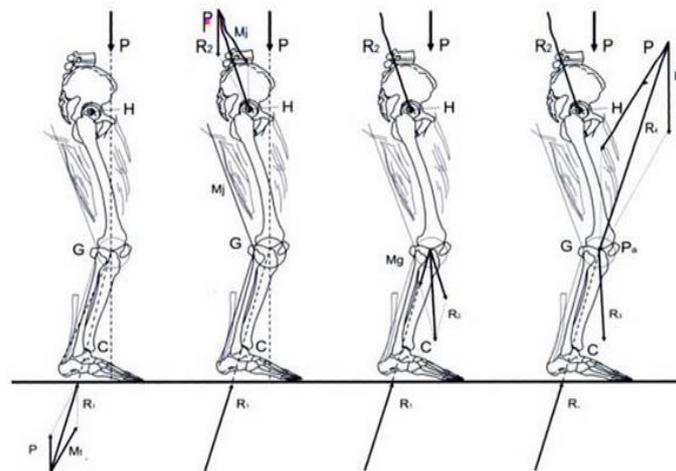
- La flexión-rotación interna-varo está limitada por el complejo ligamentoso externo, por el progresivo autoenrollamiento de los ligamentos cruzados y por el bíceps.
- La flexión-rotación externa-valgo está controlada por el complejo ligamentoso interno y por los músculos de la pata de ganso y el semimembranoso [3].

### 1.1.6. Cinética de la rodilla

Es una parte de la biomecánica, se estudia las fuerzas que provocan movimiento o mantienen el equilibrio. En actividades locomotoras como caminar, correr, saltar y realizar actividades deportivas, se generan estas fuerzas en los tejidos, músculos, tendones, ligamentos y las estructuras articulares, dichas fuerzas pueden cambiar en diferentes situaciones, como la aceleración, la desaceleración, la flexión, la extensión y la rotación de la rodilla.

En la Figura 5, se observa la extremidad inferior que se encuentra en una posición de ligera flexión, “la suma de todas estas fuerzas se representa de manera esquemática por el vector  $R_4$ . En el genu flexo,  $R_4$  aumenta la intensidad y se incrementa la fuerza del fémur sobre la tibia. Al mismo tiempo las superficies óseas en contacto disminuyen y se hacen posteriores. Todo ello provocará una sobrecarga articular en este segmento posterior.” [3]

**Figura 5**  
*Cinética de la rodilla. Plano sagital*

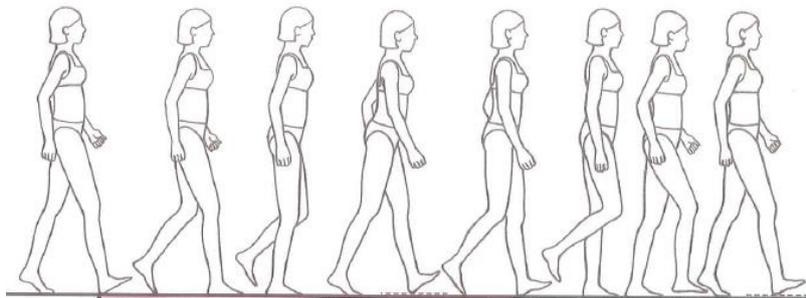


Fuente: Disponible en: [3]

### 1.1.7. *Marcha humana*

“La locomoción bípeda, o marcha, es una tarea funcional que requiere interacciones complejas y coordinadas entre la mayoría de las grandes articulaciones del cuerpo, particularmente de las extremidades inferiores” [10], en la Figura 6, se observa la interacción de movimientos que se realiza al momento de la marcha humana, varía de una persona a otra y se la describe en términos de periodos y fases.

**Figura 6**  
*Marcha Humana*



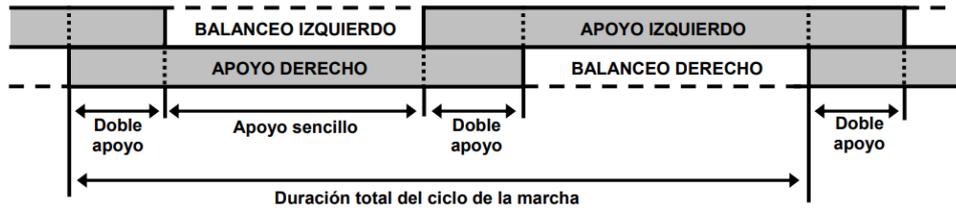
Fuente: Disponible en: [11]

**Ciclo de la Marcha Normal.** La marcha, como actividad rítmica y cíclica que compromete todo el cuerpo y, en especial las dos extremidades inferiores, comprende un inicio y un final para cada ciclo. En este sentido un ciclo de marcha se define como el periodo en el que se presentan acciones sucesivas, alternas y uniformes [12].

El ciclo de la marcha se divide en dos componentes: “la fase de apoyo y la fase de balanceo. Una pierna está en fase de apoyo cuando está en contacto con el suelo y después está en fase de balanceo cuando no contacta con el suelo” [13]. En el ciclo de la marcha normal estas dos fases se alternan, de una pierna a otra y está definida por la ejecución secuencial de una fase de apoyo y una fase de balanceo Figura 7.

Según el Instituto de Biomecánica de Valencia [14], la velocidad normal del ciclo de la marcha es de “100 a 115 pasos por minuto. La fase de apoyo representa el 60% del ciclo, la de balanceo el 40% y el doble apoyo el 20%”.

**Figura 7**  
*Representación de los principales componentes de la marcha*



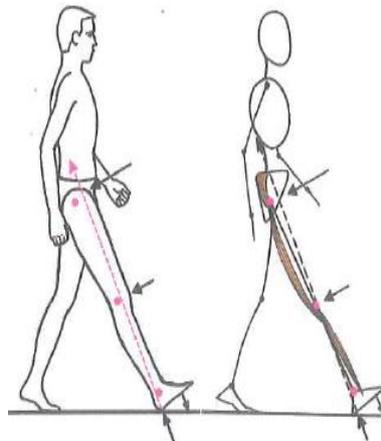
Fuente: Disponible en: [13]

### Descripción de fases del ciclo de marcha.

#### a. Fase de soporte

Contacto inicial. Es el instante en el cual el pie que se adelanta hace contacto con el piso Figura 8; de este modo, la extremidad cierra la cadena cinemática, pues el pie constituye el punto fijo de soporte para que el resto del cuerpo comience a desplazarse hacia delante. Se la considera la fase para registrar el inicio y culminación de un ciclo de marcha.

**Figura 8**  
*Análisis de la marcha en el plano sagital: contacto inicial*

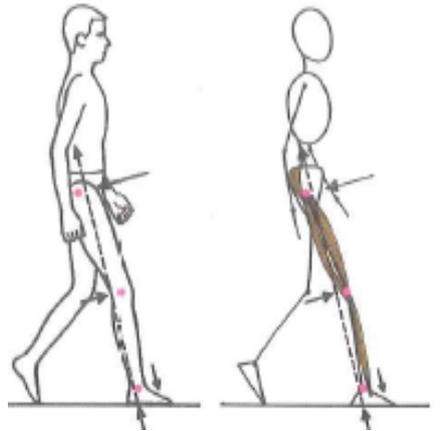


Fuente: Disponible en: [15]

Respuesta a la carga. Es el intervalo en el que el pie hace contacto con el piso y el peso corporal es soportado totalmente por esta extremidad Figura 9. Representa cerca del 10% inicial del ciclo de la marcha y durante su desarrollo se presenta el primer doble soporte.

**Figura 9**

*Análisis de la marcha en el plano sagital: respuesta a la carga*

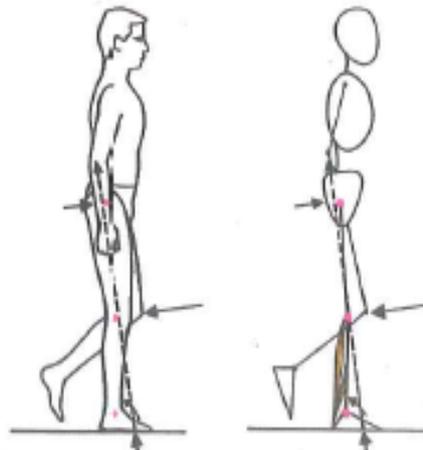


Fuente: Disponible en: [15]

Soporte medio. Se inicia cuando la extremidad contralateral pierde contacto con el piso y el peso del cuerpo se transfiere a lo largo del pie hasta que se alinea con la cabeza de los metatarsianos (antepié) Figura 10.

**Figura 10**

*Análisis de la marcha en el plano sagital: soporte medio*

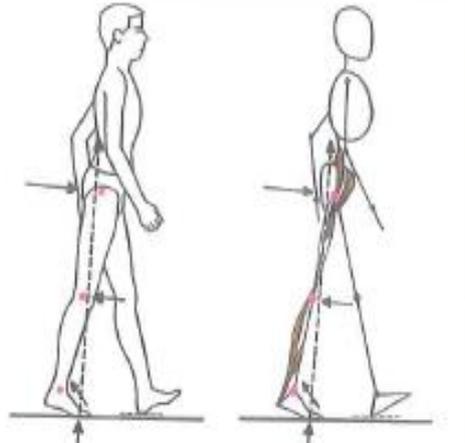


Fuente: Disponible en [15]

Soporte terminal. Una vez el peso corporal se encuentra alineado con la cabeza de los metatarsianos, el talón se levanta para desplazar el peso hacia los dedos y transferir la carga al pie contralateral, el cual, entra en contacto con el piso, Figura 11.

**Figura 11**

*Análisis de la marcha en el plano sagital: soporte terminal.*

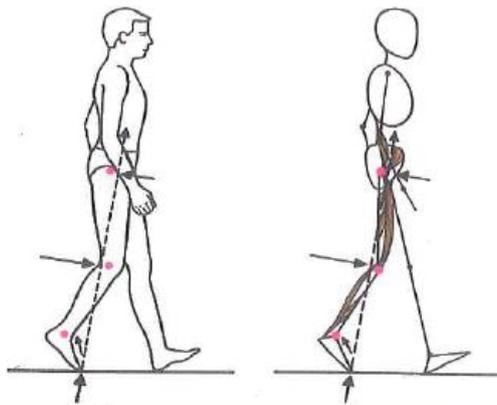


Fuente: Disponible en [15]

Prebalanceo. Es la fase de transición entre el periodo de soporte y el periodo de balanceo. Se inicia cuando el pie contralateral entra en contacto el piso y termina cuando el pie ipsilateral (dedos) despegar del piso Figura 12. Durante el prebalanceo, el peso corporal es transferido totalmente de una extremidad a la otra.

**Figura 12**

*Análisis de la marcha en el plano sagital: prebalanceo*



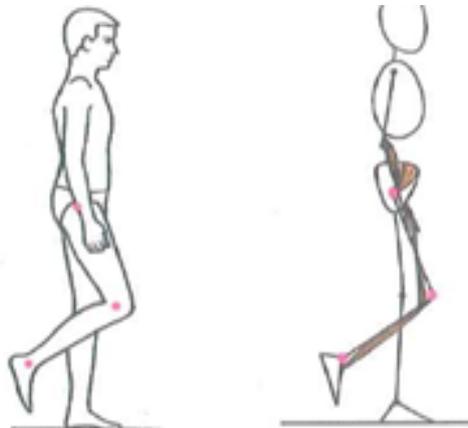
Fuente: Disponible en: [15]

b. Fase de balanceo

Balanceo inicial. Comienza cuando los dedos del pie abandonan el piso y termina cuando la rodilla alcanza la flexión máxima durante la marcha (60°) Figura 13.

**Figura 13**

*Análisis de la marcha en el plano sagital: balanceo inicial*

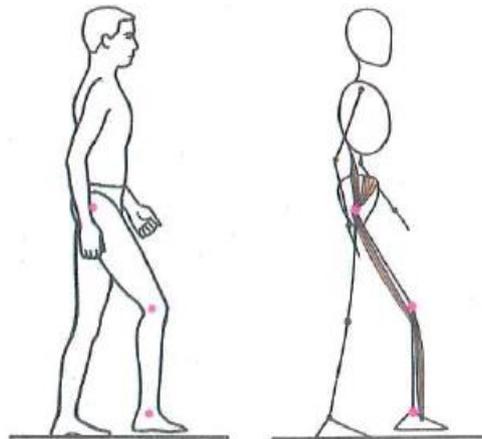


Fuente: Disponible en: [15]

Balanceo medio. Se inicia con la flexión máxima de la rodilla y culmina cuando la tibia se dispone en posición perpendicular con el piso, es decir, se orienta verticalmente, Figura 14.

**Figura 14**

*Análisis de la marcha en el plano sagital: balanceo medio*

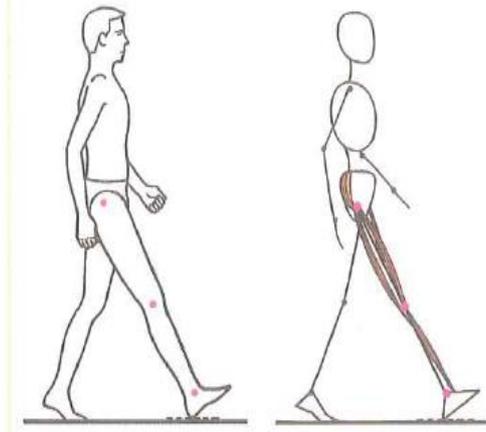


Fuente: Disponible en: [15]

Balanceo terminal. Se inicia en la posición vertical de la tibia, continúa a medida que la rodilla se extiende completamente y termina cuando el talón hace contacto con el piso (contacto inicial), Figura 15.

**Figura 15**

*Análisis de la marcha en el plano sagital: balanceo terminal*



Fuente: Disponible en: [15]

### **1.1.8. Parámetros de la marcha**

#### **Parámetros temporales**

- Periodo de paso. Hace referencia al tiempo que transcurre entre el contacto inicial del pie derecho y el contacto inicial del pie izquierdo.
- Frecuencia o cadencia. Se refiere al número de pasos por unidad de tiempo.
- Velocidad. “Es la relación de la distancia recorrida en la dirección de la marcha por unidad de tiempo (velocidad=distancia/tiempo), se expresa en m/s. Constituye una variable que indica la habilidad para caminar” [15].

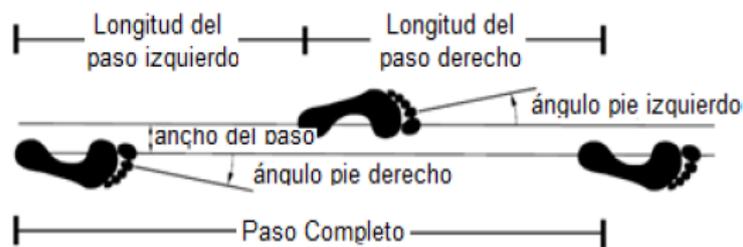
#### **Parámetros espaciales**

- Longitud de paso largo o zancada. Hace referencia a la distancia lineal cuando se realizan dos pasos, es decir dos eventos iguales y sucesivos de la misma extremidad, Figura 16.
- Longitud de paso. Distancia lineal tomada entre el evento que se da en una extremidad por ejemplo el contacto inicia. en el pie derecho y el mismo evento en la otra extremidad, Figura 16.

- Ancho de paso. “Está dado por la distancia lineal en centímetros entre dos puntos iguales de los pies (por ejemplo; los talones)” [12], Figura 16.
- Angulo de paso. “Se refiere a la orientación del pie durante el apoyo. El eje longitudinal de cada pie forma un ángulo con la línea de progresión (línea de dirección de la marcha); normalmente esta entre los 5° y los 8°”. [12], Figura 16.

**Figura 16**

*Longitud de paso y paso completo del ciclo de marcha normal*



Fuente: Disponible en [16]

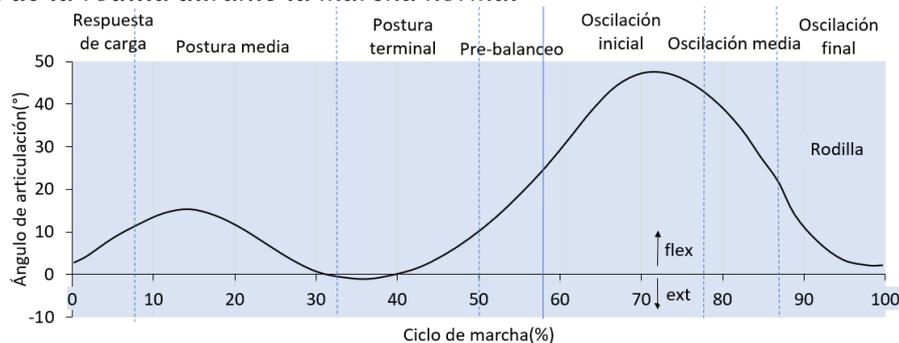
### **Amplitud de movimiento y momentos generados**

En el ciclo de marcha normal se generan desplazamientos articulares angulares los mismos que se dan alrededor del eje de la articulación en el plano sagital; en la Figura 17 observamos los desplazamientos angulares en función del ciclo de marcha.

En la parte inicial de la marcha como lo es el contacto inicial la rodilla se encuentra casi totalmente extendida, seguidamente la rodilla alcanza su máxima flexión en la fase de soporte para luego extenderse completamente y proceder a flexionarse hasta el máximo pico durante la marcha esto se da en la fase de balanceo.

**Figura 17**

*Trayectoria de la rodilla durante la marcha normal*



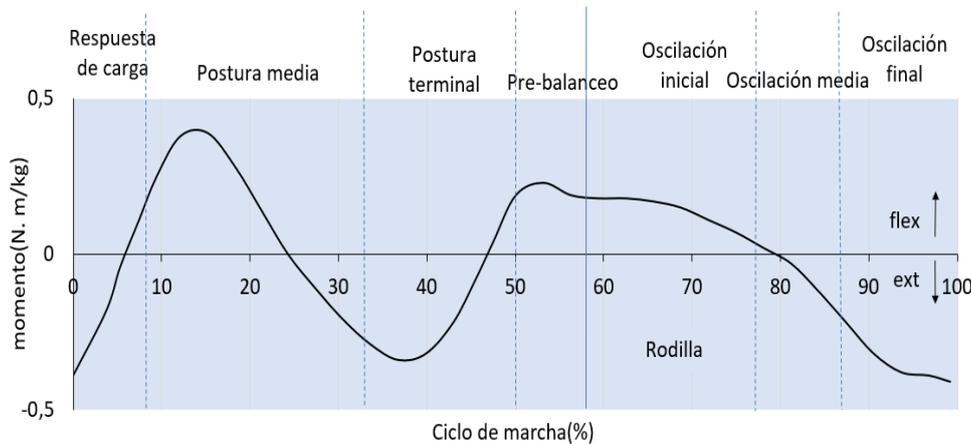
Fuente: Disponible en: [17]

En la Figura 18, observamos la gráfica momento Vs ciclo de marcha, los momentos están expresados en  $N \frac{m}{kg}$  de peso corporal.

El efecto de los momentos es causar una tendencia para la rotación articular,...el termino momento se referirá al momento interno generado sobre la articulación en cuestión. Un momento extensor en la rodilla, por ejemplo, se refiere al momento de fuerza interno que tiende a rotar la articulación de la rodilla en la dirección de la extensión. [10]

**Figura 18**

*Gráfica momento vs ciclo de marcha*



Fuente: Disponible en:[17]

## 1.2.Amputación

“La palabra amputación se deriva del latín, amputare, que quiere decir cortar y separar enteramente del cuerpo un miembro o una porción de él” [18], también específicamente se la considera un acto quirúrgico mediante el cual se genera un cambio físico irreversible en la persona.

El nivel al que se realiza es determinante en las competencias futuras del paciente, siendo de peor pronóstico funcional el hecho de tener una amputación más proximal [19]

### 1.2.1. Tipos de amputaciones

Entre las amputaciones del miembro superior están, amputación de la Mano, Amputación por debajo del Codo y Amputación por encima del Codo. En las Amputaciones

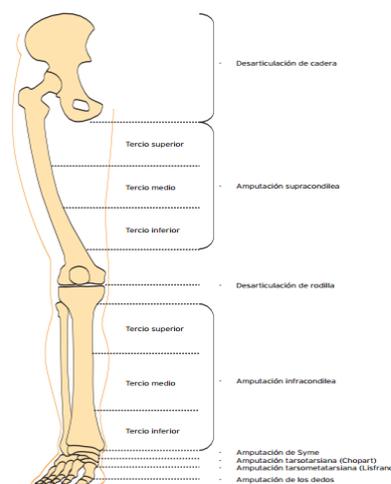
de Miembro Inferior distinguiremos, las Femorales o amputación a la Altura del Fémur, Desarticulación de Rodilla, Trans tibial, y de Sym. [20]

Además de estas amputaciones también están las amputaciones Digitales, de orejas, Nariz, pene, testículos, mamas y demás partes del cuerpo, para estas amputaciones también existen prótesis funcionales y estéticas que simulan a la perfección las partes amputadas del cuerpo. [20]

### 1.2.2. Niveles de amputación de miembro inferior

Las amputaciones del miembro inferior requieren de una técnica compleja y depurada a fin de minimizar los riesgos de fallo, por un lado, y garantizar una adecuada rehabilitación, por el otro. [21]. A lo largo del miembro inferior se puede dar una serie de amputaciones que se dan por las causas antes mencionadas, como se puede observar en la Figura 19.

**Figura 19**  
*Niveles de amputación.*



Fuente: Disponible en: [22]

Los diferentes niveles de amputación que se dan a lo largo de la extremidad inferior, dan la referencia para el tipo de prótesis que se puede adaptar al individuo.

**Amputación Transfemoral.** La amputación transfemoral, Figura 20, se define como la separación por medio de procedimientos quirúrgicos de la pierna por encima de la rodilla,

en este tipo de amputación el corte del miembro se puede dar a diversas alturas, dependiendo del padecimiento del paciente, las más comunes son:

- Tercio inferior
- Tercio medio
- Tercio superior

La extremidad inferior es la encargada de brindar soporte al cuerpo, la bipedestación y la locomoción; al momento de la amputación se trata de que el muñón sea lo más largo para poseer más facilidades para controlar una prótesis.

### **Figura 20**

*Amputación por encima de la rodilla*



Fuente: Disponible en: [22]

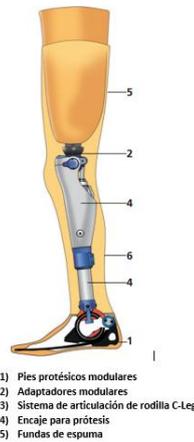
## **1.3. Prótesis**

Es un dispositivo el mismo que reemplaza a una parte del cuerpo de las personas que han sufrido una amputación, se ajusta específicamente a las necesidades del paciente con el objetivo de dar en lo posible la misma función del miembro perdido.

### **1.3.1. Prótesis transfemoral**

Se definen como prótesis transfemoral a los dispositivos dedicados a suplir los miembros inferiores con una amputación transfemoral, están constituidas por diferentes partes entre las cuales podemos observar en la Figura 21.

**Figura 21**  
*Prótesis transfemoral*



Fuente: Disponible en: [23]

### 1.3.2. *Articulación de rodilla*

La rodilla es el elemento más crítico para la estabilidad del paciente y este componente posee los requerimientos más complejos en términos de rendimiento para lograr una marcha normal. [24]”

Es preciso resaltar que las rodillas protésicas han evolucionado, han pasado del simple péndulo que las caracterizaba en el siglo XVII, a las rodillas reguladas por muelles y elásticos o elementos hidráulicos o neumáticos. Si bien en la actualidad existen prótesis que cuentan con control muy avanzado del movimiento que está regulado por microprocesadores, aún no existe una prótesis que permita a las personas flexionar la pierna e incorporarse.

Los amputados que requieren este tipo de prótesis pueden elegir en el mercado en más de 100 mecanismos de rodilla diferentes, estas se pueden clasificar según dos diseños: diseño policéntrico y diseño monocéntrico.

**Rodillas Policéntricas.** Son rodillas con ejes de rotación múltiples, estables durante la fase de apoyo además de fáciles de flexionar, dispone de un sencillo control de oscilación mecánico, sin embargo, alguna incorpora un control de oscilación por medio de fluidos (neumático o hidráulico) lo que permite velocidades variables al andar. En la Figura 22,

podemos observar el modelo de prótesis policéntrica de la empresa Ossur el cual dispone de un ajuste de rotación a través de 3 fases (válvulas) sistema hidráulico.

**Figura 22**

*Rodilla policéntrica KneeR 2000*



Fuente: Disponible en: [25]

**Rodilla Monocéntrica.** En la Figura 23, se observa el diseño de una prótesis de rodilla monocéntrica, su configuración se asemeja a una bisagra simple, la flexo-extensión de la rodilla se realiza en un solo eje, suelen tener incorporado un sistema de control de movimiento lo que permite un control efectivo durante el movimiento de flexo extensión.

**Figura 23**

*Rodilla neumática monocéntrica con freno*



Fuente: Disponible en: [26]

**1.3.3. Sistema de control para prótesis**

Según el trabajo realizado por [27] el primer problema más abordado es “el control de la prótesis, es decir, otorgar al paciente más capacidad para realizar con mayor libertad los movimientos que se podrían realizar con una rodilla común, y a su vez ofrecerle los medios

necesarios para que este pueda controlar la prótesis y sea capaz de tener consciencia de los movimientos que se va a realizar, adaptándose de una forma u otra a su manera de caminar”.

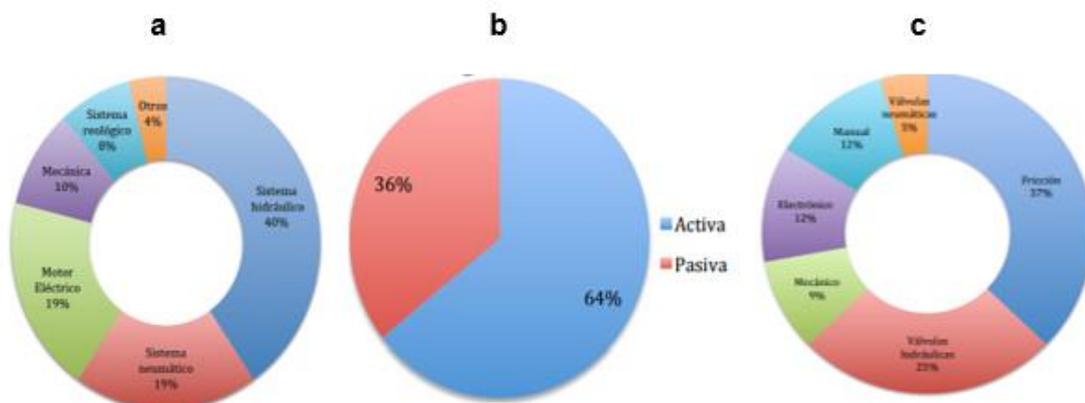
Dentro del problema del control de la prótesis se encuentra varios sub problemas los cuales son:

- La regulación permite el ajuste de la marcha, lo que conlleva a que el usuario protetizado pueda variar la cadencia con lo cual evitara que la pierna sana pueda verse afectada durante la marcha.
- El bloqueo en donde la estructura de prótesis de rodilla se asemeja a una bisagra simple, al momento de la marcha humana se requiere que esta no se doble sin motivo aparente y que resista el peso de la persona protetizada.

En la Figura 24, se puede observar el trabajo realizado por [27], donde se da a conocer los sistemas más empleados para el sistema de control de marcha, para el control de la marcha un alto porcentaje se lo realiza por medio de sistemas hidráulicos, el mayor porcentaje respecto a las soluciones de regulación lo realizan las prótesis de rodilla activas y finalmente para solventar el bloqueo de la prótesis la segunda opción más común se basa en válvulas hidráulicas.

### Figura 24

*Soluciones de control, regulación y bloqueo de prótesis*



*Nota:* a) Soluciones para control de la marcha b) soluciones de regulación c) soluciones de bloqueo de la prótesis. Fuente: Disponible en: [27]

**Sistema Neumático.** Consta de un cilindro que tiene como medio de trabajo el aire, cuando la rodilla se flexiona se acumula la energía y cuando se extiende la rodilla se libera dicha energía. “El control neumático comprime el aire cuando la rodilla está flexionada, acumulando energía, y restituye la fuerza cuando la rodilla inicia la fase de extensión. El control del modo de andar puede mejorar con la incorporación de un muelle espiral.” [28, p. 15].

En la Figura 25, observamos un modelo de prótesis de rodilla neumática 6h24, “está indicada para pacientes que presentan amputación transfemoral unilateral o bilateral, recomendada para pacientes del 2º y 3º grupo de actividad, asegurando una fijación estable en la fase de apoyo. Diseñado con amortiguador neumático ajustable en sus fases de extensión y flexión que permite controlar la rodilla en la fase de oscilación y garantizar su adaptación cuando cambia la velocidad de la marcha” [26]

**Figura 25**

*Rodilla neumática monocéntrica con freno*



Fuente: Disponible en: [26]

**Sistema Hidráulico.** El control basa su funcionamiento en la dinámica de fluidos, las prótesis de rodilla utilizan control compuesto por un conjunto cilindro-pistón el cual es similar al de un amortiguador de auto; además incorporan un tipo de resistencia a la flexión y extensión, su ajuste adecúa la rodilla a las velocidades que se adapten mejor a la persona protetizada.

Un ejemplo de prótesis por control de fluido hidráulico es el modelo Genium de la empresa Otto Bock Figura 26, la misma es una prótesis transfemoral constituida por una rodilla hidráulica, el sistema de control está compuesto por un cilindro hidráulico que conjuntamente con un sistema de válvulas que son controladas por servomotores se puede controlar la resistencia a la flexión y extensión de la articulación.

**Figura 26**  
*Articulación de rodilla Genium*



Fuente: Disponible en: [29]

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

#### 2.1. Investigación

Para la realización del presente trabajo se comenzó con la investigación de la marcha humana, existen numerosos estudios en los cuales se definen los parámetros clave en este proceso como el momento que se genera en la articulación de la rodilla y el ángulo de flexo-extensión, los mismos que están presentes a lo largo del ciclo de la marcha humana.

Posteriormente, se llevó a cabo el estudio del funcionamiento básico de amortiguadores convencionales los cuales proporcionan una pauta inicial para su diseño; así mismo se realizó la investigación de dispositivos de amortiguación para prótesis de rodilla existentes en el mercado.

#### 2.2. Parámetros de Funcionamiento

Se procedió con la obtención de los parámetros a los cuales estaría sujeto el dispositivo de amortiguación que se establecieron en concordancia con la investigación MECANISMO DE ARTICULACIÓN DE RODILLA PARA PROTOTIPO DE PRÓTESIS EXTERNA BIOMEATRÓNICA, desarrollada en la Universidad Técnica del Norte en la carrera de Ingeniería en Mecatrónica y con el estudio realizado en referencia [17] el cual aborda el ciclo de marcha humana.

#### 2.3. Generación de Alternativas

Se llevó a cabo una exhaustiva investigación y análisis de diversos amortiguadores convencionales, proceso que culminó en la elaboración de varios bosquejos tentativos que se ajustan a los parámetros de funcionamiento requeridos; a partir de estos bosquejos se realiza la elección de la mejor alternativa.

Posteriormente, avanzamos en la selección de las partes y materiales necesarios para llevar a cabo el diseño a detalle en software específico, durante este proceso, consideramos las características técnicas y la disponibilidad de los materiales.

#### **2.4. Análisis de Elementos Finitos**

Se procede con el análisis de las fuerzas involucradas durante el funcionamiento del dispositivo, lo que proporciona los parámetros clave en el estudio de esfuerzos y deformaciones. Estos análisis se los lleva a cabo utilizando el método de elementos finitos mediante software CAD; esto nos permitirá obtener un diseño funcional, verificar el ensamblaje y resistencia de las partes constitutivas de dispositivo.

#### **2.5. Planos Tentativos y Diagrama de Procesos**

Con base en los bosquejos de las partes generados previamente, se desarrolla los planos tentativos de cada componente del dispositivo, estos planos contienen las especificaciones técnicas, dimensiones y detalles necesarios para la fabricación de las partes. Para su realización, se utilizan herramientas de diseño asistido por computadora (CAD) que permite crear planos en formato digital, lo que resulta en una mayor precisión, facilidad de modificación y actualización de los diseños de manera eficiente.

Finalmente se elaboran los diagramas de procesos que describen de manera sistemática los pasos requeridos para la fabricación de cada componente. Estos diagramas muestran las secuencias de trabajo y las operaciones de mecanizado, procesos relevantes para planificar el flujo de trabajo, asignar tareas a los miembros del equipo y establecer tiempos estimados para la finalización de cada parte del dispositivo.

## CAPÍTULO III

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Proceso de Diseño

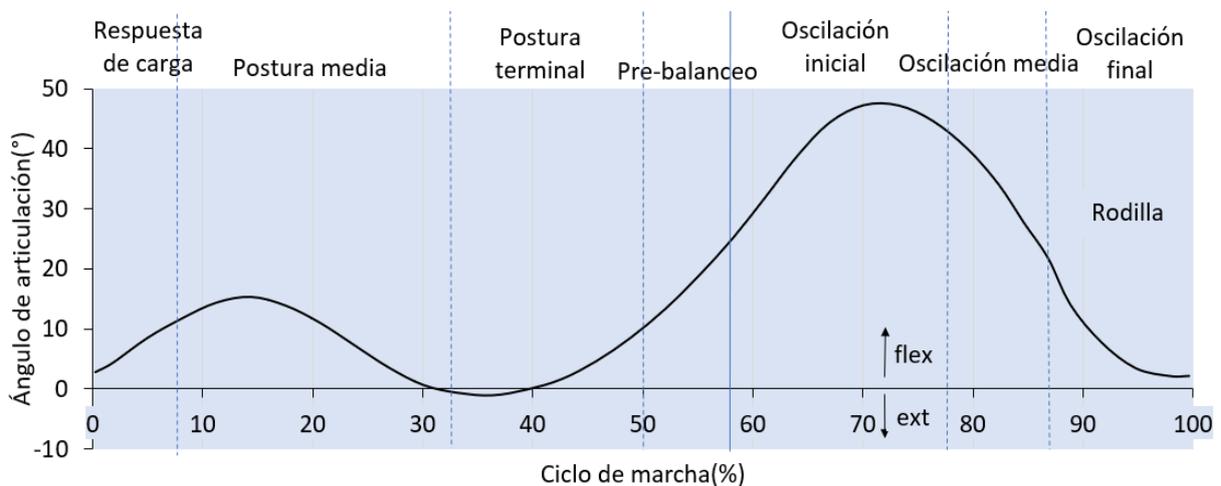
El diseño del sistema de amortiguación comprende varios aspectos como son los parámetros de funcionamiento que están definidos por las características que se dan durante el ciclo de marcha humana, los parámetros de forma es decir la estructura del dispositivo estará sujeta a condiciones de diseño de la prótesis de rodilla y las variables que definen al dispositivo de amortiguación; mediante la conjunción de estos aspectos se tendrá la pauta para proceder al diseño y selección de los elementos que constituyen el dispositivo de amortiguación.

##### 3.1.1. Parámetros de Funcionamiento

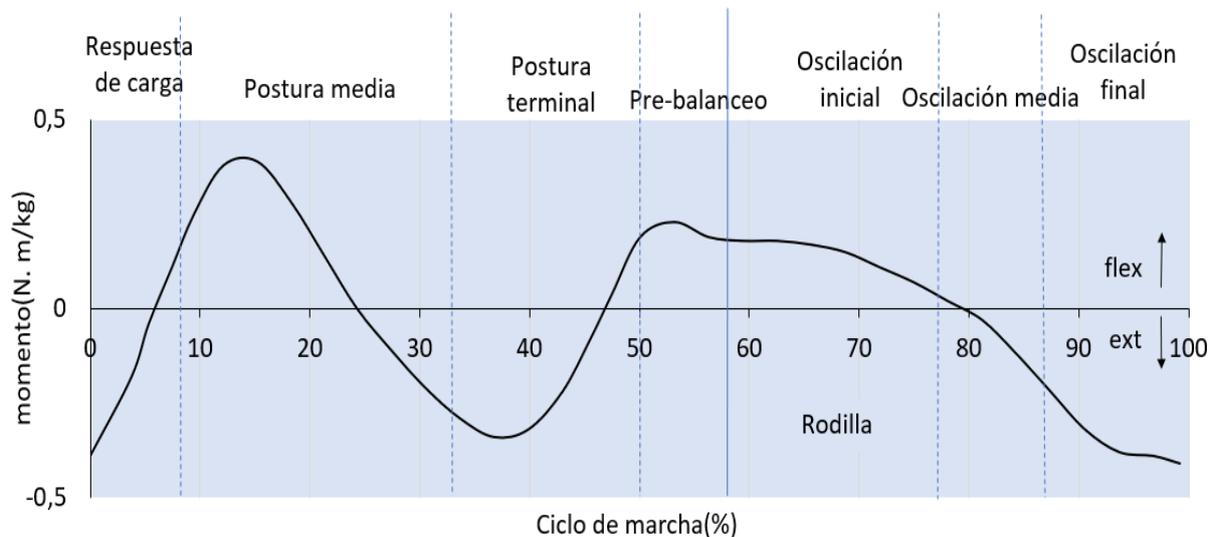
El funcionamiento del dispositivo de amortiguación está enmarcado en el desarrollo de la marcha humana que está definida por la fase de soporte y fase de balanceo, durante estas fases se da el movimiento tanto de flexión como extensión de la rodilla y además se generan momentos internos que están asociados a determinados ángulos de flexo-extensión.

#### Figura 27

Trayectoria de la rodilla durante la marcha normal



Fuente: Disponible en: [17]

**Figura 28***Momento interno de la articulación*

Fuente: Disponible en: [17]

En la Figura 27, se observa la variación del ángulo que adquiere la rodilla durante el ciclo de marcha normal, de la misma se ha tomado una serie de datos del ángulo en función del porcentaje de ciclo de marcha y en la Figura 28 se puede apreciar el momento interno de la articulación, de manera similar se ha tomado una serie de datos del momento generado en la rodilla en función del porcentaje del ciclo de marcha.

Para realizar esta recopilación de datos se apoyó de software de ingeniería, que permite capturar un gráfico para posteriormente digitalizar y finalmente obtener una serie de datos los cuales servirán para los posteriores cálculos.

En la Tabla 1, se encuentran los datos del porcentaje del ciclo de marcha, su correspondiente ángulo que se genera en la rodilla, el respectivo torque y referenciado a la etapa del ciclo de marcha; cabe indicar que el máximo torque que se da en la articulación de rodilla es de 0,4242 N\*m/kg y corresponde a la fase de apoyo medio donde la articulación está soportando todo el peso del cuerpo.

**Tabla 1***Valores de ángulos y torques generados durante la marcha humana*

%	Ángulo (°)	Torque (Nm/Kg)	Referencia
0	2,54	-0,3989	0°
7,288	11,27	0,1218	Final Respuesta a la Carga
9,83	13,31	0,2963	10 °
14,673	15,45	0,408	Máximo Torque Fase Soporte
13,799	15,44	0,4242	Máximo Angulo Fase Soporte
19,79	11,65	0,2113	20 °
29,898	0,38	-0,2065	30 °
32,4	-0,87	-0,2813	Final Contacto Inicial
35,577	-1,45	-0,348	Mínimo Angulo Fase Soporte
37,855	-1,1	-0,3605	Máximo Torque Soporte Medio
39,898	-0,3	-0,3275	40 °
49,995	9,72	0,1994	50 °
52,355	13,75	0,2543	Máximo Torque Pre-Balanceo
57,006	22,58	0,1873	Inicio Balanceo
60,02	29,4	0,1858	60 °
70	47,87	0,14	70 °
71,697	48,05	0,1153	Máxima Flexión
77,117	44,14	0,0511	Inicio Balanceo Medio
80,01	39,36	-0,0015	80 °
86,042	23,05	-0,1734	Inicio Balanceo Final
90,193	11,02	-0,3089	90 °
100,000	2,54	-0,3989	Contacto Inicial

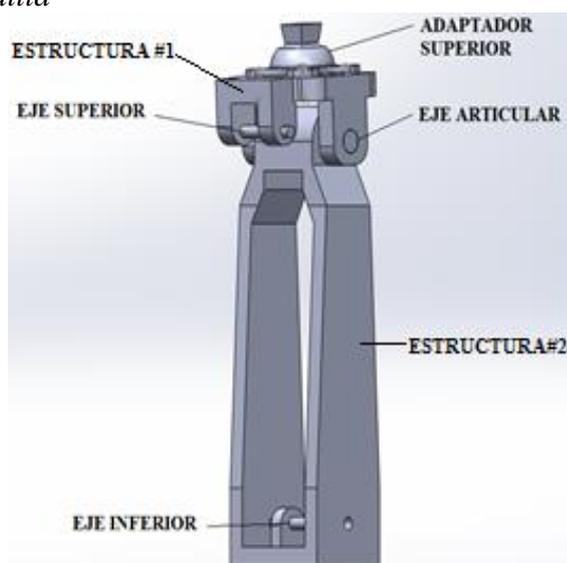
*Nota.* Datos obtenidos de las Figuras 36 y 37, dichos ciclos ilustrados son tomadas de una sola caminata realizada por una mujer normal de 22 años, con un peso de 540 N (55 kgf, 121 lbf), caminando descalza con un tiempo de ciclo de 0.88 s (cadencia de 136 pasos/min), una longitud de zancada de 1.50 m y una velocidad de 1.70 m/s.

### 3.1.2. *Parámetros de forma*

El mecanismo de articulación de rodilla es un componente que sustituye a la articulación de rodilla, su diseño determina las características del dispositivo de amortiguación. Para lograr un acoplamiento adecuado, una transmisión eficiente de fuerzas y movimientos entre los componentes, es necesario analizar los parámetros de forma que describen las características geométricas de la articulación.

**Mecanismo de Articulación de Rodilla.** Las partes constitutivas de la articulación de rodilla se las puede observar en la Figura 29, mientras en la Tabla 2 se describen los parámetros generales.

**Figura 29**  
*Diseño CAD prótesis de rodilla*



Fuente: Disponible en: [30]

**Tabla 2**

*Parámetros mecanismo prótesis de rodilla*

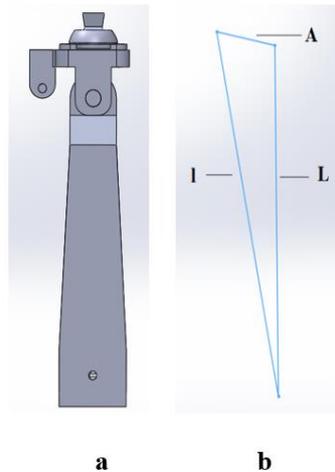
Variable	Descripción	Observación
Tipo de rodilla	Mono céntrica	Un solo eje de rotación
Grado de amputación	Transfemorales	Por encima de la rodilla
Grado de movilidad	1	Desplazamiento en superficies planas a baja velocidad

*Nota.* Fuente: Autor

**Geometría del Mecanismo.** El mecanismo de articulación de rodilla es un mecanismo similar al de una bisagra simple la cual pivota por medio de su eje articular, dada su determinada configuración forma un triángulo obtuso; en la Figura 30 a) se observa la vista lateral de la prótesis de rodilla y en la Figura 30 b) una aproximación geométrica del mecanismo.

**Figura 30**

*Parámetros longitudinales*



*Nota:* a) Prótesis de rodilla; b) aproximación geométrica. Fuente: Disponible en: [30]

En la Tabla 3, se encuentra especificado los parámetros longitudinales observados en la aproximación geométrica del mecanismo de la Figura 39 b).

**Tabla 3**

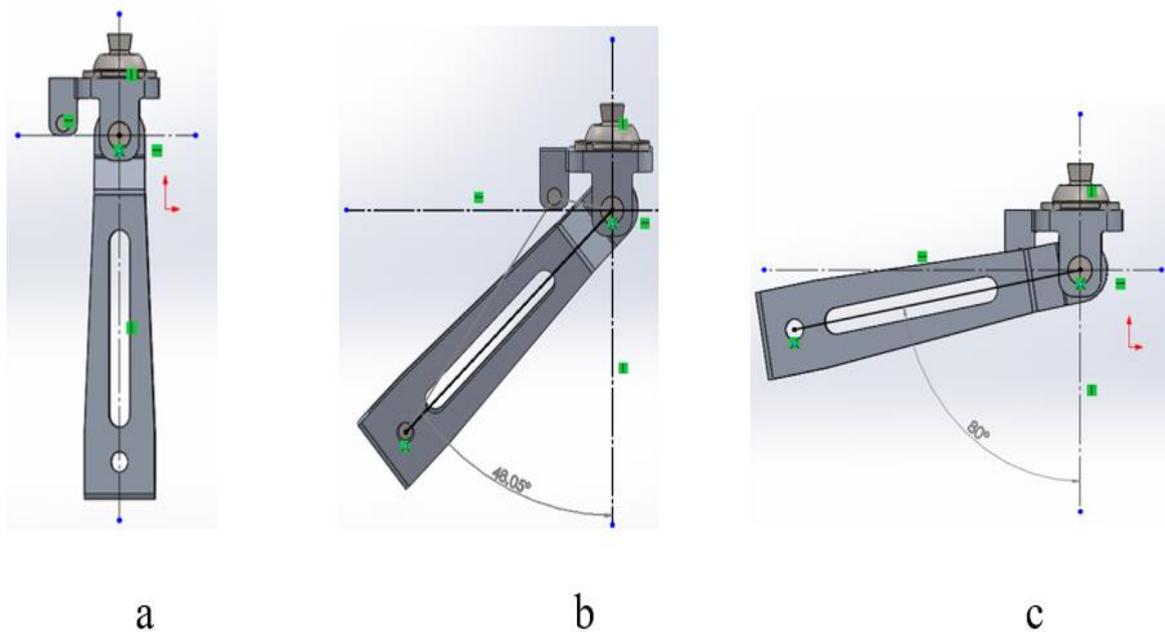
*Parámetros mecanismo articulación de rodilla*

Parámetro	Especificación
L	Longitud punto de anclaje inferior del actuador hasta centro de rotación de la rodilla.
l	Longitud punto de anclaje superior del actuador hasta punto de anclaje inferior del actuador (longitud variable).
A	Longitud punto de anclaje superior del actuador hasta centro de rotación de la rodilla

*Nota.* Fuente: Autor

**Grados de Flexión.** El mecanismo de articulación de rodilla pivotará por medio de un eje articular, esto se puede observar en la Figura 31 literal a, b, c, en donde se encuentra en posición de  $0^\circ$ ,  $45^\circ$  y  $80^\circ$  respectivamente; cabe indicar que la articulación solventara aproximadamente los  $48.05^\circ$  que es el máximo ángulo de flexión que se da durante la marcha humana.

**Figura 31.**  
*Mecanismo con diferentes ángulos de flexión*

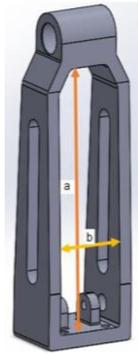


*Nota:* Prótesis de rodilla a) grado de flexión  $0^\circ$ ; b) grado de flexión  $45^\circ$  c) grado de flexión  $80^\circ$

**Adaptabilidad.** De acuerdo a su configuración estructural, el mecanismo de articulación de rodilla posee un espacio para el acople del dispositivo de amortiguación, en la Figura 32, se puede observar las restricciones longitudinales con la que se dispondrá para el diseño del dispositivo.

Las dimensiones según la Figura 32 para la referencia a) es de 18,5 cm y para b) es de 5,2 cm, se tomará muy en cuenta los puntos de anclaje que contará con pasadores por medio de ellos permiten el movimiento rotacional, así como la transmisión de la fuerza del actuador al mecanismo.

**Figura 32**  
*Espacio del actuador*



Fuente: Disponible en [30]

### 3.1.3. Variables del dispositivo

El movimiento que realiza el actuador en la prótesis de rodilla es lineal y en dos direcciones, definido por el flexo-extensión de la rodilla durante el ciclo de marcha humana; el desplazamiento, la fuerza y la velocidad del dispositivo de amortiguación son rangos de actuación fundamentales que define el comportamiento del mismo en condiciones normales.

**Longitud de Carrera.** Para la determinación de la longitud de la carrera del dispositivo amortiguador se tomará como referencia diferentes rangos de flexión que se genera al momento de la marcha normal, así como los requerimientos de la articulación de rodilla. En la Tabla 4 se muestran los valores para diferentes ángulos de flexión, siendo el máximo ángulo de flexión de 85°.

**Tabla 4**

*Angulo de flexión de la articulación de rodilla y longitud del amortiguador*

Ángulo de la rodilla (grados)	Longitud del amortiguador (mm)
0°	204,61
25	187,13
45°	173,31
60 °	164,29
85°	155,7

Para el cálculo de la carrera del dispositivo de amortiguación se utilizará la Ecuación 1, se tomará la distancia que existe entre los puntos de sujeción cuando la articulación de rodilla se encuentra a  $0^\circ$  (grados) y la distancia entre los puntos de sujeción cuando la articulación de rodilla se encuentra a  $85^\circ$  (grados).

Ecuación 1. Carrera del dispositivo

$$L_3 = L_2 - L_1$$

$$L_3 = 204,61 - 155,70$$

$$L_3 = 48,61 \text{ mm}$$

Donde:

$L_3$  longitud de carrera del actuador.

$L_2$  longitud del actuador con un ángulo de  $0^\circ$

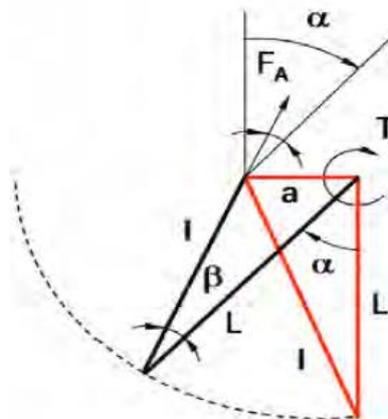
$L_1$  longitud del actuador con un ángulo de  $85^\circ$

La longitud de carrera será de 48,61 mm, esta referencia es la longitud que el pistón se desplazará por el cilindro y nos servirá para el dimensionamiento del anclaje superior, inferior, el eje y el pistón.

**Fuerza.** De acuerdo a la disposición de la prótesis de rodilla Figura 31 b), la configuración es la de un triángulo obtuso en el cual los catetos A y L son de longitud fija; la hipotenusa l es de longitud variable y su longitud depende del ángulo de flexión de la rodilla.

### Figura 33

*Mecanismo de la prótesis de rodilla monocéntrica con parámetros asociados*



Fuente: Disponible en: [3]

Para el cálculo de la fuerza que provee el actuador sobre la prótesis nos valdremos de la Figura 33, como de la Ecuación 2 y Ecuación 3, por medio de estas y asociada con los parámetros geométricos de la articulación de rodilla, podemos calcular la fuerza aplicada por el actuador al mecanismo de la rodilla.

En la Figura 33, nos provee el mecanismo de la prótesis en dos configuraciones:

- Configuración de completa extensión (en rojo).
- Configuración de flexión determinado ángulo (en negro)

Parámetros.

- $F_a$  fuerza axial aplicada por el actuador.
- $T$  torque aplicado en la articulación.
- $a$  distancia (fija) del eje articular de la prótesis al eje superior del actuador.
- $\alpha$  ángulo flexo-extensión de la rodilla.
- $\beta$  ángulo paramétrico de la prótesis.
- $L$  distancia (fija) del eje articular de la prótesis al eje inferior del actuador.
- $l$  longitud (variable) del actuador.

Ecuación 2. Fuerza axial aplicada por el actuador.

$$F_a = \frac{T}{a \cdot \cos(\alpha - \beta)}$$

Ecuación 3. Ángulo paramétrico de la prótesis.

$$\beta = \cos^{-1} \left( \frac{L^2 + l^2 - a^2}{2 * L * l} \right)$$

Al momento de realizar el análisis de la Tabla 5, observamos que la mayor fuerza que se genera en la articulación de rodilla es cuando se da el apoyo sencillo, en este punto solo una pierna está en contacto con el suelo, el valor de la fuerza es de 675,33 N.

**Tabla 5***Fuerza generada*

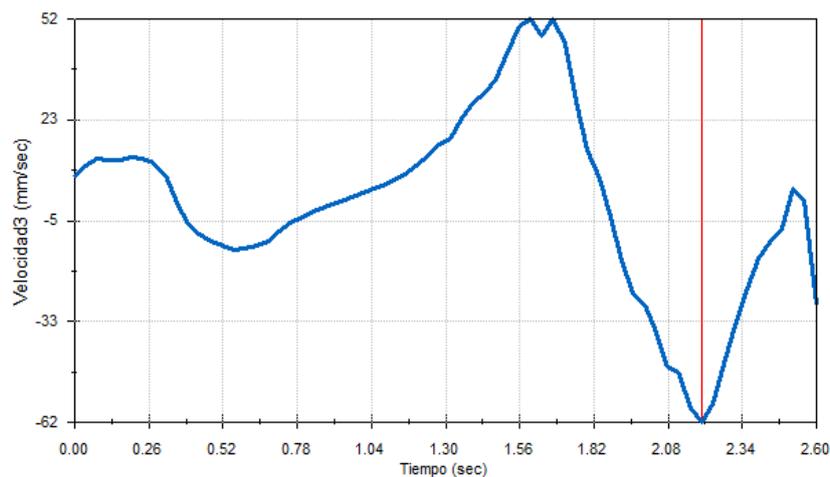
% Ciclo de marcha	Ángulo(°)	Torque (Nm/kg)	Torque (Nm)	FA(N)
0	2,54	-0,399	-25,9285	-643,387097
7,288	11,27	0,1218	7,917	194,044118
9,83	13,31	0,2963	19,2595	471,0191
14,673	15,45	0,408	26,52	649,554227
13,799	15,44	0,4242	27,573	675,32881
19,79	11,65	0,2113	13,7345	335,815057
29,898	0,38	-0,207	-13,4225	334,400458
32,4	-0,87	-0,281	-18,2845	457,444147
35,577	-1,45	-0,348	-22,62	567,201605
37,855	-1,1	-0,361	-23,4325	586,721919
39,898	-0,3	-0,328	-21,2875	531,536368
49,995	9,72	0,1994	12,961	317,057658
52,355	13,75	0,2543	16,5295	404,474559
57,006	22,58	0,1873	12,1745	302,724759
60,02	29,4	0,1858	12,077	309,560305
70	47,87	0,14	9,1	279,98277
71,697	48,05	0,1153	7,4945	231,207542
77,117	44,14	0,0511	3,3215	97,0826964
80,01	39,36	-0,002	-0,0975	2,71534798
86,042	23,05	-0,173	-11,271	280,695026
90,193	11,02	-0,309	-20,0785	490,984096
100	2,54	-0,399	-25,9285	643,387097

**Velocidad.** El dispositivo amortiguador al funcionar a compresión y extensión, tendrá una velocidad lineal que estará determinada por el ciclo de marcha humana, conjuntamente con la velocidad de camita de la persona.

Según [2], “se toma en consideración una velocidad de 2,16 Km/h como velocidad baja de marcha humana, y corresponde a 46 pasos por minuto. Cada ciclo de marcha contiene la acción de 2 pasos, así entonces 46 pasos corresponden a 23 ciclos de marcha con un tiempo de duración de 2,6 segundos para cada ciclo de marcha.”

Para la determinación de la velocidad lineal que tendrá el actuador en base al ciclo de marcha utilizaremos el software CAD Solidworks y su complemento Solidworks Motion. En la Figura 34, podemos observar la magnitud de la velocidad de acuerdo al ciclo de marcha, la mayor magnitud se da en los 2,19 segundos del inicio del ciclo de marcha en la sub-fase de balanceo medio y una velocidad lineal de 62 mm/s.

**Figura 34**  
*Velocidad lineal del actuador*



Fuente: Disponible en: [30]

#### **3.1.4. Alternativas de funcionamiento**

En el capítulo 1, se ha descrito los diferentes tipos sistemas más utilizados para el control de la marcha, como son: a) motor eléctrico, b) sistema neumático, c) sistema hidráulico; en base a estos sistemas se realiza una comparación mediante la utilización de una matriz de decisión y los criterios de evaluación propuestos.

**Tabla 6***Matriz de decisión para el sistema de control de la marcha*

	Capacidad de carga	Mantenimiento	Dependencia energética	Rango
Factor de ponderación	0.30	0.30	0.40	1.00
Hidráulico	7 2.1	5 1.5	9 3.6	7.2
Neumático	5 1.5	5 1.5	7 2.8	5.8
Eléctrico	5 1.5	5 1.5	1 0.4	3.4

Según el análisis de la Tabla 6 se determina que la solución adecuada para el sistema de control a utilizar es el sistema hidráulico, esto debido a que dispone de una alta capacidad de carga, una dependencia energética muy baja y un mantenimiento moderado.

“El sistema hidráulico es la primera opción debido a su durabilidad, eficacia y sencilla ajustabilidad, además de proporcionar gran seguridad al usuario y ofrecer una forma de caminar más natural que cualquier otro sistema” [4].

**Amortiguador de Control hidráulico.** Cuando nos referimos a un control hidráulico estamos hablando de un dispositivo cilindro-pistón el cual trabaja en un medio hidráulico, la amortiguación se crea cuando el pistón sea a compresión o extensión fuerza al fluido a circular a través de un circuito el cual también puede estar configurada con una válvula reguladora.

**Figura 35***Articulación de rodilla Genium*

Fuente: Disponible en: [29]

Se han diseñado actuadores para prótesis de rodilla implementando este sistema, un ejemplo de esto es la prótesis de rodilla C-Leg Figura 35, que dispone de un actuador hidráulico con una determinada configuración de válvulas controladas por servomotores, las mismas se ajustan para crear estabilidad durante la fase de apoyo y una respuesta adecuada en la fase de balanceo.

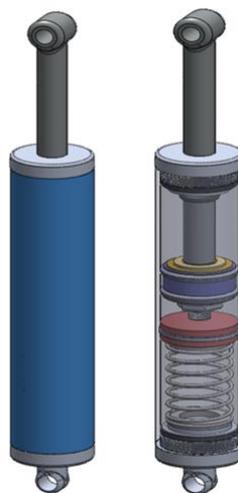
### 3.1.5. Alternativas de diseño

Una vez establecidos los parámetros de forma y funcionamiento, así como seleccionado el principio de funcionamiento, se procede al diseño preliminar de varios modelos del dispositivo amortiguador. Cada modelo tiene una configuración específica, permitiendo elegir el más adecuado para desempeñar la función de amortiguación en la prótesis de rodilla.

**Diseño A.** Se procedió a diseñar el primer dispositivo Figura 36, está basado en un amortiguador monotubo convencional, el mismo está configurado con dos pistones uno flotante acoplado a un resorte el mismo que proveerá de la fuerza y velocidad de extensión al dispositivo, y otro pistón fijo al eje, este constara de una determinada serie de componentes que darán las características de fuerza y velocidad.

### Figura 36

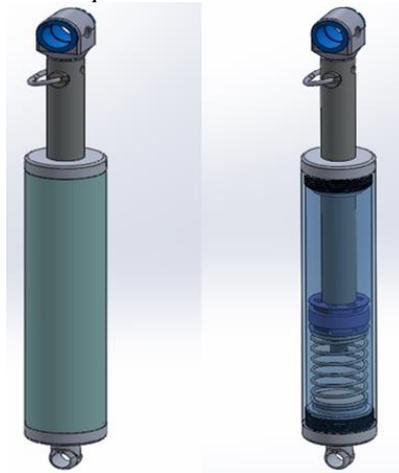
*Amortiguador monotubo.*



**Diseño B.** En la Figura 37 podemos observar el diseño B, consta de un solo pistón acoplado a un resorte que será el que provea de la fuerza de extensión al dispositivo; este cambio reduce la complejidad del mismo. Adicionalmente se incorpora el sistema de bloqueo descrito en el amortiguador Catech, un interruptor selector que permite el bloqueo del eje es decir no permite su flexión o extensión cuando está en una determinada posición.

**Figura 37**

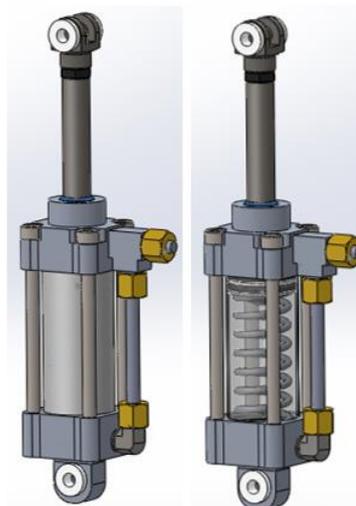
*Amortiguador interruptor selector de bloqueo.*



**Diseño C.** En la Figura 38 se muestra la configuración del dispositivo de amortiguación, donde se ha realizado una modificación en la configuración para regular el movimiento de compresión y extensión, esto se logra mediante la incorporación de una válvula reguladora que se encuentra acoplada directamente a la tapa superior del dispositivo.

**Figura 38**

*Modelo C*



### 3.1.6. Evaluación de alternativas de diseño

Se analizó las tres alternativas, de las mismas se debe seleccionar la más adecuada que se adapte a la estructura de prótesis de rodilla y que realice la función de dispositivo de amortiguación; para ello se toma en consideración varios criterios de evaluación.

Mediante el análisis de los modelos descritos Tabla 7, podemos mencionar que el diseño C es el más adecuado para proceder con la construcción y se adapta adecuadamente a la estructura de prótesis de rodilla.

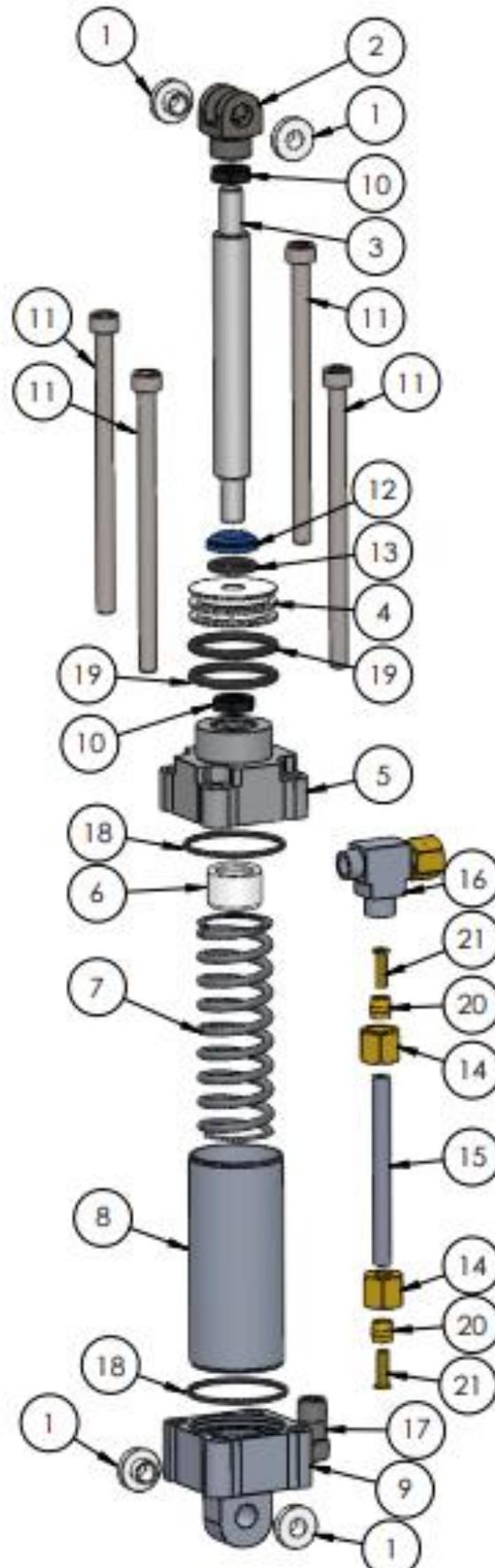
**Tabla 7**

*Análisis alternativas de diseño*

	Carrea	Bloqueo	Válvulas	Rango
Factor de ponderación	0.50	0.20	0.30	1.00
Diseño A	2 1	0 0	3 0.9	1.9
Diseño B	8 4	8 1.6	3 0.9	6.5
Diseño C	9 4.5	10 2	7 2.1	8.6

Una vez seleccionado el diseño conceptual óptimo, se procede con el diseño a detalle para configurar el dispositivo de amortiguación. La apropiada elección de las partes y de los materiales de los cuales están fabricados, juega un papel fundamental en el desempeño, la durabilidad y la eficacia del dispositivo.

En la Figura 39 se visualizan el despiece del dispositivo y en la Tabla 8 la descripción de las partes, la función que cumple cada elemento y si estos serán adquiridos o mecanizados;

**Figura 39***Dispositivo de amortiguación partes constitutivas*

Al definir si se adquirirá o mecanizara es por una decisión estratégica en el diseño que se detallan a continuación.

### **Componentes Adquiridos.**

- Pueden estar fácilmente disponibles en el mercado, lo que puede reducir los tiempos de adquisición y acelerar el proceso de montaje.
- Las piezas pueden requerir ciertos estándares de calidad y pruebas específicas que los proveedores locales ya tienen en su proceso de fabricación.
- Los componentes suelen fabricarse en grandes cantidades, lo que puede resultar en costos reducidos.
- Los componentes son diseñados para ser compatibles y funcionar con una amplia gama de sistemas y dispositivos.

### **Componentes Mecanizados.**

- Es posible crear componentes que se ajusten perfectamente a las especificaciones de diseño.
- Se tiene la libertad de elegir materiales específicos que cumplan con los requisitos de resistencia, durabilidad, entre otros. Esto puede ser esencial para lograr el rendimiento deseado en condiciones particulares.
- Brinda flexibilidad para realizar cambios en el diseño de manera ágil. Esto es beneficioso en situaciones donde las iteraciones de diseño son necesarias para lograr el mejor resultado posible.
- Se tiene un control total sobre el proceso de producción y la inspección de calidad. Esto puede llevar a una mayor confianza en la integridad y confiabilidad de los componentes.

**Tabla 8***Descripción, función y material de las partes del dispositivo*

Nro.	Nombre	Función	Parámetro
1	Bocines	Protege a los ejes de sujeción del desgaste por fricción.	Mecanizado
2	Horquilla	Permiten fijar el dispositivo amortiguador a la estructura en la cual trabaja, va acopla al vástago.	Mecanizado
3	Eje	Medio para la transmisión de la fuerza externa al cilindro.	Mecanizado
4	Pistón	Elemento que se desliza en el cilindro permite la transmisión de fuerza.	Mecanizado
5	Tapa superior	Componente de sellado, van acoplado al extremo superior e inferior del cilindro.	Mecanizado
6	Tope	Cumple la función de restringir el movimiento del pistón.	Mecanizado
7	Resorte	Estará acoplada interiormente, proveerá la fuerza y velocidad de extensión del dispositivo	Mecanizado
8	Cilindro	Es el cuerpo del amortiguador, a través de él avanzan el vástago y el pistón al ser impulsados. Contiene en su interior al pistón y el fluido amortiguador.	Mecanizado
9	Tapa inferior	Componente de sellado, van acoplado al extremo superior e inferior del cilindro.	Mecanizado
10	Tuerca	Va incluida al momento del enroscado con la horquilla, ayudando a fijar la horquilla de manera segura.	Adquirido
11	Tirantes	Pernos que sirve para la fijación de las tapas delanteras como traseras	Adquirido
12	Rascador	Componente que interactúa con el eje, evitando que alguna suciedad ingrese en el interior del cilindro.	Adquirido
13-18-19	Sellos hidráulicos	Evitar escapes o fugas del fluido de una cámara a otra del cilindro, o desde el interior hacia el exterior del mismo.	Adquirido
14	Tuercas B-61	Medio de unión de tuberías.	Adquirido
15	Manguera	Medio de circulación del fluido.	Adquirido
16	Válvula de aguja	Regulan el caudal en un circuito mediante la estrangulación (dificultando el paso de aceite por un conducto).	Adquirido Adquirido
17	Racor	Pieza que sirve para unir tubos y otros perfiles cilíndricos.	
20	Anillo B-60	Medio de unión de tuberías.	Adquirido
21	Refuerzo interior	Medio de unión de tuberías.	Adquirido

### 3.1.7. Selección de materiales

Se ha llevado a cabo la definición del tipo de material idóneo para los componentes mecanizados del dispositivo de amortiguación, este proceso de selección ha sido guiado por el estudio previo de amortiguadores convencionales, amortiguación para prótesis de rodilla, la función que cumple las distintas partes en el dispositivo de amortiguación y de cualidades previstas para el material que se detallan de la Tabla 9 a la Tabla 16.

**Tabla 9**

*Requisitos iniciales bocín*

Función Principal	Cargas	Requisitos
Soporte		
Guiado		Maquinado
Reducción de Fricción	Compresión	Durabilidad
Absorción de Impactos	Extensión	Peso ligero
Alineación y Ajuste		Resistente a la Corrosión
Aislamiento		

**Tabla 10**

*Requisitos iniciales tope*

Función Principal	Cargas	Requisitos
		Maquinado
Protección de pistón		Durabilidad
Absorción de Impactos	Compresión	Peso ligero
		Resistente a la Corrosión

**Tabla 11***Requisitos iniciales pistón*

Función Principal	Cargas	Requisitos
		Peso ligero
Transmisión de fuerzas	Compresión	Resistencia a impactos
Control de amortiguación	Extensión	Resistente a la Corrosión
Absorción de Impactos		Mecanizado
		Durabilidad

**Tabla 12***Requisitos iniciales horquilla*

Función Principal	Cargas	Requisitos
Conexión y Fijación		Resistencia mecánica
Distribución de Cargas	Compresión	Peso ligero
Estabilidad y Alineación	Extensión	Resistente a la Corrosión
Absorción de Impactos		Mecanizado
Transmisión de Fuerzas		Durabilidad

**Tabla 13***Requisitos iniciales vástago*

Función Principal	Cargas	Requisitos
		Resistencia mecánica
Transmisión de Fuerzas		Peso ligero
Absorción de Impactos	Compresión	Resistente a la Corrosión
Estabilidad	Extensión	Mecanizado
Conexión		Durabilidad

**Tabla 14***Requisitos iniciales cilindro*

Función Principal	Cargas	Requisitos
Contener el Pistón		Resistencia mecánica
Generar Resistencia	Compresión	Peso
Estabilidad y Alineación	Fuerza Fricción	Resistente a la Corrosión
Absorción de Impactos	Presiones internas	Buen mecanizado
Transmisión de Fuerzas		Durabilidad

**Tabla 15***Requisitos iniciales tapa superior*

Función Principal	Cargas	Requisitos
Guía y Control del Vástago		Resistencia mecánica
Prevención de Desalineación	Extensión	Peso
Sellado y Contención	Presiones internas	Resistente a la Corrosión
Integridad Estructural		Mecanizado
		Durabilidad

**Tabla 16***Requisitos iniciales tapa inferior*

Función Principal	Cargas	Requisitos
Sujeción a la Estructura:		Resistencia mecánica
Soporte y Estabilidad	Extensión	Peso
Sellado y Contención	Presiones internas	Resistente a la Corrosión
Integridad Estructural	Cargas de Impacto	Mecanizado
		Durabilidad

**Selección A.** En la Tabla 17 se detalla el proceso de selección de materiales para los componentes como son: bocín, tope y el pistón. En este proceso se ha priorizado la elección de un material que pueda resistir de los impactos, como resultado se ha determinado que un polímero sería la elección adecuada para cumplir con este requisito. Entre los polímeros de encuentra el nailon 6-10 ha demostrado ser una opción particularmente idónea debido a sus adecuadas características. Este polímero no solo exhibe una notable resistencia a los impactos, sino que también ofrece una combinación única de durabilidad y ligereza.

**Tabla 17**

*Análisis selección A*

	Peso	Resistencia a impactos	Resistencia a corrosión	Mecanizado	Durabilidad	Puntaje ponderado
Factor de ponderación	0,2	0,25	0,2	0,15	0,2	1
Polímeros	10 2	10 2,5	6 1,20	10 1,5	7,6 1,52	8,72
Acero Inoxidable	4 0,8	4 0,8	10 2	2,66 0,4	9,6 1,92	5,9
Aluminio	8 1,6	6 1,5	6 1,5	8,32 1,25	8,4 1,68	7,5

**Selección B.** En la tabla 17 se detalla el proceso de selección del material para la horquilla y el eje, se ha considerado principalmente la necesidad de contar con una resistencia mecánica óptima. Si bien los resultados señalaron la elección del aluminio, se ha tomado una decisión estratégica en favor del acero principalmente debido a los requerimientos específicos del eje, que demanda un acabado de cromado para facilitar su funcionamiento en conjunto con los sellos estáticos y dinámicos. Se ha seleccionado el acero 304, las propiedades como su resistencia a la corrosión y su capacidad de resistencia mecánica, respaldan su elección.

**Tabla 18***Análisis selección B*

	Resistencia a mecánica	Resistencia a corrosión	Mecanizado	Durabilidad	Puntaje ponderado
Factor de ponderación	0,25	0,2	0,15	0,2	1
Polímeros	2,42 0,61	6 1,20	10 1,5	7,6 1,52	4,83
Acero Inoxidable	10 2,5	10 2	2,66 0,4	9,6 1,92	6,82
Aluminio	9,88 2,5	6 1,5	8,32 1,25	8,4 1,68	6,93

**Selección C.** En la Tabla 19 se detalla la selección del material para las tapas superior e inferior, así como para el cilindro, se ha tomado en relevancia dos factores fundamentales: resistencia y ligereza. Estos componentes desempeñan un papel esencial en la integridad y el funcionamiento del amortiguador para prótesis de rodilla, y es crucial que sean capaces de resistir cargas y fuerzas sin añadir un excesivo peso al conjunto. Se determina que el aluminio es elección ideal para cumplir con estas exigencias y se selecciona el aluminio 7075-T6 material con adecuada resistencia y peso ligero.

**Tabla 19***Análisis selección C*

	Resistencia mecánica	Peso	Resistencia a Corrosión	Mecanizado	Durabilidad	Puntaje Ponderado
Factor de ponderación	0,25	0,20	0,20	0,15	0,20	1
Polímeros	2,41 0,61	10 2	6 1,20	10 1,5	7,6 1,52	6,83
Acero Inoxidable	10 2,5	4 0,8	10 2	2,66 0,4	9,6 1,92	7,62
Aluminio	9,88 2,5	8 1,6	6 1,5	8,32 1,25	8,4 1,68	8,53

### 3.2. Diseño.

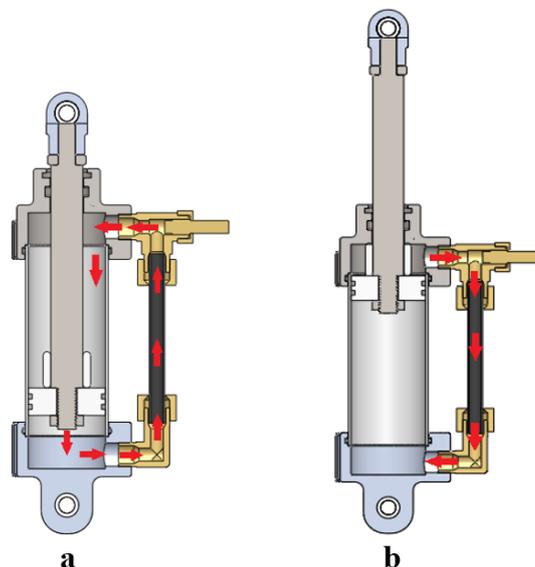
Una vez definido el modelo del dispositivo de amortiguación, se procede al análisis detallado del sistema de circulación del fluido, centrándose en su funcionamiento y selección del fluido hidráulico. Posteriormente se realiza el análisis de las fuerzas presentes durante el funcionamiento y se procede al diseño de las partes que componen el dispositivo; estos elementos trabajan en conjunto para proporcionar un control preciso del movimiento, garantizando así un funcionamiento suave, seguro y controlado del dispositivo.

#### 3.2.1. Sistema de Circulación del Fluido

Permite regular la velocidad y la resistencia del movimiento, al tiempo que disipa el calor generado durante el funcionamiento; está formado por el fluido, cilindro, racores, conducto y la válvula a través de la cual se regula el paso del fluido. En la Figura 40 literal a) y literal b) podemos observar la vista frontal seccionada del dispositivo en compresión y extensión respectivamente, en el mismo se indica el camino por donde circulara el fluido.

**Figura 40**

*Circulación del fluido*



*Nota:* Circulación del fluido: a) dispositivo en compresión; b) dispositivo en extensión.

#### 3.2.2. Fluido Hidráulico.

Es un líquido con propiedades físicas y químicas específicas, diseñado para su uso en sistemas hidráulicos, se lo utiliza para transmitir energía y realizar diversas tareas mecánicas.

En el contexto del amortiguador para prótesis de rodilla, el fluido hidráulico se refiere al líquido utilizado dentro del amortiguador para proporcionar amortiguación y control del movimiento de la prótesis. Las propiedades que se detallan en la Tabla 20 se las tomara en cuenta para la selección de fluido a utilizar.

**Tabla 20**

*Propiedades del fluido hidráulico*

<b>Propiedad</b>	<b>Detalle</b>
Viscosidad	Es una propiedad de los fluidos, que tiende a oponerse a un flujo cuando se le aplica una fuerza o, dicho de otra manera, es la resistencia que oponen las moléculas de un fluido a deslizarse unas sobre otras.
Punto de Fluidez	El punto de fluidez indica la temperatura más baja a la que puede fluir un líquido.
Punto de Congelación	El punto de congelación es un concepto asociado a la viscosidad en frío e indica a la temperatura a la cual el líquido deja de fluir libremente.
Punto de Inflamación	Es la temperatura a la cual los vapores de aceite se inflaman espontáneamente.

Nota: Fuente: Disponible en: [1]

**Selección del Fluido.** De acuerdo a las características antes descritas, se requiere de un fluido que tenga un bajo grado de viscosidad con lo cual se desplazara con facilidad a través de la tubería. Esto implica una menor pérdida de energía debido a la fricción interna del fluido, lo que resulta en una menor pérdida de carga a lo largo del flujo; en la práctica estos tipos de fluidos se los denomina fluidos hidráulicos y son ampliamente utilizados en amortiguadores.

A continuación, en la Tabla 21, Tabla 22 y Tabla 23 se detallan tres de estos fluidos seleccionados y se describen sus características técnicas.

- Fork Oil FL vL 2.5W. Fluido hidráulico sintético, diseñado para horquillas de suspensión, neutro frente a juntas y retenes.

**Tabla 21**

*Característica técnicas aceite hidráulico Fork Oil vL 2.5W*

<b>Propiedad</b>	<b>Norma</b>	<b>Valor</b>
Densidad a 20°C	ASTM D12398	0.833
Viscosidad a 40°C	ASTM D445	15.0 mm <sup>2</sup> /s
Viscosidad a 100°C	ASTM D445	3.5 mm <sup>2</sup> /s
Índice de viscosidad	ASTM D2270	112
Punto de inflamación	ASTM D92	205°C
Punto de congelación	ASTM D97	<-39°C

**Nota.** Fuente: Disponible en:[2]

- Synthetic Fork Oil 2.5W. Fluido se suspensión, sintético, protección anti desgaste, protección ante la corrosión.

**Tabla 22**

*Característica técnicas aceite hidráulico Fork Oil 2.5W*

<b>Propiedad</b>	<b>Norma</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valor</b>
Densidad a 15°C	ISO 3675/ASTM D1298	Kg/m <sup>3</sup>	820
Viscosidad cinemática			
@ 100 °C	ISO3104/ASTM D445	mm <sup>2</sup> /s	16.5
@ 40°C			4
Índice de Viscosidad	ISO2909/ASTM D2270	-	145
Punto de inflamación	ASTM D 92	°C	190
Punto de congelación	ISO3016/ASTM D97	°C	-60

**Nota.** Fuente: Fuente: [3]

- Aeroshell Fluid 41. Fluido con un alto nivel de limpieza, buenas características de flujo, estabilidad anti desgaste.

**Tabla 23**

*Característica técnicas aceite Hidráulico Aeroshell Fluid 41*

<b>Norma</b>	<b>Valor</b>
Densidad a	De 850 a 875 kg/m <sup>3</sup> at 15°C
Viscosidad a 40°C	15.68 mm <sup>2</sup> /s
Viscosidad a 100°C	6.13 mm <sup>2</sup> /s
Índice de viscosidad	214
Punto de inflamación	230°C
Punto de congelación	<-60°C

Nota. Fuente: [3]

Siguiendo la consideración previa de utilizar un aceite hidráulico de baja viscosidad, se procedió a analizar los datos de la Tabla 24, en dicho análisis, se observó que el fluido con la menor viscosidad disponible es el Fork Oil FL V L 2.5W. En consecuencia, se ha determinado que este fluido será el utilizado en el dispositivo de amortiguación.

**Tabla 24**

*Cuadro comparativo de viscosidades*

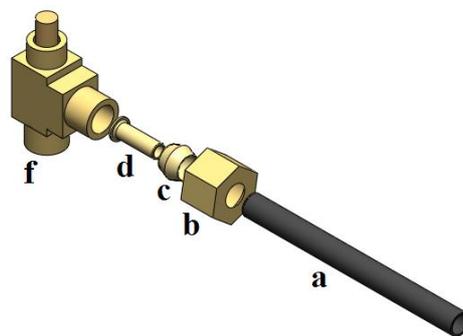
<b>Aceite</b>	<b>Viscosidad 40°C (mm<sup>2</sup>/s)</b>	<b>Viscosidad 100°C (mm<sup>2</sup>/s)</b>
Fork Oil FL V L 2.5W	15.5	3.5
Synthetic Fork Oil 2.5W	16.5	4
Aeroshell Fluid 41	15.68	6.13

### 3.2.3. Conexión hidráulica.

Se ha dispuesto un sistema de conexión hidráulica por compresión, esto se lo realiza mediante el acoplamiento de diversos componentes como son: racor, anillo de compresión, un refuerzo de latón, una tuerca de compresión y una manguera. En la Figura 41 se observa el acoplamiento superior, mientras que en la Figura 42 el acoplamiento inferior del sistema de circulación.

**Figura 41**

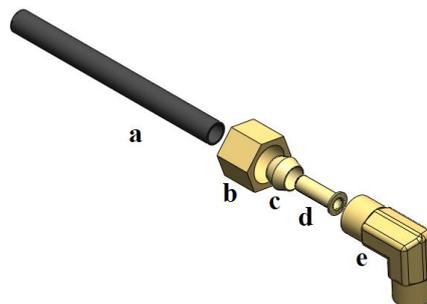
*Acoplamiento superior*



*Nota:* Acoplamiento superior, a) tubería, b) tuerca de unión, c) anillo B-60, d) refuerzo interior, f) válvula de aguja.

**Figura 42**

*Acoplamiento*

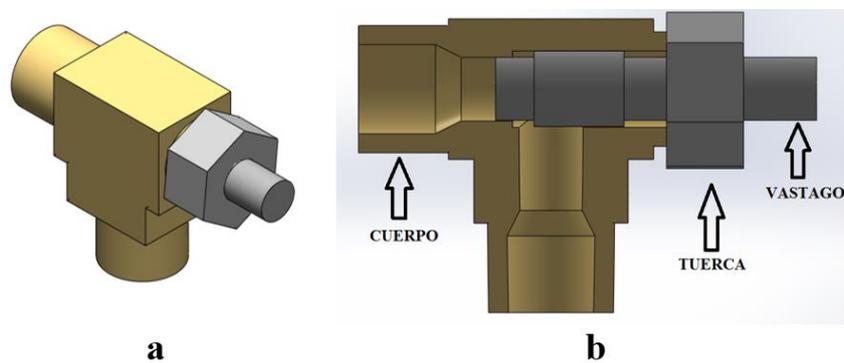


*Nota:* Acoplamiento inferior, a) tubería, b) tuerca de unión, c) anillo B-60, d) refuerzo interior, e) racor.

**Válvula de Regulación y Control.** La válvula es un elemento que permite regular y controlar el flujo, para la selección se requiere que la válvula pueda acoplarse por medio de una rosca a la tapa superior del dispositivo de amortiguación, debe ser de dimensiones pequeñas y que regule el flujo en los dos sentidos.

Para esta operación se ha dispuesto de una válvula de aguja, en la misma por medio del cierre y apertura que se da mediante el desplazamiento de un vástago circular en el interior del cuerpo de la válvula se regulará la cantidad de fluido que circula. En la Figura 43 a) se observa una vista lateral de la válvula de aguja, en la Figura 43 b) se observa la vista en sección de la válvula de aguja seccionada y en la Tabla 25 la especificación de la válvula.

**Figura 43**  
*Válvula de aguja*



*Nota:* Válvula de aguja, a) vista lateral, b) vista en sección

**Tabla 25**

*Especificaciones válvula de aguja*

Material	Bronce
Tipo de rosca	Npt paso 1 mm

**Tubería.** La tubería es un conducto por medio del cual se transporta el fluido de un lugar a otro, generalmente son cilíndricas y para la unión a otros dispositivos se requiere de distintos tipos de racores o acoples. Para la selección se debe tomar en cuenta el fluido con el cual va a trabajar y los dispositivos con los cuales se va a unir, con estas consideraciones su diámetro y longitud estarán restringidos.

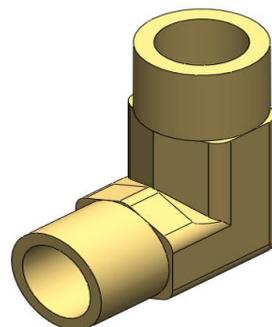
En la Figura 44 se observa la vista lateral de la tubería a utilizarse y en la Tabla 26 las especificaciones generales de la tubería, cabe destacar que esta es hecha de un material sintético y es técnica y mecánicamente resistente a fluidos hidráulicos.

**Figura 44***Tubería***Tabla 26***Especificaciones tubería*

Parámetro	Especificación
Material	Sintético pan-mf-6
Presión de funcionamiento	-0,95....+31 (bar)
Fluido de trabajo	Aire comprimido Aceites minerales
Temperatura ambiente	-60....+100 °c
Diámetro exterior	6 mm
Diámetro interior	4 mm
Longitud	65,31 mm
Color	Negro

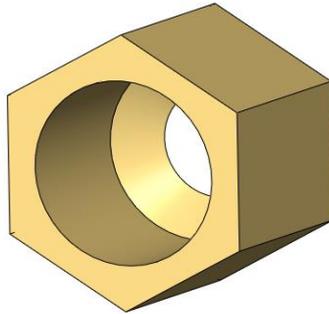
*Nota.* Fuente: [4]

**Racor.** En la Figura 45 se observa el componente que poseen una unión roscada para su acople, es utilizado para unir conectar o acoplar diferentes partes de la tubería; servirá de conexión entre la tapa inferior del dispositivo de amortiguación y la tubería.

**Figura 45***Racor*

**Tuercas de Unión.** Figura 46, se lo utiliza para la unión de entre el racor y la tubería, su función principal es proporcionar un apriete seguro y firme que mantenga la unión hermética y resistente a fugas entre estos dos elementos.

**Figura 46**  
*Tuerca*



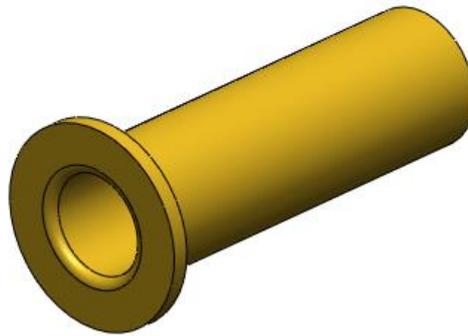
**Anillo Bicónico de Presión.** En la Figura 47 se visualiza el componente que es utilizado entre la unión de tuberías y racores. Se lo coloca en una ranura del racor o la tubería, generando una presión radial que garantiza una unión segura, resistente y crea una conexión hermética que evita fugas.

**Figura 47**  
*Anillo Bicónico*



**Refuerzo interior.** Es un componente adicional Figura 48, se lo utiliza para fortalecer la unión entre una manguera y un racor, se lo coloca dentro de la manguera, generalmente en la zona cercana a la unión con el racor, antes de realizar la conexión. Su función principal es evitar la deformación excesiva o el colapso de la manguera cuando se aplica presión o se somete a fuerzas mecánicas.

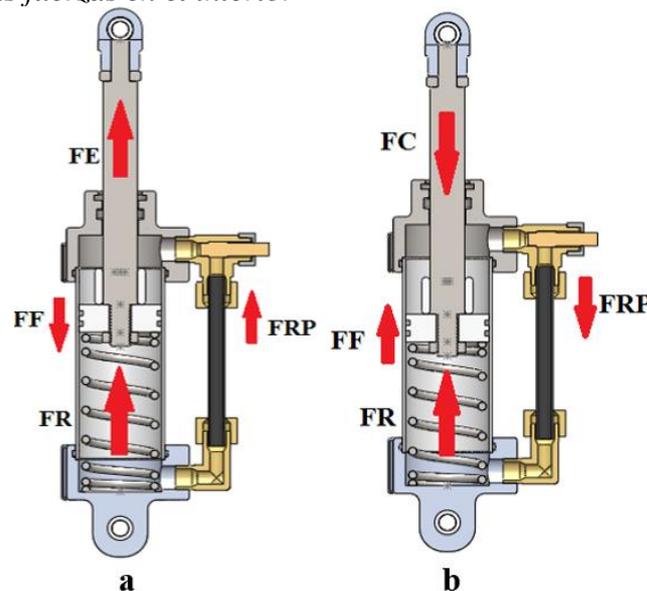
**Figura 48**  
*Anillo Bicónico*



### 3.3. Análisis de Fuerzas

Al momento del funcionamiento del dispositivo de amortiguación, este trabajara tanto a extensión como a compresión, en estas dos instancias se generan una serie de fuerzas internas las mismas que se muestran en la Figura 49.

**Figura 49**  
*Representación de las fuerzas en el interior*



*Nota:* Representación de las fuerzas en el interior, a) extensión, b) compresión

A continuación, se detalla las fuerzas que actúan:

- $F_E$  fuerza extensión, fuerza con la cual sale el eje.
- $F_C$  fuerza compresión, fuerza con la cual entra el eje.
- $F_R$  fuerza del resorte, fuerza debido a la compresión del resorte.
- $F_F$  fuerza de fricción, fuerza de rozamiento entre el pistón y las paredes del tubo.

- $F_{RP}$  fuerza de restricción de paso, fuerza que proporciona la válvula de aguja al restringir el paso del fluido.

De acuerdo con el funcionamiento cabe indicar que el vástago se extenderá con una fuerza y velocidad determinada, lo que permitirá a la prótesis de rodilla realizar el movimiento de extensión. Dicha fuerza que se la denominara fuerza de extensión Ecuación 4, está referida al momento en el cual la rodilla tiene su mayor ángulo de compresión que se da en la mitad de la fase de balanceo en ese instante para poder balancear la rodilla se requerirá de una determinada fuerza que permitirá la extensión de la rodilla.

Ecuación 4. Fuerza extensión

$$F_E = F_R - F_F - F_{RP}$$

Los parámetros a los cuales estará sujeto el funcionamiento a extensión se muestran, en la Tabla 27, cabe indicar que al momento de la extensión la válvula reguladora de flujo se encontrara en la posición totalmente abierta y el fluido no presentara ninguna restricción para su flujo.

**Tabla 27**

*Parámetro funcionamiento a extensión*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Velocidad	62 mm/s
Fuerza	231,207 N
Carrera	33,86 mm

### **3.3.1. Fuerza de Restricción de Paso del Fluido.**

Es la resistencia que experimenta el fluido hidráulico al momento de recorrer el sistema de circulación del fluido y es causada por varios factores, como la geometría y el diámetro de las tuberías, la viscosidad del fluido y cualquier obstrucción o irregularidad en las tuberías. Estas restricciones pueden generar una pérdida de energía en el sistema y afectar la capacidad

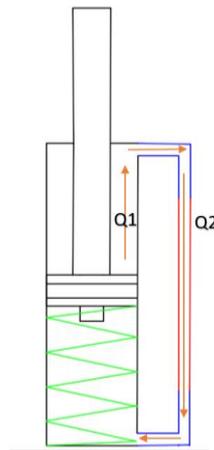
del amortiguador para proporcionar una amortiguación adecuada y un control de movimiento suave.

**Pérdida de carga.** Se realizará un análisis de pérdida de carga que se genera por la circulación del fluido en las diferentes secciones esto con el fin de obtener una pérdida de presión total que permita dimensionar el resorte de acuerdo con los parámetros previstos.

**Caudal.** Como se puede observar en la Figura 50 al momento de la extensión del pistón, este desplaza una determinada cantidad de fluido  $Q_1$  y  $Q_2$  que están representadas en la Ecuación 5.

### Figura 50

*Desplazamiento del fluido*



Ecuación 5. Igualdad de fluido desplazado.

$$Q_1 = Q_2$$

$$(A_P - A_E) * v_1 = A_T * v_2$$

Donde:

$Q_1$  caudal 1

$Q_2$  caudal 2

$A_P$  área transversal del pistón

$A_E$  área transversal del eje

$A_T$  área transversal de la tubería

$v_1$  velocidad sección del caudal 1

$v_2$  velocidad sección del caudal 2

Ecuación 6. Área transversal del pistón.

$$A_P = \frac{\pi * d_P^2}{4}$$

$$A_P = \frac{\pi * (30,2)^2}{4}$$

$$A_P = 716,31 \text{ mm}^2$$

Donde:

$d_P$  diámetro del pistón

Ecuación 7. Área transversal del eje.

$$A_E = \frac{\pi * d_E^2}{4}$$

$$A_E = \frac{\pi * (12,5)^2}{4}$$

$$A_E = 122,72 \text{ mm}^2$$

Donde:

$d_E$  diámetro del eje

Ecuación 8. Área transversal de la tubería

$$A_T = \frac{\pi * d_T^2}{4}$$

$$A_T = \frac{\pi * (4)^2}{4}$$

$$A_T = 12,57 \text{ mm}^2$$

Donde:

$d_T$  diámetro de la tubería

Ecuación 9. Velocidad sección del caudal 1.

$$v_2 = \frac{(A_P - A_E) * v_1}{A_T}$$

$$v_2 = \frac{(716,31 - 122,72) * 62}{12,57}$$

$$v_2 = 2927,81 \text{ mm/s}$$

Ecuación 10. Caudal 1.

$$Q_1 = A_T * v_2$$

$$Q_1 = 12,57 * 2927,81$$

$$Q_1 = 36802,57 \frac{mm^3}{s}$$

Ecuación 11. Pérdida de carga secundaria por contracción brusca.

$$h_{RSC} = \zeta_{CB} * \frac{v_2^2}{2 * g}$$

$$h_{RSC} = 0,46 * \frac{2927,81^2}{2 * 9810}$$

$$h_{RSC} = 200,98 \text{ mm}$$

Donde:

$\zeta_{CB}$  coeficiente adimensional de pérdida de carga secundaria (contracción brusca)

$g$  gravedad

Ecuación 12. Pérdida de carga secundaria en válvula.

$$h_{RSV} = \zeta_V * \frac{v_2^2}{2 * g}$$

$$h_{RSV} = 0,8 * \frac{2927,81^2}{2 * 9810}$$

$$h_{RSV} = 349,52 \text{ mm}$$

Donde:

$\zeta_V$  coeficiente adimensional de pérdida de carga secundaria (válvula de aguja)

Ecuación 13. Pérdida de carga primaria en la tubería.

$$h_{RPT} = \lambda * \frac{L}{D} * \frac{v_2^2}{2 * g}$$

Donde:

$\lambda$  coeficiente de pérdida de carga primaria

$L$  longitud de la tubería

$D$  diámetro de la tubería

Ecuación 14. Número de Reynolds.

$$Re = \frac{v_M * d}{V_{CF}}$$

$$Re = \frac{2927,81 * 4}{15,5}$$

$$Re = \frac{2927,81 * 4}{15,5}$$

$$Re = 755,56$$

Donde:

$v_M$  velocidad media del fluido

$V_{CF}$  viscosidad cinemática del fluido

Ecuación 15. Coeficiente de pérdida de carga primaria.

$$\lambda = \frac{64}{Re}$$

$$\lambda = \frac{64}{755,56}$$

$$\lambda = 0,085$$

Entonces:

$$h_{RPT} = 0,085 * \frac{65,31}{4} * \frac{2927,81^2}{2 * 9810}$$

$$h_{RPT} = 606,35 \text{ mm}$$

Ecuación 16. Pérdida de carga secundaria por codos.

$$h_{RSC} = \zeta_C * \frac{v_2^2}{2 * g}$$

$$h_{RSC} = 0,75 * \frac{2927,81^2}{2 * 9810}$$

$$h_{RSC} = 327,68 \text{ mm}$$

Donde:

$\zeta_C$  coeficiente adimensional de pérdida de carga secundaria (codos)

Ecuación 17. Perdida de carga secundaria por expansión brusca.

$$h_{RSE} = m * \frac{(v_1 - v_2)^2}{2 * g}$$

$$h_{RSE} = 1 * \frac{(62 - 2927,81)^2}{2 * 9810}$$

$$h_{RSE} = 418,60 \text{ mm}$$

Donde:

$m$  coeficiente

Ecuación 18. Perdida de carga total.

$$h_R = h_{RSC} + h_{RSV} + h_{RPT} + h_{RSC} + h_{RSE}$$

$$h_R = 200,98 + 349,52 + 606,35 + 327,68 + 418,60$$

$$h_R = 1903,13 \text{ mm}$$

Ecuación 19. Perdida de presión.

$$\Delta P = h_R * \rho * g$$

$$\Delta P = 1,90 * 833 * 9,81$$

$$\Delta P = 15551,33 \frac{N}{m^2}$$

Donde:

$\rho$  densidad del fluido

Ecuación 20. Fuerza de restricción de paso del fluido.

$$F_{RP} = \Delta P * A_T$$

$$F_{RP} = 15551,33 * 0,0000125$$

$$F_{RP} = 0,194 \text{ N}$$

Ecuación 21. Fuerza del resorte.

$$F_R = F_E + F_{Rp}$$

$$F_R = 231,21 + 0,194$$

$$F_R = 231,404 \text{ N}$$

### 3.4. Diseño de elementos

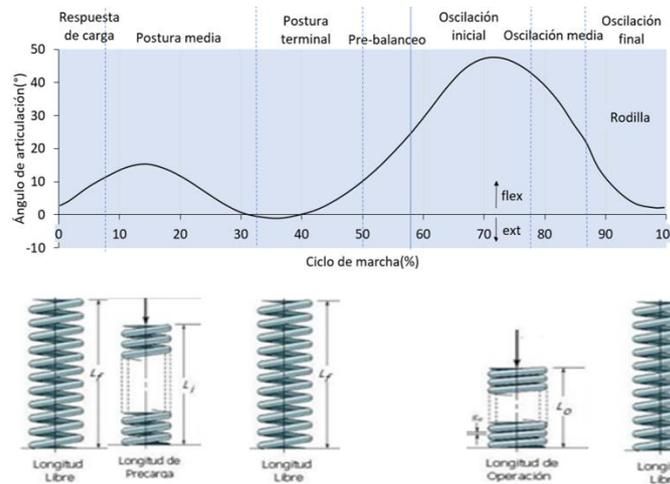
#### 3.4.1. Resorte

Según el diseño previsto, el resorte es el elemento activo del dispositivo de amortiguación, el cual trabaja a compresión y extensión por lo tanto se analiza su funcionamiento durante el ciclo de marcha humana.

En la Figura 51, se observa el proceso de funcionamiento del resorte durante la marcha humana, se toma en consideración la fase de balanceo en la cual la pierna comienza a flexionarse hasta un máximo ángulo para luego proceder con la extensión de la misma.

**Figura 51**

*Análisis de trabajo del resorte*



Fuente: Modificado de: [5]

Con estos antecedentes se requiere diseñar el resorte tomando en cuenta que en la prótesis de rodilla no debe haber mayor fuerza que se oponga al momento de la máxima flexión que se da en la fase de balanceo inicial y que el dispositivo debe proveer la suficiente fuerza para poder extender la prótesis.

El resorte se diseñará según los requerimientos iniciales de diseño especificados en la Tabla 28 es decir con una fuerza en longitud de operación de 231,40 N, fuerza que se requiere para poder extender la prótesis de rodilla y con los parámetros de la Tabla 29.

**Tabla 28***Requerimientos iniciales de diseño*

<b>Detalle</b>	<b>Tipo</b>	<b>Observación</b>
Tipo de resorte	Helicoidal de compresión	Se comprimen hasta su posición de trabajo para luego proveer una determinada fuerza de extensión
Tratamiento en los extremos	Extremos a escuadra y esmerilados	Se dispone de una superficie plana con lo cual se puede asentar el resorte y proveer una mejor transferencia de carga
Material	Alambre de Acero inoxidable AISI 304	Utilizada en maquinaria de la industria química médica y alimenticia
Factor crítico	Longitud de operación	Al momento de extenderse deberá proveer una determinada fuerza
Consideraciones de instalación	Se instala en un orificio cilíndrico	Prever márgenes adecuado de instalación

**Tabla 29***Parámetros iniciales de diseño*

<b>Designación</b>	<b>Referencia</b>	<b>Valor</b>
$d_{IC}$	Diámetro interior del cilindro	30,2 mm
$L_{IR}$	Longitud instalada	74,40mm
$L_{OR}$	Longitud de operación	41,30mm
$F_{OR}$	Fuerza en longitud de operación	231,40 N
$F_{IR}$	Fuerza en longitud instalada	0 N
$G_R$	Módulo de elasticidad ante esfuerzo de corte	69000 Mpa
$E_R$	Módulo de tensión	193000Mpa

Ecuación 22. Razón de resorte.

$$k_R = \frac{F_{OR} - F_{IR}}{L_{IR} - L_{OR}}$$

$$k_R = \frac{231,40 - 0}{74,40 - 41,30}$$

$$k_R = 6,98 \text{ N/mm}$$

Ecuación 23. Longitud libre.

$$L_{fR} = L_{IR} - \frac{F_{IR}}{k_R}$$

$$L_{fR} = 74,4 - \frac{0}{6,98}$$

$$L_{fR} = 74,4 \text{ mm}$$

Se estima un diámetro medio,  $D_M = 23 \text{ mm}$ ; será más pequeño que el diámetro externo y más grande que el diámetro interior. Se supone el factor de Wahl,  $K=1,2$  [6].

La tensión de diseño inicial para el Acero AISI 304, para un servicio promedio se tiene de 589 Mp. [36].

Ecuación 24. Diámetro del alambre

$$D_W = \left[ \frac{8KF_o D m}{\pi \tau_d} \right]^{1/3}$$

$$D_W = \left[ \frac{8 * 1,2 * 231,40 * 23}{\pi * 589} \right]^{1/3}$$

$$D_W = 3,02 \text{ mm}$$

Se selecciona un tamaño de alambre de 3 mm y se procede a verificar los datos. Tensión de diseño inicial para un diámetro  $D_w = 3,00 \text{ mm}$  para el Acero AISI 304, para un servicio promedio se tiene:  $\tau_R = 655,5 \text{ Mpa}$ , entonces:

Ecuación 25. Diámetro del alambre.

$$D_W = \left[ \frac{8KF_0 D m}{\pi \tau_d} \right]^{1/3}$$

$$D_W = \left[ \frac{8 * 1,2 * 231,40 * 23}{\pi * 655,5} \right]^{1/3}$$

$$D_W = 2,92$$

Se selecciona un diámetro de alambre de 3 mm.

Ecuación 26. Calculo índice del resorte.

$$C = \frac{Dm}{D_W}$$

$$C = \frac{23}{3}$$

$$C = 7,67$$

Ecuación 27. Factor de Wah.

$$k = \frac{4C-1}{4C-4} + \frac{0,615}{C}$$

$$k = \frac{4*7,67-1}{4*7,67-4} + \frac{0,615}{7,67}$$

$$k = 1,19$$

Ecuación 28. Numero de bobinas activas.

$$N_a = \frac{G_R D_W}{8 k_R C^3}$$

$$N_a = \frac{69000 * 3}{8 * 6,98 * 7,67^3}$$

$$N_a = 8,22$$

El número de bobinas que se utilizará será de  $N_a = 8$

Ecuación 29. Razón del resorte.

$$k_R = \frac{G_R D_W}{8 C^3 N_a}$$

$$k_R = \frac{69000 * 3}{8 * 7,67^3 * 8}$$

$$k_R = 7,17$$

Ecuación 30. Fuerza en longitud de operación.

$$F_{OR} = (L_{IR} - L_{OR}) * k_R$$

$$F_{OR} = (74,40 - 41,30) * 7,17$$

$$F_{OR} = 237,33 \text{ N}$$

Ecuación 31. Longitud comprimida  $L_s$ .

$$L_s = D_w(N_a + 2)$$

$$L_s = 3(8 + 2)$$

$$L_s = 30 \text{ mm}$$

Ecuación 32. Fuerza en longitud comprimido.

$$F_s = k_R(L_{fR} - L_s)$$

$$F_s = 7,17(74,4 - 30,66)$$

$$F_s = 313,62 \text{ N}$$

Ecuación 33. Espaciamento.

$$p = \frac{L_{fR} - 2D_w}{N_a}$$

$$p = \frac{74,40 - 2 * 3}{8}$$

$$p = 8,55 \text{ mm}$$

Ecuación 34. Diámetro exterior.

$$OD = D_M + D_w$$

$$OD = 23 + 3$$

$$OD = 26 \text{ mm}$$

Ecuación 35. Diámetro interior.

$$ID = D_M - D_w$$

$$ID = 23 - 3$$

$$ID = 20 \text{ mm}$$

Ecuación 36. Diámetro exterior en la longitud de comprimido.

$$ODs = \sqrt{D_M^2 + \frac{p^2 - D_W^2}{\pi^2}} + D_W$$

$$ODs = \sqrt{23^2 + \frac{8,55^2 - 3^2}{\pi^2}} + 3$$

$$ODs = 23,21mm$$

Ecuación 37. Angulo de espaciamento.

$$\lambda = \tan^{-1} \left[ \frac{p}{\pi Dm} \right]$$

$$\lambda = \tan^{-1} \left[ \frac{8,55}{\pi * 23} \right]$$

$$\lambda = 6,75^\circ$$

Se requiere un resorte extremo a escuadra y esmerilados entonces:

Ecuación 38. Numero de espiras totales.

$$N_t = N_a + 2$$

$$N_t = 8 + 2$$

$$N_t = 10$$

Ecuación 39. Tensión real de operación.

$$\tau_{OR} = \frac{8kF_{OR}Dm}{\pi D_W^3}$$

$$\tau_{OR} = \frac{8 * 1,19 * 237,33 * 23}{\pi * 3^3}$$

$$\tau_{OR} = 612,64 \text{ N/mm}^2$$

Ecuación 40. Tensión de Von Mises.

$$\sigma_{Von Mises} = \sqrt{3} \cdot \tau_{OR}$$

$$\sigma_{Von Mises} = \sqrt{3} * 612,64$$

$$\sigma_{Von Mises} = 1034.61$$

Ecuación 41. Factor de seguridad.

$$\eta_R = \frac{\tau_R}{\tau_{OR}}$$

$$\eta_R = \frac{655,5}{612,64}$$

$$\eta_R = 1,07$$

En la Tabla 30, se observa el detalle de los requerimientos del resorte a diseñarse y en la Figura 52, el grafico del resorte final.

**Figura 52**  
*Resorte final*



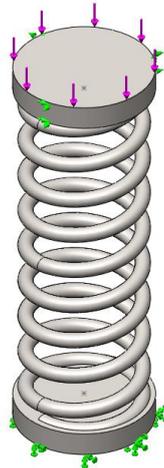
**Tabla 30**

*Parámetros finales de diseño*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Numero de bobinas activas:	8
Numero de bobinas totales:	10
Longitud comprimida Ls	30,66mm
Longitud libre Lf:	74,4 mm
Fuerza en longitud comprimido	313,62 N
Espaciamiento	8,55 mm
Diámetro exterior:	26 mm
Diámetro interior:	20mm
Diámetro exterior en la longitud de comprimido	23,21 mm
Angulo de espaciamento	6, 75°
Diámetro del alambre	3 mm
Fuerza en longitud de operación	237,33 N

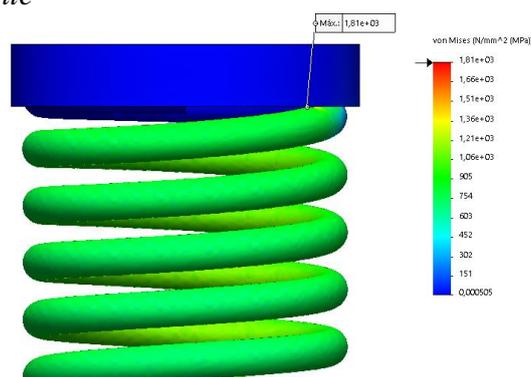
**Análisis de elementos finitos.** Se procede a realizar un análisis por elementos finitos, se establece el material del cual estará fabricado AISI -304, la carga a la que está sometida es de 237,33 N que se aplicara sobre la superficie de una pieza adicional Figura 53.

**Figura 53**  
*Disposición de cargas y sujeciones*



El valor del máximo esfuerzo está ubicado en un punto de contacto entre la base superior y el extremo del resorte Figura 54. Este valor no se lo tendrá en cuenta. Para comprobar el valor máximo de la tensión de Von Mises en el resorte se utilizará la herramienta Iso Superficie.

**Figura 54**  
*Máximo esfuerzo resultante*



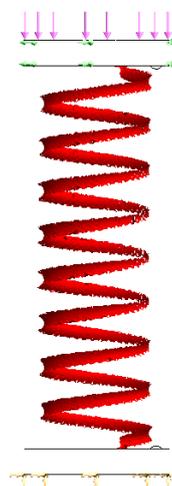
En la Figura 55, se muestra la Iso Superficie realizada sobre el modelo, se obtiene un valor de  $\sigma_{VM,max} = 1010 \text{ MPa}$

**Figura 55***Máximo esfuerzo resultante.***Tabla 31***Resultados resorte, máximo esfuerzo mediante el método analítico y Solidworks Simulation*

$\sigma_{max}(MPa)$		
Sección	Calculo analítico	SW simulation
Cilindro	1034,61 MPa	1010 MPa

Al momento de comparar los resultados descritos en la Tabla 31, podemos ver que hay una diferencia entre el valor analítico calculado que es menor al valor obtenido en solidworks Simulation método grafico que conduce a un análisis más preciso.

Para el factor de seguridad se muestra la Iso Superficie realizada sobre el modelo, Figura 56 y se obtiene un valor de  $\eta = 1,22$

**Figura 56***Factor de seguridad resultante.*

**Tabla 32**

*Resultados resorte, factor de seguridad mediante el método analítico y Solidworks Simulation*

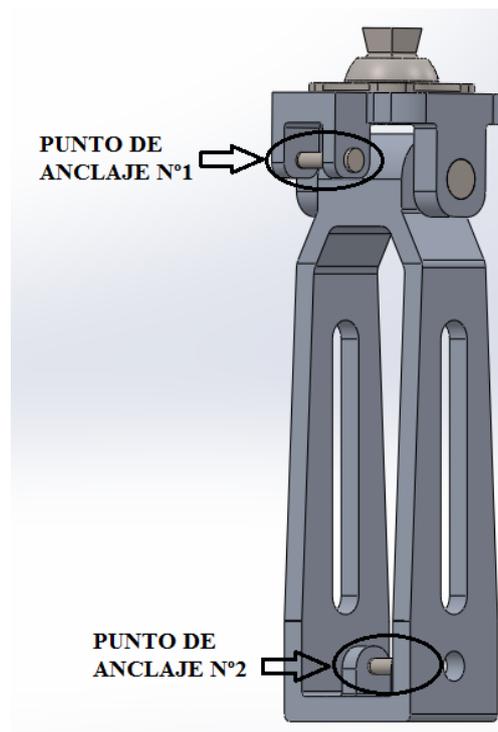
	$\sigma_{max}(MPa)$	
Sección	Calculo analítico	SW simulation
Cilindro	1,07	1,22

Al momento de comparar los resultados descritos en la Tabla 32, podemos ver que hay una diferencia entre el valor analítico calculado que es menor al valor obtenido en Solidworks Simulation método grafico que conduce a un análisis más preciso. Se concluye el resorte resistirá la fuerza a la cual estará sometido durante el funcionamiento del dispositivo

### 3.4.2. Horquilla

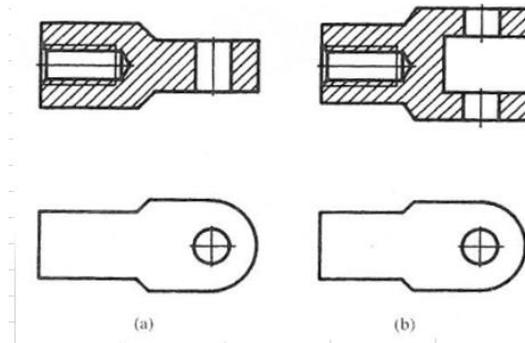
La estructura de prótesis de rodilla dispone de un anclaje superior y otro inferior, Figura 57; los mismos que disponen de pasadores en donde va a ir sujeto el dispositivo amortiguador. En el anclaje superior se acoplará la horquilla con sus respectivos bocines y en el anclaje inferior se acoplará la tapa inferior igualmente con sus respectivos bocines.

**Figura 57**  
*Puntos de anclaje.*



Para la realización del anclaje superior a la estructura se dispone de varios tipos de horquillas o cabeza de vástagos, de acuerdo al tipo de trabajo que realiza el dispositivo de amortiguación el cual es lineal y en donde no se dispone de desalineaciones durante el funcionamiento, disponemos de dos tipos comunes que se los observa en la Figura 58.

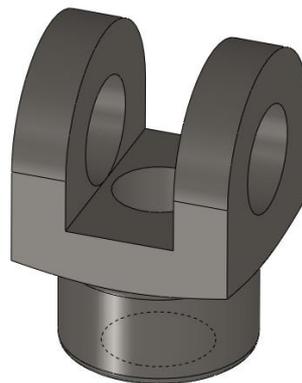
**Figura 58**  
*Cabeza de vástago*



Cabeza de vástago, a) tipo macho, b) tipo hembra con dos orejas. Fuente: Disponible en: [6]

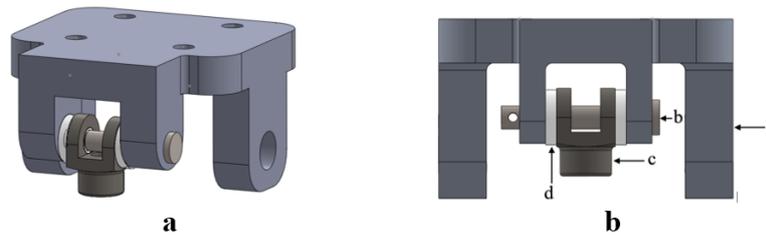
Según la estructura dispuesta para el anclaje del dispositivo amortiguador que consta de un pasador, se ha diseñado la horquilla tipo hembra de dos orejas Figura 59; se ha tomado en cuenta el acople de los bocines y el acople al eje que será por medio de una unión atornillada.

**Figura 59**  
*Vista lateral cabeza de vástago tipo hembra de dos orejas*



**Diseño.** Para determinar las cargas a las cuales va a estar sujeto esta pieza se considera la disposición de las partes del ensamblaje, en la Figura 60 a) se puede observar una vista lateral del acoplamiento al que esta sujeto y en la Figura 60 b) la vista frontal que detalla las diferentes partes que conforman el conjunto de sujeción superior, el mismo esta compuesto por las siguientes elementos: a) base móvil, b) pasador, c) horquilla, d) bocines.

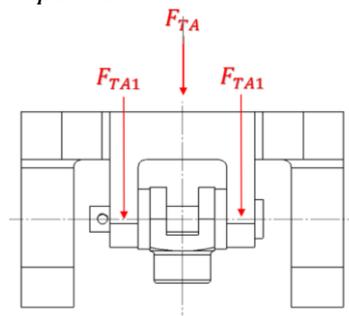
**Figura 60**  
*Acoplamiento superior*



Acoplamiento superior, a) Vista lateral , b) partes del conjunto de sujeción superior.

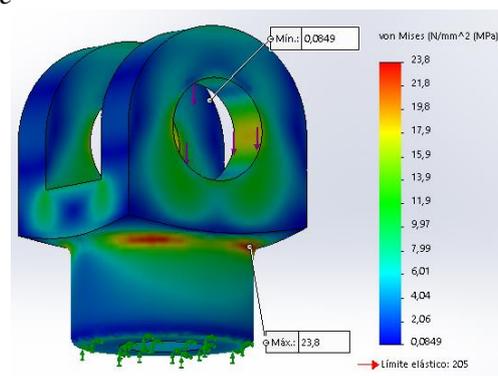
La fuerza a las que está sujeto el conjunto de sujeción superior se muestran en la Figura 61, la misma es una fuerza de aplastamiento que actúa sobre la parte superior de la prótesis de rodilla y se distribuye a la horquilla.

**Figura 61**  
*Fuerzas aplicadas acoplamiento superior*



**Análisis de elementos finitos.** Se procede a realizar un análisis, se establece el material del cual estará fabricado AISI -304, la carga a la que está sometida es de 337.67 N en cada brazo de la horquilla y se analizara la fuerza de aplastamiento que tiene lugar en los orificios por donde se acopla el pasador.

**Figura 62**  
*Maximo esfuerzo resultante*



**Tabla 33**

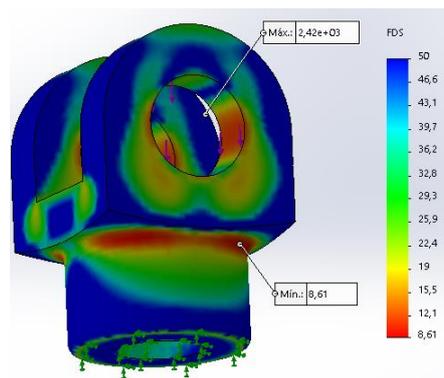
*Resultados horquilla, máximo esfuerzo mediante el método Solidworks Simulation*

<i>Sección</i>	<i><math>\sigma_{max}(MPa)</math></i>
	SW simulation
Horquilla	23,8

En la Tabla 33, podemos observar el valor y en la Figura 62 el lugar donde se encuentra el máximo esfuerzo resultante, se concluye que el componente está dentro de su rango elástico y no ha alcanzado su límite de resistencia. En este caso, el componente debería ser capaz de soportar las cargas aplicadas sin experimentar deformaciones plásticas permanentes.

**Figura 63**

*Factor de seguridad resultante*

**Tabla 34**

*Resultados horquilla, factor de seguridad mediante el método Solidworks Simulation*

<i>Sección</i>	<i><math>\sigma_{max}(MPa)</math></i>
	SW simulation
Cilindro	10,3

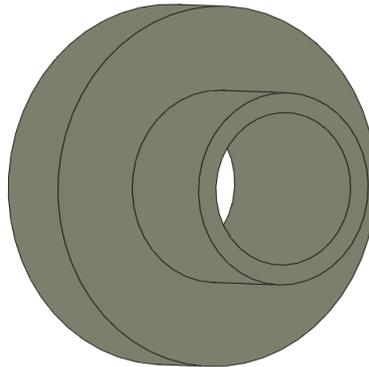
En la Tabla 34, podemos observar el valor y en la figura 27 el lugar donde se encuentra el mínimo valor del factor de seguridad, se concluye que la horquilla resistirá la fuerza a la cual estará sometido durante el funcionamiento del dispositivo.

### 3.4.3. Bocín

Para el adecuado funcionamiento de la horquilla se dispondrá de bocines Figura 64, elemento mecánico hueco que se coloca sobre otro elemento que gira y que cumple la función de protección al desgaste por efecto del rozamiento.

**Figura 64**

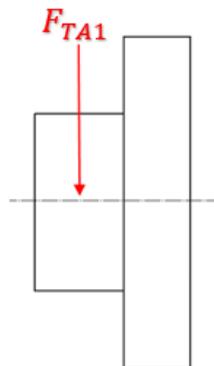
*Dimensiones del bocín*



**Diseño.** Los bocines están sujetos a una fuerza de aplastamiento que se puede visualizar en la Figura 65 y que viene definido de la siguiente manera.

**Figura 65**

*Fuerzas aplicadas*



Ecuación 42. Esfuerzo de aplastamiento bocín.

$$\sigma_{APB} = \frac{F_{TA1}}{A_B}$$

$$\sigma_{APH} = \frac{337,67}{25,4}$$

$$\sigma_{APH} = 13,29 \text{ N/mm}^2$$

Donde:

$A_B$  área de aplastamiento bocín

Ecuación 43. Factor de seguridad bocín.

$$F_{SB} = \frac{Sy}{\sigma_{APH}}$$

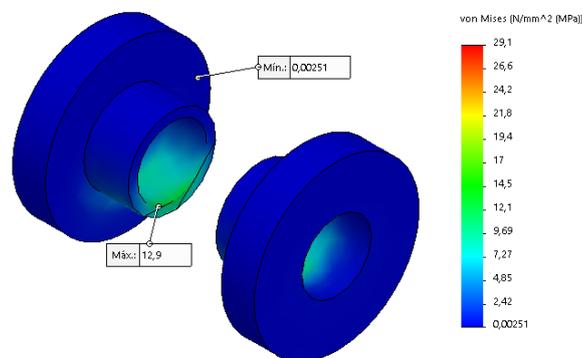
$$F_{SB} = \frac{139,04}{13,29}$$

$$F_{SB} = 10,48$$

**Análisis de elementos finitos.** Se procede a realizar un análisis por elementos finitos, se establece el material del cual estará fabricado Nailon 6-10, material que tiene buena resistencia a la fatiga, al desgaste y resistencia a los agentes químicos. La carga a la que está sometida es de 337.67 N, se analizara la fuerza de aplastamiento que tiene lugar en los orificios por donde se acopla el pasador.

**Figura 66**

*Máximo esfuerzo resultante*



**Tabla 35**

*Resultados bocín, máximo esfuerzo mediante el método analítico y Solidworks Simulation*

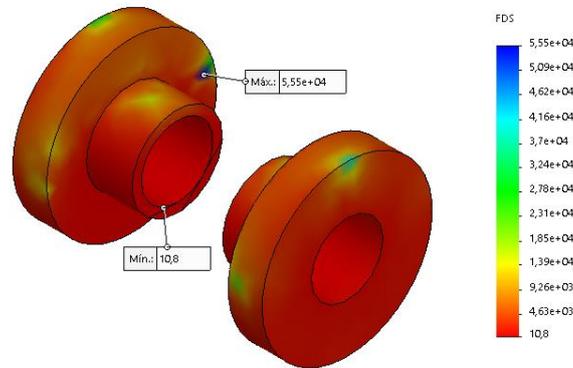
	$\sigma_{max}(MPa)$	
Sección	Calculo analítico	SW simulation
Cilindro	13,29	12,9

En la Figura 66, podemos observar el valor y el lugar donde se encuentra el máximo esfuerzo resultante, al momento de comparar los resultados descritos en la Tabla 35 podemos

ver que hay una diferencia entre el valor analítico calculado que es mayor al valor obtenido en solidworks Simulation método grafico que conduce a un análisis más preciso.

**Figura 67**

*Factor de seguridad resultante*



**Tabla 36**

*Resultados bocín, factor de seguridad mediante el método analítico y Solidworks Simulation*

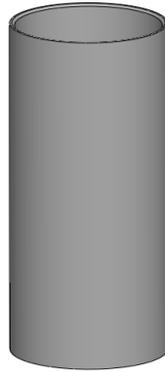
		$F_{SB}$
Sección	Calculo analítico	SW simulation
Cilindro	10,48	10,80

En la Figura 67 podemos observar el valor del factor de seguridad, al momento de comparar los resultados descritos en la Tabla 36, podemos ver que hay una diferencia entre el valor analítico calculado que es menor al valor obtenido en solidworks Simulation método grafico que conduce a un análisis más preciso. Se concluye que la horquilla resistirá la fuerza a la cual estará sometido durante el funcionamiento del dispositivo.

#### **3.4.4. Cilindro**

El cilindro Figura 68, es el cuerpo del amortiguador, en sus extremos estará acoplada a las tapas y por su parte interna avanzará tanto el eje como el pistón. El acabado superficial de la cara interior del cilindro tiene un profundo efecto en las condiciones de contacto deslizante entre el pistón y el cilindro por lo que afectara al comportamiento del sistema. Es por eso que la superficie de deslizamiento debe tener un adecuado acabado superficial que se lo obtiene mediante procesos de mecanizado ya sea mediante bruñido o pulido con rodillo,

**Figura 68**  
*Cilindro*

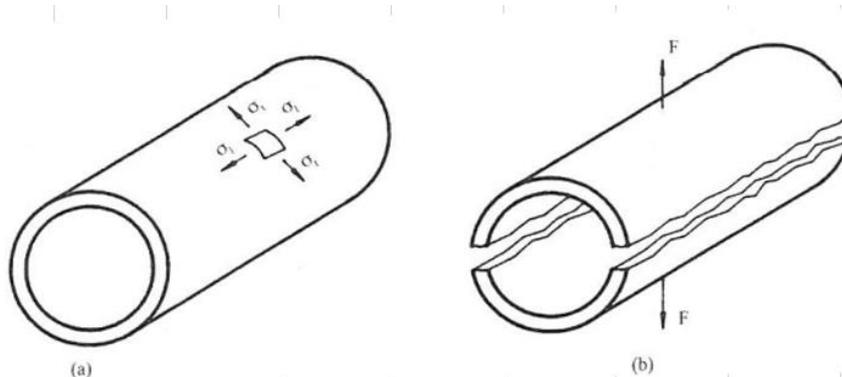


Debido a este avance del pistón dentro del cilindro, el mismo estará sometido a una determinada presión interior que se generan al momento de trabajar tanto en compresión como a extensión, dicha presión genera dos tensiones normales a tracción: tensión tangencial y tensión longitudinal.

En la Figura 69 a), podemos observar la tensión tangencial  $\sigma_t$  que tiende a producir la rotura del elemento y en la Figura 76 b), la tensión longitudinal que tiene tendencia a separar el cilindro en dos partes.

Según [6], “puede omitirse la tensión longitudinal mencionada y bastara con considerar en la evaluación de la pared solamente la tensión tangencial que será la que se igualara la tensión admisible del material”.

**Figura 69**  
*Distribución de tensiones en cilindros*



Distribución de tensiones en cilindros a) tensión tangencial b) tensión longitudinal Fuente:

Disponibile: [6]

Ecuación 44. Presión en el interior del cilindro.

$$P_{IC} = \frac{F_{MA}}{A_{TC}}$$

$$P_{IC} = \frac{675,33}{716,31}$$

$$P_{IC} = 0,94 \frac{N}{mm^2}$$

Donde:

$P_{IC}$  presión en el interior del cilindro

$F_{MA}$  fuerza máxima aplicada

$A_{TC}$  área transversal del cilindro

Ecuación 45. Tensión máxima soportada por el cilindro.

$$\sigma_{tc} = \frac{P_{IC} * d_{IC}}{2 * e}$$

$$\sigma_{tc} = \frac{0,94 * 30,20}{2 * 1}$$

$$\sigma_{tc} = 14,19 \frac{N}{mm^2}$$

Donde:

$d_{IC}$  diámetro interior del cilindro

$e$  espesor de la pared del cilindro

$\sigma_{tc}$  tensión tangencial cilindro

Entonces:

$$\sigma_{tc} = \sigma_{adm}$$

$\sigma_{adm}$  tensión admisible en el material

Se toma la tensión de trabajo como tensión máxima admisible y se determina el coeficiente de seguridad con el que está trabajando el material.

Ecuación 46. Tensión admisible en el material.

$$\sigma_{adm} \leq \frac{\sigma_e}{C_{SC}}$$

Donde:

$C_{SC}$  coeficiente de seguridad cilindro

$\sigma_e$  límite elástico del material (Aluminio 7075 -  $505 \frac{N}{mm^2}$ )

Ecuación 47. Coeficiente de seguridad cilindro.

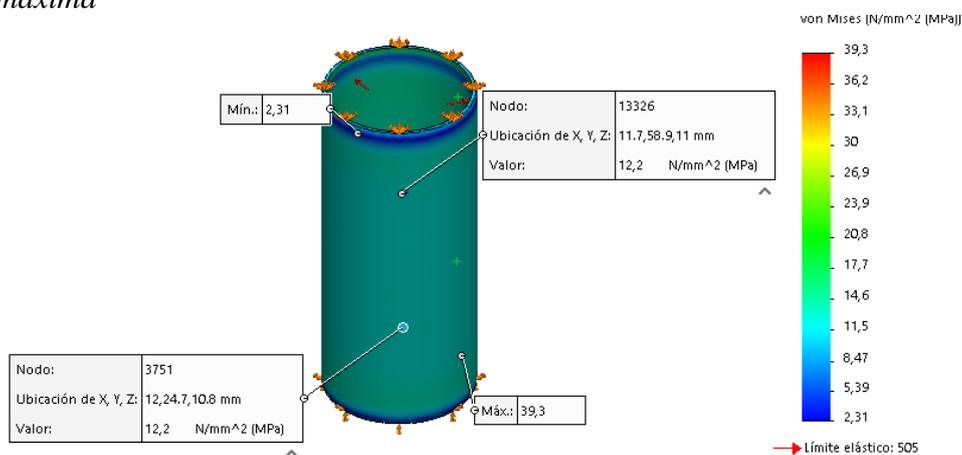
$$C_{SC} \leq \frac{\sigma_e}{\sigma_{adm}}$$

$$C_{SC} \leq \frac{505}{14,19}$$

$$C_{SC} = 35,59$$

**Análisis de elementos finitos.** Se procede a realizar un análisis estático, se coloca sujeciones en las caras de los extremos, luego la carga en las paredes internas del cilindro que es este caso es la presión a la cual está sometido el cilindro  $0,94 \frac{N}{mm^2}$  y finalmente se realiza el mallado.

**Figura 70**  
*Tensión máxima*



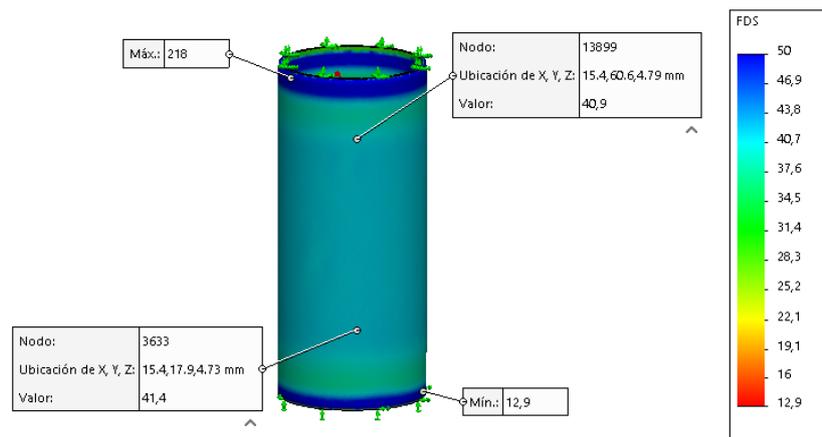
**Tabla 37**

*Resultados cilindro, tensión máxima mediante el método analítico y Solidworks Simulation.*

	$\sigma_{max}(MPa)$	
Sección	Calculo analítico	SW simulation
Cilindro	14,19	12,2

En la Figura 70 podemos observar el valor de la tensión máxima, al momento de comparar los resultados descritos en la Tabla 37 podemos ver que hay una diferencia entre el valor analítico calculado que es mayor al valor obtenido en solidworks Simulation método grafico que conduce a un análisis más preciso. Se concluye que el valor obtenido está muy por debajo del límite elástico del material por lo que el cilindro resiste a las cargas aplicadas.

**Figura 71**  
*Factor de seguridad*



**Tabla 38**

*Resultados cilindro, factor de seguridad mediante el método analítico y Solidworks*

*Simulation*

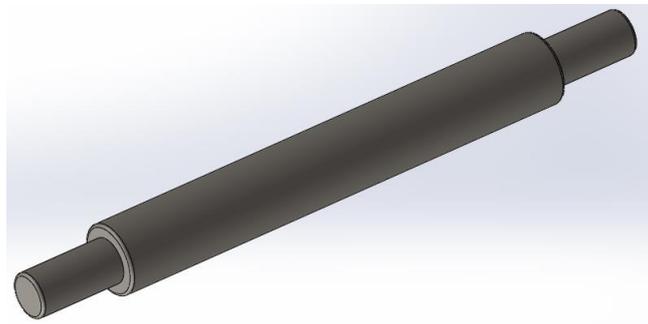
Sección	Factor de seguridad	
	Calculo analítico	SW simulation
Cilindro	35,59	40,9

En la Figura 71, observamos el factor de seguridad establecido mediante solidworks Simulation y en la Tabla 38 la comparación de resultados, podemos ver que hay una diferencia entre el valor analítico calculado que es menor al valor obtenido en solidworks Simulation método grafico que conduce a un análisis más preciso. Se concluye que el cilindro resistirá la presión a la cual estará sometido durante el funcionamiento del dispositivo.

### 3.4.5. Vástago

El vástago Figura 72, es un componente cilíndrico, en uno de sus extremos ira acoplada la cabeza de vástago y en el otro extremo al pistón; va a trabaja a tracción y compresión, por lo que la consideración de pandeo dependerá del diámetro y longitud del vástago. La pieza será diseñada empleando el material AISI 304.

**Figura 72**  
Eje



**Análisis de pandeo.** Se determina el factor de fijación  $k$ , se analiza los apoyos que sostienen los extremos del eje siendo estos extremos fijos y no existe traslación ni rotación.

$$k = 0,65$$

Ecuación 48. Radio de giro.

$$r = D_E/4$$

$$r = 12,5/4$$

$$r = D/4$$

$$r = 3,13 \text{ mm}$$

Donde:

$D_E$  diámetro del eje

Ecuación 49. Relación real de esbeltez.

$$R_E = \frac{kL_E}{r}$$

$$R_E = \frac{0,65 * 106}{3,13}$$

$$R_E = 22,01$$

Donde:

$L_E$  longitud del eje

Ecuación 50. Relación de transición de esbeltez.

$$C_C = \sqrt{\frac{2E\pi^2}{S_y}}$$

$$C_C = \sqrt{\frac{2 * 190000 * \pi^2}{241}}$$

$$C_C = 124,75$$

Donde:

$E$  módulo de elasticidad

$S_y$  resistencia a punto cedente AISI 304 = 241 Mpa

El valor de  $C_C$  representa la razón de delgadez que separa una columna larga de una corta, comparándolo con el valor de la relación de esbeltez se determinara el método de análisis del eje.

$R_E > C_C$	Columna larga
$R_E < C_C$	Columna corta

$$R_E < C_C$$

$$22,01 < 124,75$$

Ecuación 51. Carga crítica que origina pandeo.

$$P_{CR} = \frac{\pi D_E^2}{4} S_y \left[ 1 - \frac{S_y (kL_E/r)^2}{4\pi^2 E} \right]$$

$$P_{CR} = \frac{\pi * 12,5^2}{4} * 241 * \left[ 1 - \frac{241 * ((0,65 * 106)/3,13)^2}{4 * \pi^2 * 190000} \right]$$

$$P_{CR} = 29573,24 \text{ N}$$

En base al resultado obtenido se concluye que el eje no sufrirá pandeo por que la máxima carga aplicada es de 675,33 N.

Ecuación 52. Área de la sección del eje.

$$A_{SE} = \frac{\pi * D_{E1}^2}{4}$$

$$A_{SE} = \frac{\pi * 12,5^2}{4}$$

$$A_{SE} = 122,72 \text{ mm}^2$$

Donde:

$D_{E1}$  diámetro exterior del eje

Ecuación 53. Tensión máxima aplicada.

$$\sigma_E = \frac{F_{TA}}{A_{SE}}$$

$$\sigma_E = \frac{675,33}{122,72}$$

$$\sigma_E = 5,50 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Ecuación 54. Factor de seguridad del eje.

$$F_{SE} = \frac{\sigma}{\sigma_E}$$

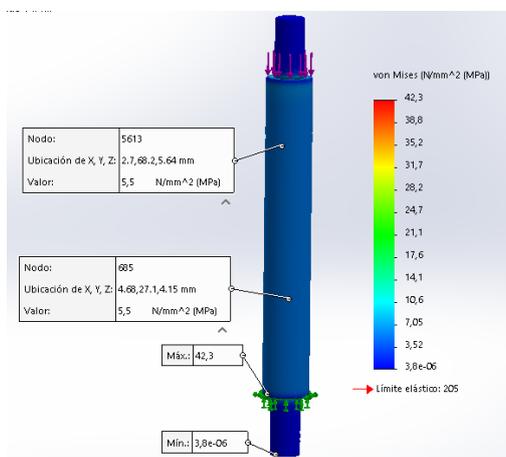
$$F_{SE} = \frac{241}{5,5}$$

$$F_{SE} = 43,81$$

**Análisis de elementos finitos.** Se ha realizado un estudio estático, se han colocado sujeciones en la parte inferior del eje y la aplicación de la fuerza se encuentra en la parte superior en la base donde se asienta la horquilla Figura 73.

### Figura 73

Tensión máxima



**Tabla 39**

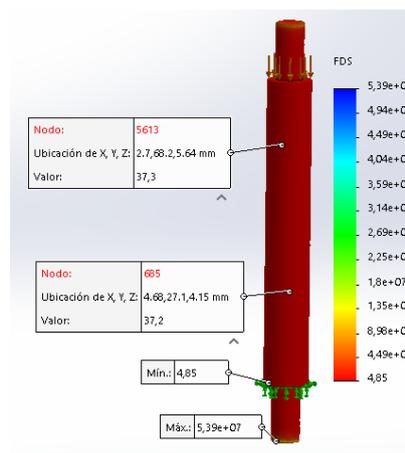
*Resultados eje, tensión máxima mediante el método analítico y Solidworks Simulation*

$\sigma_{max}(MPa)$		
Sección	Calculo analítico	SW simulation
Eje	5,5	5,5

Al momento de comparar los resultados descritos en la Tabla 39, podemos ver que hay una similitud entre el valor analítico calculado y el valor obtenido en solidworks Simulation. Se concluye que el valor obtenido está muy por debajo del límite elástico del material por lo que el eje resiste a las cargas aplicadas.

**Figura 74**

*Factor de seguridad.*

**Tabla 40**

*Resultados eje, factor de seguridad mediante el método analítico y Solidworks Simulation*

$F_{SE}$		
Sección	Calculo analítico	SW simulation
Eje	43,81	37,3

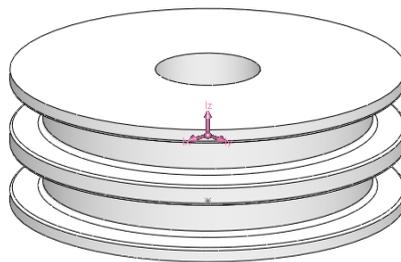
En la Figura 74, observamos el factor de seguridad establecido mediante solidworks Simulation y en la Tabla 40 la comparación de resultados, podemos ver que hay una diferencia entre el valor analítico calculado que es mayor al valor obtenido en solidworks Simulation

método gráfico que conduce a un análisis más preciso. Se concluye que el eje resistirá la fuerza a la cual estará sometido durante el funcionamiento del dispositivo.

### 3.4.6. Pistón

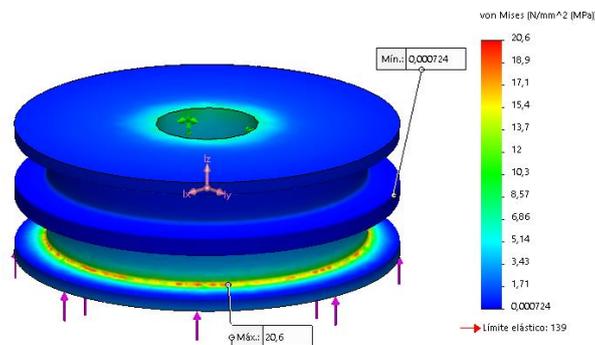
El pistón Figura 75, es una pieza móvil que se acopla a uno de los extremos del vástago. En su estructura se instalan los anillos O-ring dinámicos, los cuales permiten un desplazamiento suave a lo largo del cilindro. Para el análisis estático, el pistón estará sometido en su cara inferior a la fuerza que genera el amortiguador al momento de realizar la fase de extensión; el material que se escogido es el Naylon 6/10, el cual es un termoplástico con características como capacidad de amortiguación a golpes, resistencia al desgaste, resistente a los aceites y buena facilidad de mecanizado entre otras

**Figura 75**  
*Pistón*



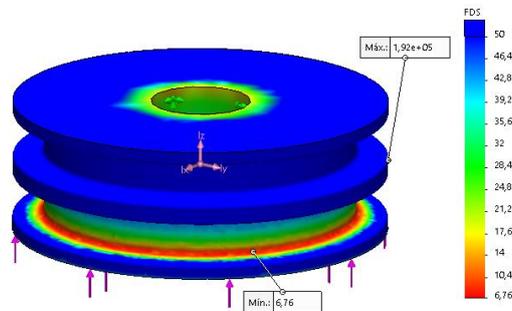
**Análisis de elementos finitos.** Se ha realizado un estudio estático, se han colocado sujeciones en la parte media del pistón y la aplicación de la fuerza se encuentra en la parte inferior, misma que será aplicada por el resorte.

**Figura 76**  
*Tensión máxima*



En la Figura 76 podemos observar el valor obtenido en solidworks Simulation, el valor obtenido está muy por debajo del límite elástico del material por lo que el pistón resiste a las cargas aplicadas.

**Figura 77**  
*Factor de seguridad*



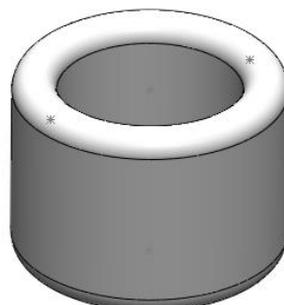
En la Figura 77, observamos el factor de seguridad establecido mediante solidworks Simulation el cual es de 6.76, se concluye que el pistón resistirá la fuerza a la cual estará sometido durante el funcionamiento del dispositivo.

### 3.4.7. *Tope*

Este componente Figura 78, limita la carrera de del dispositivo al momento de la extensión, evita que el pistón tenga contacto con la tapa superior, se lo instala en el eje, sus dimensiones se las ha definido en base a la máxima extensión del dispositivo de amortiguación medida que hace referencia a la máxima extensión de la prótesis de rodilla.

El material utilizado para su fabricación es el Nailon 6/10 el cual es un termoplástico con características como capacidad de amortiguación a golpes, resistencia al desgaste, resistente a los aceites y buena facilidad de mecanizado entre otras.

**Figura 78**  
*Tope*



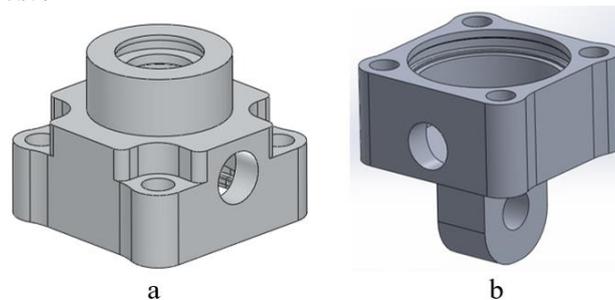
### 3.4.8. Tapas

Son componentes que van acoplados en los extremos del cilindro del amortiguador, por lo que están sometidas a presiones que tratan de desprenderlo del cilindro al cual va acoplado; existen diversas configuraciones de unión al cilindro como son por soldadura o desmontables.

En la Figura 79, se muestra el diseño previsto de la tapa superior (a) y la tapa inferior (b) del cilindro, con una unión desmontable configurada mediante tirantes. Para garantizar la estanqueidad y evitar pérdidas de fluido, se ha considerado diseñar ranuras internas en ambas tapas, donde se colocarán los elementos de estanqueidad necesarios.

#### Figura 79

*Diseño de tapas propuesto*



Diseño de tapas propuesto: a) tapa superior, b) tapa inferior.

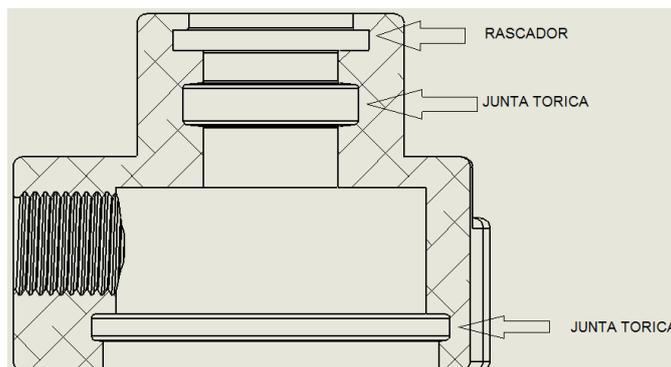
**Juntas Tóricas(O-ring).** El trabajo que realizan son las de evitar escapes de fluido desde el interior hacia el exterior, debe resistir altas presiones, resistencias al desgaste y no descomponerse en presencia del aceite.

**Rascadores.** Son elementos que van montados en ranuras diseñadas específicamente en la tapa superior del cilindro, cumplen la función de limpiar cualquier suciedad, polvo, etc., del eje en su carrera de retorno, con esto se previene la contaminación del medio hidráulico del dispositivo de amortiguación.

**Tapa Superior.** La tapa superior se encuentra especialmente diseñada de manera que a través de ella va a ingresar el eje y permitir su movimiento, para asegurar la estanqueidad se dispone de una configuración una junta tórica y un rascador que se puede visualizar en la Figura 80.

**Figura 80**

*Descripción de ranuras para rascador y juntas tóricas*

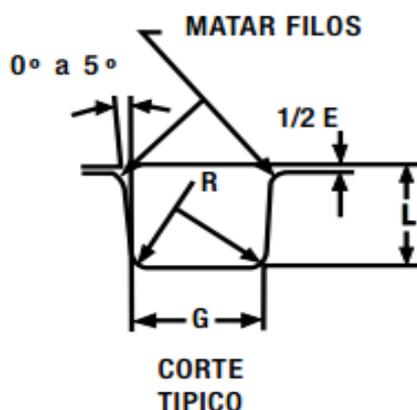


**Diseño de Alojamiento para O-ring Estático.** El sello o-ring está definido por su sección interna denominado  $W$  y su diámetro interno denominado  $DI$ , para lograr una estanqueidad adecuada, el sello debe deformar su sección  $W$  lo cual se logra con el correcto dimensionamiento de la ranura donde ira montada.

Para el dimensionamiento de la ranura para él o-ring nos vamos a direccionar en los catálogos los mismos proveen los parámetros para su diseño, en la Figura 81, podemos observar las dimensiones asociadas con la ranura a diseñar.

**Figura 81**

*Diseño de ranura para o-ring*



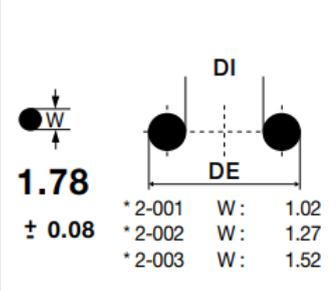
Fuente: Disponible en: [7]

Se ha seleccionado las dimensiones de la ranura donde ira montada el o-ring estático, estas se muestran en la Tabla 41; las dimensiones del o-ring se muestran en la Figura 82. Para uso estático, el aplastamiento vario del 12 % al 25 %.

**Tabla 41***Datos característicos de la ranura tapa superior*

Elemento a instalar	l(mm)	g(mm)	R(mm)
O-ring	1,35	2,5	0,4

**Figura 82***Dimensiones del o-ring estático 2-026.*

	Parker N°	DI mm	DE mm	Parker N°	DI mm	DE mm	Parker N°	DI mm	DE mm
	*2-001 W: 1.02 *2-002 W: 1.27 *2-003 W: 1.52	2-001*	0.74	2.78	2-011	7.65	11.21	2-021	23.52
	2-002*	1.07	3.61	2-012	9.25	12.81	2-022	25.12	28.68
	2-003*	1.42	4.46	2-013	10.82	14.38	2-023	26.70	30.26
	2-004	1.78	5.34	2-014	12.42	15.98	2-024	28.30	31.86
	2-005	2.57	6.13	2-015	14.00	17.56	2-025	29.87	33.43
	2-006	2.90	6.46	2-016	15.60	19.16	2-026	31.47	35.03
	2-007	3.68	7.24	2-017	17.17	20.73	2-027	33.05	36.61
	2-008	4.47	8.03	2-018	18.77	22.33	2-028	34.65	38.21
	2-009	5.28	8.84	2-019	20.35	23.91	2-028	37.82	42.38
	2-010	6.07	9.63	2-020	21.95	25.51	2-030	41.00	44.56

Fuente: Disponible en: [7]

**Diseño de Alojamiento para O-ring Dinámico.** Para el dimensionamiento de la ranura para el o-ring dinámico, nos vamos a direccionar en los catálogos los mismos proveen los parámetros para su diseño, en la Figura 81, podemos observar las dimensiones asociadas con la ranura a diseñar.

Se ha seleccionado las dimensiones de la ranura donde ira montada el o-ring dinámico, estas se muestran en la Tabla 42; las dimensiones del o-ring se muestran en la Figura 83. Para uso estático, el aplastamiento vario del 8 % al 20 %

**Tabla 42***Datos característicos de la ranura tapa superior*

Elemento a instalar	l(mm)	g(mm)	r(mm)
O-ring	2,3	3,7	0,4

**Figura 83**

*Dimensiones del o-ring estático AX-110*

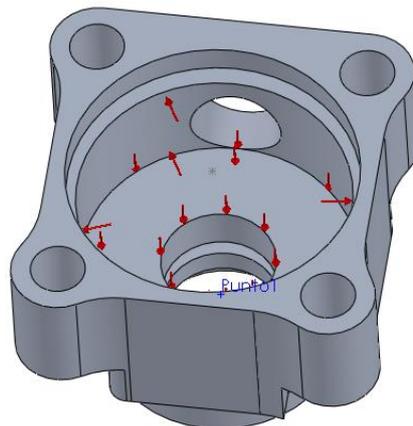
e=2.62	
Código	Medidas (mm)
A-102	1.24 x 2.62
A-103	2.06 x 2.62
A-104	2.84 x 2.62
A-105	3.63 x 2.62
A-106	4.42 x 2.62
A-107	5.23 x 2.62
A-108	6.02 x 2.62
AX-106	7.52 x 2.62
A-109	7.59 x 2.62
AX-107	9.13 x 2.62
A-110	9.19 x 2.62
AX-108	9.92 x 2.62
A-111	10.77 x 2.62
AX-110	11.91 x 2.62

Fuente: Disponible en: [42]

**Análisis de Elementos Finitos.** Se procede a realizar un análisis por elementos finitos, se establece el material de mecanizado Aluminio 7075-T6, así como también las sujeciones a las cuales está sujeto y en base al funcionamiento se aplica una presión  $P = 0,94 \text{ N/mm}^2$  en las caras internas Figura 84.

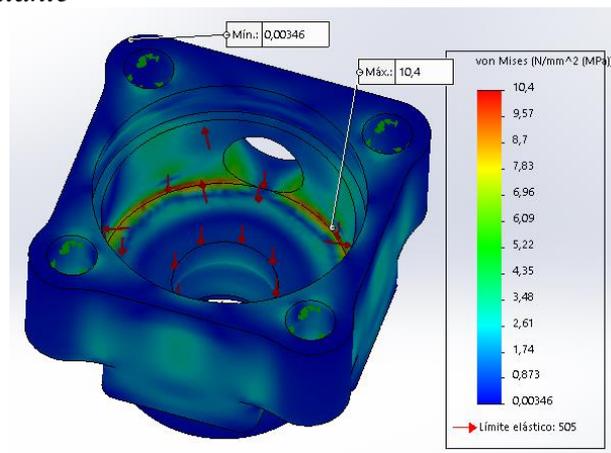
**Figura 84**

*Presión aplicada.*



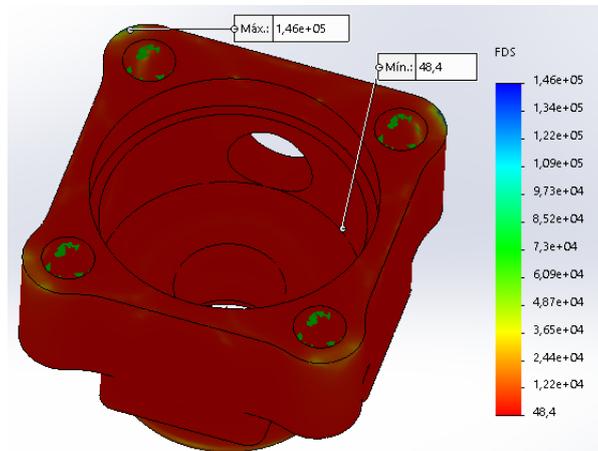
En la Figura 85, podemos observar la distribución de esfuerzos combinados de Von Miseses, el máximo valor se encuentra arista circular con un valor de  $10,4 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

**Figura 85**  
Máximo esfuerzo resultante



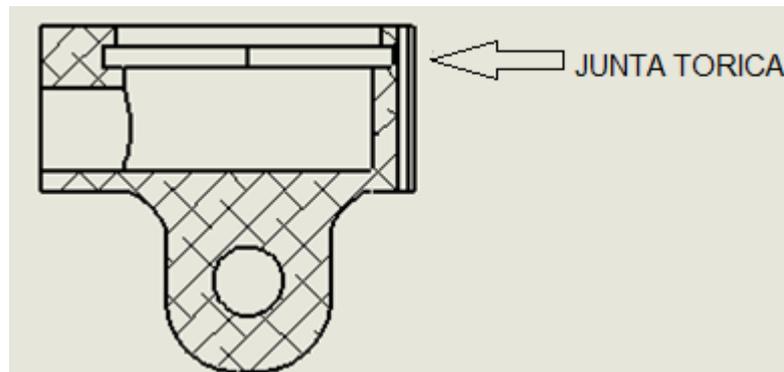
En la Figura 86, observamos el factor de seguridad establecido mediante solidworks Simulation el mismo que es un valor alto  $F_{STI} = 48,4$ . Se concluye que resistirá la presión a la cual estará sometido durante el funcionamiento del dispositivo.

**Figura 86**  
Factor de seguridad



**Tapa Inferior.** La tapa inferior se encuentra diseñada de manera que en su extremo se pueda acoplar a la estructura de prótesis de rodilla, en la Figura 87, visualizamos el corte transversal de la tapa poniendo en relevancia el diseño de la junta tórica que proveerá estanqueidad al dispositivo de amortiguación.

**Figura 87**  
Ranura en tapa inferior

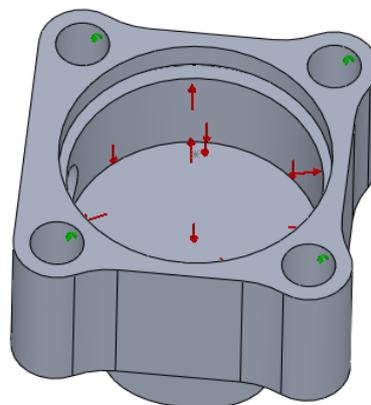


**Diseño de Alojamiento para O-ring Estático.** Al igual que en la tapa superior, el diseño del o-ring estático está definido por su sección interna denominado  $W$  y su diámetro interno denominado  $DI$ . Las dimensiones de la ranura donde ira montada serán las mismas que en la tapa superior y se muestran en la Tabla 34.

Las dimensiones del o-ring se muestran en la figura 86. Para uso estático, el aplastamiento varia del 12 % al 25 %.

**Análisis de Elementos Finitos.** Se procede a realizar un análisis por elementos finitos, se establece el material de mecanizado, las sujeciones a las cuales está sujeto y en base al funcionamiento se aplica una presión  $P = 0,94 \frac{N}{mm^2}$  en las caras internas Figura 88.

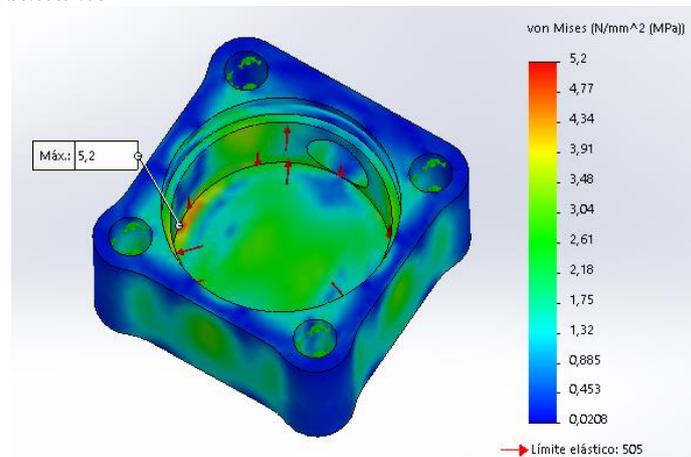
**Figura 88**  
Presión aplicada



En la Figura 89, podemos observar la distribución de esfuerzos combinados de Von Mises, el máximo valor se encuentra en la arista circular con un valor de  $5,2 \frac{N}{mm^2}$

**Figura 89**

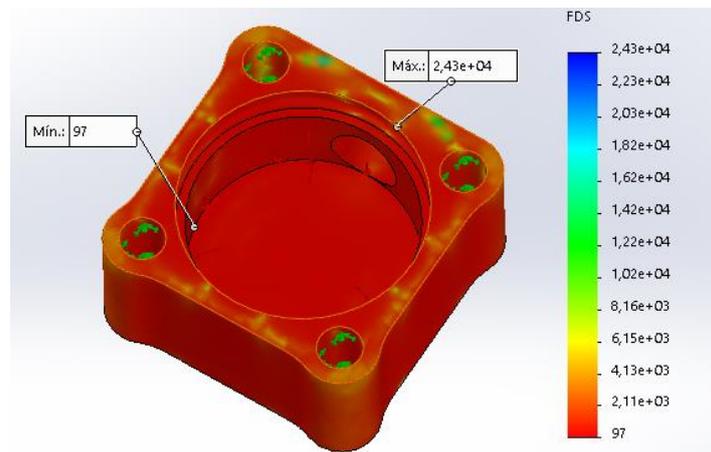
*Máximo esfuerzo resultante*



Se procede con la determinación del factor de seguridad Figura 90 establecido mediante solidworks Simulation el mismo que es un valor alto  $F_{STI} = 97$ . Se concluye que resistirá la presión a la cual estará sometido durante el funcionamiento del dispositivo.

**Figura 90**

*Factor de seguridad*



## CONCLUSIONES

- La articulación de la rodilla es una de las articulaciones más grandes y complejas del cuerpo humano, el estudio de la biomecánica de la misma es esencial para el diseño y desarrollo de un dispositivo de amortiguación para prótesis de rodilla. Proporciona información sobre los movimientos, las fuerzas y las cargas que actúan en la articulación, lo cual es fundamental para crear un amortiguador que proporcione absorción de impactos, estabilidad y funcionalidad adecuada.
- El análisis bibliográfico de dispositivos de amortiguación permitió identificar los componentes mecánicos adecuados para el diseño del amortiguador, tomando en consideración los parámetros de forma, de funcionamiento y variables asociadas al funcionamiento.
- La adecuada selección del fluido con bajo grado de viscosidad ha demostrado ser fundamental para garantizar una rápida y eficiente respuesta del sistema hidráulico contribuyendo a reducir la fricción y la pérdida de energía en el proceso de amortiguación, además la selección cuidadosa de materiales para las partes que constituyentes el dispositivo ha asegurado la resistencia, durabilidad y compatibilidad del dispositivo con el fluido elegido
- Al realizar la simulación para evaluar el comportamiento del aluminio bajo diferentes cargas, se determinó que es un material adecuado debido a su capacidad de resistencia y peso ligero.
- Se realizaron los planos de detalle para el dispositivo propuesto que tiene las siguientes características, fuerza de extensión 231,207 N, carrera de 48,61mm; el mismo es de tipo cilindro pistón que consta de un resorte que provee la fuerza de extensión y un sistema de circulación y restricción de paso del fluido.

## RECOMENDACIONES

- Utilizar tecnologías y herramientas de análisis avanzadas, como la simulación por computadora y la recolección de datos biomecánicos en tiempo real, para obtener una visión completa y precisa del comportamiento de la articulación de la rodilla.
- Durante el proceso de simulación se puede explorar nuevos materiales que puedan mejorar el rendimiento del amortiguador. Por ejemplo, el uso de materiales con propiedades de amortiguación mejoradas o la incorporación de sistemas de control activos.
- Realizar pruebas con el dispositivo prototipo de amortiguación tomando como referencia los parámetros de respuesta como son la fuerza y velocidad, con el objeto de definir su funcionamiento con diferentes configuraciones en el sistema de restricción de paso del fluido.
- Al momento de montar los o-ring en las ranuras se debe seguir varias recomendaciones que proveen los fabricantes lo que permitirá una apropiada estanqueidad como una vida útil larga.
- Se recomienda investigar un recubrimiento exterior para los componentes como son la tapa superior, inferior, cilindro para tener una conservación y evitar el deterioro de los mismos por efectos del ambiente.
- Adecuar un sistema inteligente al control de paso del fluido con lo que se podrá tener un apropiado control sobre el dispositivo de amortiguación tanto en compresión como en extensión.
- Se recomienda hacer un seguimiento sobre la durabilidad del o-ring de la tapa superior como del rascador que interactúan de manera dinámica con el eje y de los o-ring del pistón que interactúa con el cilindro.

## REFERENCIAS

- [1] Organización Mundial de la Salud, «Organización Mundial de la Salud,» 2011. [En línea]. Available: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/75356>. [Último acceso: 09 07 2023].
- [2] R. N. D. D. M. D. S. P. D. ECUADOR, «<http://www.consejodiscapacidades.gob.ec/>,» Mayo 2023. [En línea]. Available: [http://www.consejodiscapacidades.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/09/estadistica\\_conadis.pdf](http://www.consejodiscapacidades.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/09/estadistica_conadis.pdf). [Último acceso: 23 Mayo 2023].
- [3] A. Viladot, Lecciones básicas de biomecánica del aparato locomotor, España: Sringer, 2008.
- [4] E. A. Pró, Anatomía Clínica, Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana S.A.C.F., 2012.
- [5] N. Palastanga, F. Derek y R. Soames, Anatomía y movimiento humano. Estructura y funciones, Barcelona: Paidotribo, 2008.
- [6] Sociedad Española de Cirugía Ortopédica y Traumatología, Manual de cirugía ortopédica y traumatología, España: Médica Panamericana, 2010.
- [7] M. Llusá, D. Ruano y A. Merí, Manual y atlas fotográfico de anatomía del aparato locomotor, Madrid: Médica Panamericana, 2004.
- [8] M. Alter, Los estiramientos, España: Paidotribo, 2004.
- [9] R. Escobar, «Fisiología de la rodilla,» Universidad Central del Ecuador, Quito, 2012.
- [10] V. H. F. Margareta Nordin, BIOMECÁNICA BÁSICA DEL SISTEMA MUSCULOESQUELÉTICO, Madrid, 2004.
- [11] J. Daza Lesmes, Evaluacion clinico-funcional del movimiento corporal humano, Bogota: Medica Internacional, 2007.
- [12] L. D. Javier, Evaluación clínico-funcional del movimiento corporal humano, Bogota: Editorial Medica Internacional Ltda, 2007.
- [13] P. Vera, Biomecánica de la marcha humana normal y patológica, Valencia: Instituto de Biomecánica de Valencia, 2008.
- [14] Instituto de Biomecánica de Valencia, «Ciclo de la marcha normal,» 2010. [En línea]. Available: <http://www.ibv.org/>.

- [15] J. Daza Lesmes, Evaluación clínico-funcional del movimiento corporal humano, Bogota: Medica Internacional, 2007.
- [16] B. L. D. J. C. O. Christopher L. Vaughan, Dynamics of Human Gait, 1999.
- [17] M. W. Whittle, Gait Analysis an Introdiction, Elsevier, 2007.
- [18] Real Academia Española, «Real Academia Española,» 2015. [En línea]. Available: <http://lema.rae.es/drae/?val=amputaci%C3%B3n>.
- [19] D. D. G. S. Dra. María José Espinoza V., «Niveles de amputación en extremidades inferiores: repercusión en el futuro del paciente,» pp. 276-280, 2014.
- [20] Asociación de amputados-ADAEPIS, «Tipos de amputaciones,» [En línea]. Available: <http://www.amputados.com/index.php/las-amputaciones-en-espa%C3%B1a/tipos-de-amputaciones.html>.
- [21] V. Alós Jesús, Amputaciones del miembro inferior en cirugía vascular. Un problema multidisciplinar, Glosa S.L, 2008.
- [22] I. D. d. Protètica, « Manual para amputados, extremidad inferior,» [En línea]. Available: [www.desvern.cat/](http://www.desvern.cat/).
- [23] M. & N. Näder, Compendio de prótesis, Berlin: Schiele & Schön GmbH, 2000.
- [24] K. N. Pikhart, «, Design Cconsiderations for Prosthetic Knee in Developing Countries, Submitted to the Department of Mechanical Engineering; Massachusetts Institute of Technology,» 2009. [En línea].
- [25] Össur, « Össur,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.ossur.com/es-es/protésica/rodillas/total-knee-2000>.
- [26] ORLIMAN, «ORLIMAN,» 2016. [En línea].
- [27] J. D. Álvarez, «Prótesis de Rodilla Patentable,» 2013.
- [28] B. Dupes, «Lo que necesita saber sobre rodillas,» *In motion*, pp. 12-18, 2004.
- [29] Ottobock, «Ottobock,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.ottobock.com/es-mx/product/3B1-3>.
- [30] L. T. J. Xavier, MECANISMO DE ARTICULACIÓN DE RODILLA PARA PROTOTIPO DE PRÓTESIS EXTERNA BIOMECATRÓNICA, Ibarra, 2015.
- [31] R. R. T. Algarra, «Prótesis inteligente de rodilla para pacientes con amputación transfemoral,» 2009.

- [32] DIPAC, 07 2022. [En línea]. Available: <https://dipacmanta.com/wp-content/uploads/2022/07/Catalogo-actualizado-JULIO-2022.pdf-3.pdf>. [Último acceso: 01 08 2023].
- [33] Imporaceros, «Importaceros,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.importaceros.com/wp-content/uploads/2021/01/Catalogo-importaceros-2021-web.pdf>. [Último acceso: 01 08 2023].
- [34] «Aceros Industriales EPC,» 2023. [En línea]. Available: <http://www.acerosepc.com/aluminio-aleacion-7075-t6/>. [Último acceso: 01 08 2023].
- [35] J. M. N. T. G. M. EDUARDO AGUEDA CASADO, Sistemas de transmision de fuerzay trenes de rodaje, Madrid: Ediciones Paraninfo,SA, 2012.
- [36] MOTUL, «MOTUL,» 2016. [En línea]. Available: [www.motul.com](http://www.motul.com). [Último acceso: 25 Julio 2016].
- [37] Shell, «AEROSHELL HYDRAULIC FLUIDS,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.shell.com/>. [Último acceso: 2016].
- [38] Festo, «Tubos de plástico, con calibración exterior,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.festo.com/media/pim/862/D15000100149862.PDF>.
- [39] P. E. Robert L.Mott, Diseño de elementos de máquinas, Mexico: PRENTICE HALL HISPANOAMERICA S.A., 1995.
- [40] A. S. Nicolas, OLEOHIDRAULICA, Madrid: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA DE ESPAÑA, S.A.U., 2002.
- [41] Parker Hannifin, «O-Ring - Parker Hannifin,» [En línea]. Available: [https://www.parker.com/literature/o\\_ring.pdf](https://www.parker.com/literature/o_ring.pdf).
- [42] N. S.A., «Normatec S.A.,» 2023. [En línea]. Available: <https://normatec.com.ec/sibeteks/store/marca/stimberg/>. [Último acceso: 01 08 2023].
- [43] Protéus Centro de Prótesis y Órtesis, «Protéus Centro de Prótesis y Órtesis,» [En línea]. Available: <http://www.proteus-ec.com/contacto.html>. [Último acceso: 19 10 2015].
- [44] Protéus Centro de Prótesis , Órtesis y Rehabilitación, «Protéus Centro de Prótesis , Órtesis y Rehabilitación,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.proteus-ec.com/contacto.html>.
- [45] Real Academia Española, Diccionario, España: RAE, 2008.

- [46] T. González, G. Del Río, J. Tena y B. Torres, Circuitos de fluidos. Suspensión y dirección, España: Editex, 2010.
- [47] J. C. R. Quintini, Diseño de un conjunto muelle-amortiguador regulable electrónicamente, Caracas, 2005.
- [48] D. J.C., «The Shock Absorber handbook».
- [49] Mecánica automotriz, «La suspensión,» 29 Enero 2012. [En línea]. Available: <http://hola-mecanicaautomotriz.blogspot.com/2012/01/la-suspension.html>.
- [50] A. Miravete y E. Larrodé, Elevadores. Principios e innovaciones, Barcelona: Reverté, 2007.
- [51] O. E. TORITO. [En línea].
- [52] J. Sánchez, «Educarm.es,» 2015. [En línea]. Available: <http://servicios.educarm.es/templates/portal/ficheros/websDinamicas/24/amortiguador.gif>.
- [53] C. S. Antonio, Numática e Hidráulica, Carles Parcerisas Civit (3Q Editorial), 2007.

## **ANEXOS**

## A. ANEXO – ACEITE



# Fork Oil Factory Line

**High performance Hydraulic Fluid for any telescopic fork**

### Synthese

**4 Viscosities :  
VERY LIGHT – LIGHT – LIGHT/MEDIUM –  
MEDIUM**

#### TYPE OF USE

Hydraulic fluid for racing applications.  
Specially formulated for SHOWA, KAYABA, OHLINS, WP forks, and any type of upside/down or conventional telescopic fork.

#### PERFORMANCE

Reduced internal friction, specially fork tubes and seals thanks to the exclusive anti-friction additive designed and developed by Motul.  
Outstanding suspension performance as soon as riding and maintained performance in the time.  
High performance anti-foam avoiding air transfer to the air chamber to maintain suspension performance.  
Anti-wear and extreme pressure properties. Anti-corrosion. Seals protection.

#### RECOMMENDATIONS

Motul Fork Oil Factory Line can be mixed to obtain the required absorbing.  
Use the exact quantity recommended by the fork manufacturer.

#### PROPERTIES

		VERY LIGHT 2.5W	LIGHT 5W	LIGHT MEDIUM 7.5W	MEDIUM 10W
Densité à 15°C	ASTM D1298	0.837	0.837	0.838	0.838
Viscosité à 40°C	ASTM D445	15.0 mm <sup>2</sup> /s	18.0 mm <sup>2</sup> /s	24.0 mm <sup>2</sup> /s	36.0 mm <sup>2</sup> /s
Viscosité à 100°C	ASTM D445	3.5 mm <sup>2</sup> /s	4.0 mm <sup>2</sup> /s	4.9 mm <sup>2</sup> /s	6.4 mm <sup>2</sup> /s
Index de viscosité	ASTM D2270	112	121	131	130
Point éclair	ASTM D92	205°C	208°C	230°C	244°C
Point d'écoulement	ASTM D97	<-39°C	<-39°C	<-36°C	<-39°C

We retain the right to modify the general characteristics of our products in order to offer to our customers the latest technical development  
Product specifications are definitive from the order which is subject to our general conditions of sale and warranty. Made in FRANCE

MOTUL . 119 Bd Félix Faure - 93303 AUBERVILLIERS CEDEX - BP 94 – Tel : 33 1 48 11 70 00 – FAX : 33 1 48 33 28 79 – Site Web : www.motul.fr

8219  
8218  
8217  
8216  
04/03



## Ficha Técnica

### Castrol Synthetic Fork Oil 2.5W

Aceite de suspensión premium para motocicletas

#### Descripción

Castrol Synthetic Fork Oil 2.5W es un fluido de suspensión premium para motocicletas completamente sintético diseñado para proporcionar el máximo rendimiento amortiguador.

#### Aplicación

Castrol Synthetic Oil 2.5W es apropiado para todos los sistemas de suspensión en motocicletas de carretera y off-road.

#### Principales Ventajas

- Proporciona una rápida liberación del aire y un rendimiento anti-fatiga superior bajo las condiciones más difíciles; competición.
- Aporta un rendimiento amortiguador superior en una amplia franja de temperaturas.
- Rápida liberación de aire, evita la caída de rendimiento amortiguador.
- Excelente protección frente al desgaste, extiende la vida de los componentes de la suspensión.
- Máximo rendimiento anti-corrosión para una protección eficiente de todas las partes internas.

#### Características Típicas

Nombre	Método	Unidades	Typical
Densidad Relativa @ 15°C	ASTM D4052	g/ml	0.816
Viscosidad Cinemática, 100°C	ASTM D445	mm <sup>2</sup> /s	4
Viscosidad Cinemática, 40°C	ASTM D445	mm <sup>2</sup> /s	16.5
Índice de Viscosidad	ASTM D2270	None	150
Punto de Fluidez	ASTM D97	°C	-60
Apariencia	Visual	-	Clara y brillante
Punto de Inflamación, PMCC	ASTM D93	°C	190

#### Almacenamiento

Todos los envases deben almacenarse a cubierto. En caso de almacenarse en el exterior los bidones deben estar en posición vertical para evitar la posible entrada de agua así como el deterioro del envase. Los productos no deben ser almacenados a temperaturas superiores a 60° C, estar expuestos a fuerte sol o a bajas temperaturas.

Castrol Synthetic Fork Oil 2.5W

17 Dec 2012

Castrol, the Castrol logo and related marks are trademarks of Castrol Limited, used under licence.

Esta ficha técnica y la información que contiene se considera exacta en la fecha de su impresión. Ninguna garantía de representación, directa o implícita, se refiere a la exactitud o terminación de los datos e información contenidos en esta publicación. Los datos proporcionados están basados en ensayos estándar bajo condiciones de laboratorio y sirven únicamente como una guía. Los usuarios deben asegurarse de que manejan la última versión de esta ficha técnica. Es responsabilidad del usuario evaluar y utilizar los productos de forma segura, valorar la idoneidad para la aplicación deseada y cumplir todas las leyes y normativas al respecto. Las fichas de Seguridad están disponibles para todos los productos y deberían ser consultadas para tener una información apropiada respecto al almacenaje, manejo seguro y traspaso o venta del producto. Ni BP ni sus subsidiarios tienen responsabilidad alguna de los daños que resulten de un uso anormal del material, del incumplimiento de las recomendaciones o de peligros inherentes a la naturaleza del material. Todos los productos, servicios e información proporcionada están sujetos a nuestras condiciones de venta estándar. Consulte con su representante local si necesita más información

BP OIL ESPAÑA S.A.U., Avenida de Barajas, 30, Parque Empresarial Omega. Edificio D, 28.108 Alcobendas (Madrid)

902 400 702

www.castrol.com/es



## AeroShell Fluid 41 (NA)

AeroShell Fluid 41 (NA) is a mineral hydraulic oil manufactured to a very high level of cleanliness, and possesses improved fluid properties. AeroShell Fluid 41 (NA) contains additives which provide excellent low temperature fluidity as well as exceptional anti-wear, oxidation - corrosion inhibition and shear stability. In addition metal de-activators and foam inhibitors are included in this high viscosity index fluid to enhance performance in hydraulic applications. AeroShell Fluid 41 (NA) is capable of wide temperature range operation. AeroShell Fluid 41 (NA) is dyed red.

### DESIGNED TO MEET CHALLENGES

#### Main Applications

AeroShell Fluid 41 (NA) is intended as an hydraulic fluid in all modern aircraft applications requiring a mineral hydraulic fluid. AeroShell Fluid 41 (NA) is particularly recommended where use of a "superclean" fluid can contribute to improvements in component reliability, and can be used in aircraft systems operating unpressurised between -54°C to 90°C and pressurised between -54°C to 135°C.

AeroShell Fluid 41 (NA) should be used in systems with synthetic rubber components and must not be used in systems incorporating natural rubber.

AeroShell Fluid 41 (NA) is compatible with AeroShell Fluids 4, 31, 51, 61 and 71 and SSF/LGF.

Chlorinated solvents should not be used for cleaning hydraulic components which use AeroShell Fluid 41 (NA).

The residual solvent contaminates the hydraulic fluid and may lead to corrosion.

#### Specifications, Approvals & Recommendations

- COMAC Approved to QPL-CMS-OL-104
- Approved MIL-PRF-5606H\* (both U.S. and European production)
- Approved DEF STAN 91-48 Grade Superclean\* (European production only)  
Meets DEF STAN 91-48 Grade Normal (European production only) Equivalent to DEF STAN 91-48 Grades Superclean\* & Normal (U.S. production only)
- Approved DCSEA 415/A (French)
- Analogue to AMG-10 (Russian)
- NATO Code H-515\* (equivalent H-520)
- Joint Service Designation OM-15\* (equivalent OM-18)

For a full listing of equipment approvals and recommendations, please consult your local Shell Technical Helpdesk.

#### Typical Physical Characteristics

Properties	Method	MIL-PRF-5606H	Typical US Production	Typical European Production
<b>Oil Type</b>		Mineral	Mineral	Mineral
<b>Kinematic viscosity</b>	@100°C mm <sup>2</sup> /s	4.90 minimum	6.13	5.30
<b>Kinematic viscosity</b>	@40°C mm <sup>2</sup> /s	13.2 minimum	15.68	14.1
<b>Kinematic viscosity</b>	@-40°C mm <sup>2</sup> /s	600 maximum	384	491
<b>Kinematic viscosity</b>	@-54°C mm <sup>2</sup> /s	2500 maximum	1450	2300
<b>Viscosity Index</b>		-	214	Over 200
<b>Flashpoint (Pensky Martin Closed Cup)</b>	°C	82 minimum	104	105
<b>Autoignition temperature</b>	°C	-	230	230
<b>Pour point</b>	°C maximum	-60	-60	-60
<b>Total acid number</b>	mgKOH/g	0.20 maximum	0	0.01
<b>Evaporation loss 6 hrs</b>	@71°C %m	20 maximum	16.5	10

Properties	Method	MIL-PRF-5606H	Typical US Production	Typical European Production
Water content ppm		100 maximum	55	<100
Relative density @15.6/1 5.6°C		Report	0.874	0.87
Colour		Red	Red	Red
Particulate contamination, number of particles per 100 ml in size range	5 to 15 µm	10000 maximum	1200	808
Particulate contamination, number of particles per 100 ml in size range	15 to 25 µm	1000 maximum	550	116
Particulate contamination, number of particles per 100 ml in size range	25 to 50 µm	150 maximum	70	44
Particulate contamination, number of particles per 100 ml in size range	50 to 100 µm	20 maximum	5	10
Particulate contamination, number of particles per 100 ml in size range	over 100 µm	5 maximum	0	1
Copper corrosion		2e maximum	1b	2b
Steel on steel wear, scar diam	mm	1.0 maximum	0.65	0.95
Rubber swell, L rubber	%	19 to 30	22	25.4
Corrosiveness & oxidation, 168 hrs @135°C - metal weight change		Must Pass	Passes	Passes
Corrosiveness & oxidation, 168 hrs @ 135°C - viscosity change	@40°C %	-5 to +20	8.08	+0.1
Corrosiveness & oxidation, 168 hrs @135°C - acid number change	mgKOH/g	0.20 maximum	0.02	+0.1
Low temperature stability 72 hrs @-54°C		Must Pass	Passes	Passes
Shear stability - viscosity change	@40°C	Must Pass	Passes	Passes
Shear stability - acid number change	maximum	0.2	0.2	0.2
Gravimetric filtration	mg/100m	0.3 maximum	0.1	0.3 maximum
filtration time	minutes	15 maximum	10	15 minimum
Foaming tendency		Must Pass	Passes	Passes
Barium content	ppm	10 maximum	Nil	Nil

These characteristics are typical of current production. Whilst future production will conform to Shell's specification, variations in these characteristics may occur.

### Health, Safety & Environment

#### Health and Safety

Guidance on Health and Safety is available on the appropriate Safety Data Sheet, which can be obtained from <http://www.epc.shell.com>

#### Protect the Environment

Take used oil to an authorised collection point. Do not discharge into drains, soil or water.

### Additional Information

#### Advice

Advice on applications not covered here may be obtained from your Shell representative.

- **\*Superclean grades**

The British specification DEF STAN 91-48 covers two grades (normal and superclean) of mineral hydraulic fluid which differ only in their cleanliness limits. AeroShell Fluid 41 (NA) is manufactured to meet the superclean requirements and thus it also meets the requirements of the normal grade.

## B. ANEXO – TUERCA

### 07212 Tuercas hexagonales forma baja DIN 439

#### Descripción del artículo/Imágenes del producto



#### Descripción

##### Material:

Acero, acero inoxidable A2 o acero inoxidable A4.

##### Versión:

Acero con clase de resistencia 04, cincado mediante procedimiento galvánico o bruñido.

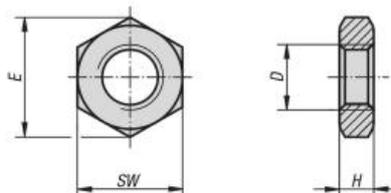
Acero inoxidable A2, acabado natural.

Acero inoxidable A4, acabado natural.

##### Indicación:

Esta tuerca hexagonal se utiliza en uniones por tornillos con capacidad de carga limitada, por ejemplo, como contratuerca de articulaciones de horquilla o vástagos articulados.

#### Planos



#### Nuestros productos

Referencia	Material del cuerpo de base	Superficie cuerpo de base	Versión 2	D	E	H	SW
07212-05	acero	cincado mediante procedimiento galvánico	rosca cuadrada	M5	8,79	2,7	8
07212-06	acero	cincado mediante procedimiento galvánico	rosca cuadrada	M6	11,05	3,2	10
07212-006	acero	cincado mediante procedimiento galvánico	rosca cuadrada	M6X0,75	11,05	3,2	10
07212-08	acero	cincado mediante procedimiento galvánico	rosca cuadrada	M8	14,38	4	13
07212-008	acero	cincado mediante procedimiento galvánico	rosca cuadrada	M8X1	14,38	4	13
07212-10	acero	cincado mediante procedimiento galvánico	rosca cuadrada	M10	18,9	5	17
07212-103	acero	cincado mediante procedimiento galvánico	rosca cuadrada	M10X1	18,9	5	17
07212-104	acero	cincado mediante procedimiento galvánico	rosca cuadrada	M10X1,25	18,9	5	17
07212-12	acero	cincado mediante procedimiento galvánico	rosca cuadrada	M12	21,1	6	19
07212-123	acero	cincado mediante procedimiento galvánico	rosca cuadrada	M12X1,25	21,1	6	19
07212-124	acero	cincado mediante procedimiento galvánico	rosca cuadrada	M12X1,5	21,1	6	19
07212-14	acero	cincado mediante procedimiento galvánico	rosca cuadrada	M14	24,49	7	22
07212-16	acero	cincado mediante procedimiento galvánico	rosca cuadrada	M16	26,76	8	24
07212-163	acero	cincado mediante procedimiento galvánico	rosca cuadrada	M16x1,5	26,76	8	24
07212-183	acero	cincado mediante procedimiento galvánico	rosca cuadrada	M18x1,5	29,56	9	27
07212-20	acero	cincado mediante procedimiento galvánico	rosca cuadrada	M20	32,95	10	30
07212-203	acero	cincado mediante procedimiento galvánico	rosca cuadrada	M20X1,5	32,95	10	30
07212-223	acero	cincado mediante procedimiento galvánico	rosca cuadrada	M22x1,5	36,9	10	32
07212-24	acero	cincado mediante procedimiento galvánico	rosca cuadrada	M24	39,55	12	36
07212-30	acero	cincado mediante procedimiento galvánico	rosca cuadrada	M30	50,85	15	46
07212-061	acero	cincado mediante procedimiento galvánico	rosca a la izquierda	M6	11,05	3,2	10
07212-081	acero	cincado mediante procedimiento galvánico	rosca a la izquierda	M8	14,38	4	13
07212-101	acero	cincado mediante procedimiento galvánico	rosca a la izquierda	M10	18,9	5	17
07212-1031	acero	cincado mediante procedimiento galvánico	rosca a la izquierda	M10X1	18,9	5	17
07212-1041	acero	cincado mediante procedimiento galvánico	rosca a la izquierda	M10X1,25	18,9	5	17
07212-121	acero	cincado mediante procedimiento galvánico	rosca a la izquierda	M12	21,1	6	19
07212-1231	acero	cincado mediante procedimiento galvánico	rosca a la izquierda	M12X1,25	21,1	6	19
07212-1241	acero	cincado mediante procedimiento galvánico	rosca a la izquierda	M12X1,5	21,1	6	19

## C. ANEXO – PERNO ALLEN

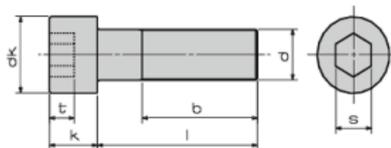
Perros allen

PERNOS, TUERCAS Y ABRAZADERAS

### ► Perno allen con cabeza cilíndrica

#### Información general

**Norma :**  
ANSI/ASME B18.3, DIN 912  
**Material :**  
Acero aleado, templado y revenido.  
**Calidad :**  
Grado 12.9  
**Diámetros :**  
1/8" hasta 1,1/2" / M-3 hasta M-30  
**Longitud :**  
3/8" hasta 12" / 8mm hasta 200mm.  
**Resistencia a la rotura:**  
1200 N/mm<sup>2</sup>  
**Límite elástico:**  
1080 N/mm<sup>2</sup>



#### Tabla de Especificaciones



Acabado Negro



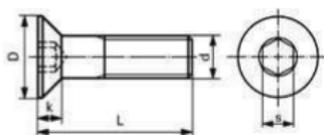
Inoxidable 304

D Diámetro (métrica)	Longitud rosca (b)	Diámetro cabeza		Altura cabeza		Ancho llave			Profundidad (l min.)
		(dk máx.)	(dk min.)	(k máx.)	(k min.)	(s Nom.)	(s min.)	(s máx.)	
M 3	18,0	5,5	5,32	3,0	2,86	2,5	2,52	2,58	1,3
M 4	20,0	7,0	6,78	4,0	3,82	3,0	3,02	3,08	2,0
M 5	22,0	8,5	8,28	5,0	4,82	4,0	4,02	4,095	2,5
M 6	24,0	10,0	9,78	6,0	5,7	5,0	5,02	5,14	3,0
M 8	28,0	13,0	12,73	8,0	7,64	6,0	6,025	6,14	3,5
M 10	32,0	16,0	15,73	10,0	9,64	8,0	8,025	8,175	4,0
M 12	36,0	18,0	17,73	12,0	11,57	10,0	10,025	10,175	5,0
M 14	40,0	21,0	20,67	14,0	13,57	12,0	12,032	12,212	6,0
M 16	44,0	24,0	23,67	16,0	15,57	14,0	14,032	14,212	7,0
M 20	52,0	30,0	29,67	20,0	19,48	17,0	17,05	17,23	8,0
M 24	60,0	36,0	35,61	24,0	23,48	19,0	19,065	19,275	10,0

### ► Perno allen con cabeza plana

#### Información general

**Norma :**  
ANSI/ASME B18.3, DIN 7991  
**Material :**  
Acero de bajo carbono martensítico,  
templado y revenido  
**Calidad :**  
Grado 10.9  
**Diámetros :**  
3/16" hasta 3/4" / M-3 hasta M-20  
**Longitud :**  
1/2" hasta 3" / 10mm hasta 70mm.  
**Resistencia a la rotura:**  
1000 N/mm<sup>2</sup>  
**Límite elástico:**  
900 N/mm<sup>2</sup>



## D. ANEXO – RASCADOR



### Rascador WRM

#### ■ Recomendaciones de instalación

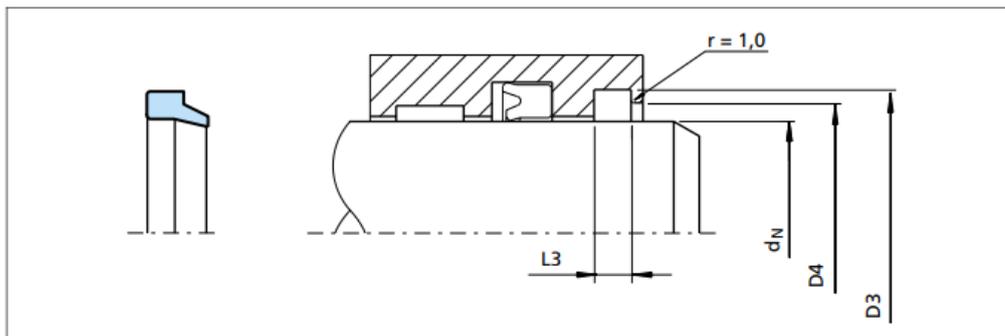


Figura 14 Esquema de instalación

#### Ejemplo de pedido

Diámetro del vástago:  $d_N = 40 \text{ mm}$   
 N.º Pieza TSS: WAP0 0 0400  
 Código del material: N9T60 (estándar)  
 Referencia Polypac: WRM 157188

Referencia TSS	WAP0	0	0400	-	N9T60
N.º Serie TSS					
Tipo (estándar)					
Diámetro del vástago x 10					
Índice de calidad					
Código del material					

Tabla XV Dimensiones de instalación / N.º Pieza TSS

Diámetro vástago	Diámetro alojamiento	Ancho alojamiento	Diámetro entrada	N.º Pieza TSS	N.º Ref. Polypac
$d_N \text{ f8/h9}$	$D_3 \text{ H9}$	$L_3 +0,1$	$D_4 +0,2$		
12,0	18,6	3,8	15,0	WAP000120	WRM047070
13,0	19,6	3,8	16,0	WAP000130	WRM051074
14,0	20,6	3,8	17,0	WAP000140	WRM055078
15,0	21,6	3,8	18,0	WAP000150	WRM059082
16,0	22,6	3,8	19,0	WAP000160	WRM062087
17,0	23,6	3,8	20,0	WAP000170	WRM066094
18,0	24,6	3,8	21,0	WAP000180	WRM070094
19,0	28,6	5,3	22,0	WAP000190	WRM074110
20,0	28,6	5,3	23,0	WAP000200	WRM078110

\* Disponible previa petición.

## Rascador WRM



Diámetro vástago	Diámetro alojamiento	Ancho alojamiento	Diámetro entrada	N.º Pieza TSS	N.º Ref. Polypac
$d_N$ f8/h9	$D_3$ H9	$L_3$ +0,1	$D_4$ +0,2		
22,0	30,6	5,3	25,0	WAP000220	WRM086118
24,0	32,6	5,3	27,0	WAP000240	WRM094125
25,0	31,6	5,3	28,0	WAP100250	WRM098122/5
25,0	33,6	5,3	28,0	WAP000250	WRM098129
26,0	34,6	5,3	29,0	WAP000260	WRM102133
27,0	35,6	5,3	30,0	WAP000270	WRM106137
28,0	36,6	5,3	31,0	WAP000280	WRM110141
30,0	38,6	5,3	33,0	WAP000300	WRM118149
31,0	41,0	6,0	34,0	WAP000310	WRM4544907
32,0	40,6	5,3	35,0	WAP000320	WRM125157
33,0	41,6	5,3	36,0	WAP000330	WRM129161
35,0	43,6	5,3	38,0	WAP000350	WRM137169
36,0	44,6	5,3	39,0	WAP000360	WRM141173
38,0	46,6	5,3	41,0	WAP000380	WRM149181
40,0	48,6	5,3	43,0	WAP000400	WRM157188
42,0	50,6	5,3	45,0	WAP000420	WRM165196
45,0	53,6	5,3	48,0	WAP000450	WRM177208
45,0	55,6	5,3	49,0	WAP100450	WRM177216
46,0	54,6	5,3	49,0	WAP000460	WRM181212
48,0	56,6	5,3	51,0	WAP000480	WRM188220
49,0	57,6	5,3	52,0	WAP000490	WRM193225
50,0	58,6	5,3	53,0	WAP000500	WRM196228
50,0*	60,6	5,3	54,0	WAP100500	WRM196236
50,8	60,9	5,8	55,5	WAP000508	WRM200237
53,0*	61,6	5,3	56,0	WAP000530	WRM208240
55,0*	63,6	5,3	58,0	WAP000550	WRM216248
55,0	65,6	5,3	59,0	WAP100550	WRM216255
56,0	64,6	5,3	59,0	WAP000560	WRM220251
56,0*	66,6	5,3	60,0	WAP100560	WRM220259
60,0	66,6	5,3	63,0	WAP200600	WRM236259
60,0	68,6	5,3	63,0	WAP000600	WRM236267
63,0*	71,6	5,3	66,0	WAP000630	WRM248279
63,0	73,6	5,3	67,0	WAP100630	WRM248287
65,0	73,6	5,3	68,0	WAP000650	WRM255287
65,0	75,6	5,3	69,0	WAP100650	WRM255295
70,0*	76,0	4,3	72,0	WAP000700	WRM275299

\* Disponible previa petición.

## E. ANEXO – CONEXIONES DE COMPRESIÓN

WOLSE SRL

Tel/Fax: (011) 4958-5801

CONEXIONES DE COMPRESION			
<b>TUERCA CONICA P/CAÑO</b> <b>W509</b> 	*0590300	3/16	
	*0590400	1/4	
	*0590500	5/16	
	*0590600	1	
	*0590700	7/16	
	*0590800	1/2	
	*0591000	5/8	
	*0591200	3/4	
<b>VIROLA</b> <b>W514</b> 	*0600200	1/8	
	*0600300	3/16	
	*0600400	1/4	
	*0600500	5/16	
	*0600600	3/8	
	*0600700	7/16	
	*0600800	1/2	
	*0601000	5/8	
	*0601200	3/4	
	*0601600	1	
	*0603400	4 mm	
	*0603600	6 mm	
	*0603800	8 mm	
	*0604000	10 mm	
*0604200	12 mm		
<b>TUERCA P/CAÑO</b> <b>W515</b> 	*0610200	1/8	
	*0610300	3/16	
	*0610400	1/4	
	*0610401	1/4 REF	
	*0610500	5/16	
	*0610501	5/16 REF	
	*0610504	5/16 - 1/4 Gas	
	*0610600	3/8	
	*0610601	3/8 REF	
	*0610700	7/16	
	*0610800	1/2	
	*0610801	1/2 REF	
	*0611000	5/8	
	*0611200	3/4	
	*0611600	1	
	*0613600	6 mm	
	*0613800	8 mm	
*0614000	10 mm		
*0614200	12 mm		
			<b>APLICACIONES:</b> Aire, gas, lubricantes, aceites, combustibles, agua. <b>USO RECOMENDABLE:</b> Tubo de cobre y aluminio <b>PRESION DE TRABAJO:</b> 400 PSI (de 1/8 a 1/4) 200 PSI (de 5/16 a 1/2) <b>TEMPERATURA DE TRABAJO:</b> -53 °C A 120 °C <b>MATERIAL EMPLEADO:</b> Bronce en Barras (58% Cu, 40% Zn, 2% Pb)



CATALOGO

7 de 21

[consultas@wolse.com.ar](mailto:consultas@wolse.com.ar)  
[ventas@wolse.com.ar](mailto:ventas@wolse.com.ar)

## F. ANEXO – TUBERÍA

### Tubos de plástico PAN-MF

#### Hoja de datos

##### Tubo de plástico PAN-MF

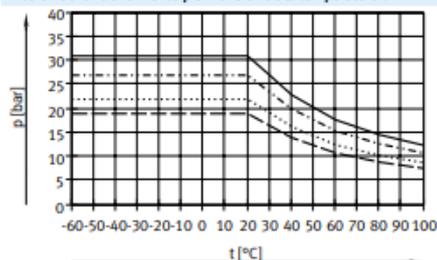
Alta resistencia térmica y mecánica.  
Cumple los requisitos definidos en la norma DIN 73378 "Tubos de poliamida para automóviles".

Material: poliamida



Condiciones de funcionamiento y del entorno									
Código de producto		PAN-MF-4	PAN-MF-6	PAN-MF-8	PAN-MF-10	PAN-MF-12	PAN-MF-14	PAN-MF-16	
Diámetro exterior	[mm]	4	6	8	10	12	14	16	
Conexión neumática									
Para racor de conexión		[mm]	4	6	8	10	12	14	16
Presión de funcionamiento en función de la temperatura	[MPa]	-0,095 ... +3,1	-0,095 ... +2,7	-0,095 ... +1,9			-0,095 ... +2,2	-0,095 ... +1,9	
	[bar]	-0,95 ... +31	-0,95 ... +27	-0,95 ... +19			-0,95 ... +22	-0,95 ... +19	
	[psi]	-13,775 ... +449,5	-13,775 ... +391,5	-13,775 ... +275,5			-13,775 ... +3192	-13,775 ... +275,5	
Conforme con la norma		DIN 73378-PA12-PHL							
Fluido de funcionamiento		Aire comprimido según ISO 8573-1:2010 [7;-;-] Aceite mineral							
Temperatura ambiente	[°C]	-60 ... +100							
Conformidad PWIS		VDMA24364-B2-L							
Características de los tubos flexibles		Apropiado para cadenas de arrastre							

#### Presión de funcionamiento p en función de la temperatura t



— PAN-MF-4  
 ..... PAN-MF-6  
 - - - - - PAN-MF-8/10/12/16  
 - · - · - · PAN-MF-14

Materiales	
Dureza Shore	D 65 ±3
Tubo flexible	PA12-P
Nota sobre los materiales	En conformidad con la Directiva 2002/95/CE (RoHS)

## G. ANEXO – VÁLVULA DE AGUJA

WOLSE SRL

Tel/Fax: (011) 4958-5801

<b>LLAVE UNION DE COMPRESION W860</b> 	*2620400	1/4	
	*2620500	5/16	
<b>LLAVE RECTA DE COMPRESION W859</b> 	*2680402	1/4 - 1/8 Gas	
	*2680502	5/16 - 1/8 Gas	
<b>LLAVE CODO DE COMPRESION W855</b> 	*2690402	1/4 - 1/8 Gas	
	*2690502	5/16 - 1/8 Gas	
<b>LLAVE AGUJA</b> 	*2050400	1/4 - 1/4	
	*2050600	3/8 - 3/8	
	*2050800	1/2 - 1/2	
	*2051200	3/4 - 3/4	

## H. ANEXO – CONEXIONES ROSCADAS

WOLSE SRL

Tel/Fax: (011) 4958-5801

CONEXIONES ROSCADAS PARA CAÑOS			
<b>CODO HEMBRA 90° W546</b> 	*1000200	1/8	
	*1000400	1/4	
	*1000600	3/8	
	*1000800	1/2	
<b>TE HEMBRA W545</b> 	*1010200	1/8	
	*1010400	1/4	
	*1010600	3/8	
	*1010800	1/2	
<b>CRUZ HEMBRA W550</b> 	*1020200	1/8	
	*1020400	1/4	
	*1020600	3/8	
	*1020800	1/2	
<b>CUPLA C/ HEXAGONO LATERAL W527</b> 	*1030202	1/8 - 1/8 Gas	
	*1030404	1/4 - 1/4 Gas	
	*1030606	3/8 - 3/8 Gas	
	*1030808	1/2 - 1/2 Gas	
	*1031212	3/4 - 3/4 Gas	
<b>CODO MACHO A 90° W554</b> 	*1050200	1/8	
	*1050400	1/4	
	*1050402	1/4 - 1/8 Gas	
	*1050600	3/8	
	*1050800	1/2	
<b>TAPON HEXAGONAL W539</b> 	*1090200	1/8	
	*1090400	1/4	
	*1090600	3/8	
	*1090800	1/2	
	*1091200	3/4	
<b>TUERCA DE REDUCCION W536</b> 	*1100042	1/4 - 1/8 BSP	
	*1100402	1/4 - 1/8 Gas	
	*1100602	3/8 - 1/8 Gas	
	*1100604	3/8 - 1/4 Gas	
	*1100802	1/2 - 1/8 Gas	
	*1100804	1/2 - 1/4 Gas	
	*1100806	1/2 - 3/8 Gas	
	*1101204	3/4 - 1/4 Gas	
	*1101206	3/4 - 3/8 Gas	
	*1101208	3/4 - 1/2 Gas	
	*1101608	1 - 1/2 Gas	
	*1101612	1 - 3/4 Gas	

**APLICACIONES:**  
Aire, aceite, agua, gas natural ( roscas B.S.P.T.)  
**USO RECOMENDABLE:**  
Tubo de cobre aluminio y aluminio  
**PRESION DE TRABAJO:**  
1000 PSI  
**TEMPERATURA DE TRABAJO:**  
-53 °C A 120 °C  
**MATERIAL EMPLEADO:**  
Bronce en Barras (58% Cu, 40% Zn, 2% Pb)



I. ANEXO – O-RING

# O-Ring

Construya con el mejor !

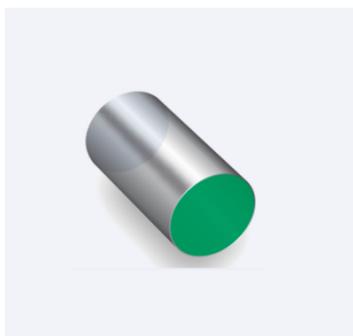
## Serie Standard 2-XXX

Parker Nº	DI mm	DE mm	Parker Nº	DI mm	DE mm	Parker Nº	DI mm	DE mm	Parker Nº	DI mm	DE mm	Parker Nº	DI mm	DE mm	Parker Nº	DI mm	DE mm	Parker Nº	DI mm	DE mm	Parker Nº	DI mm	DE mm	Parker Nº	DI mm	DE mm	Parker Nº	DI mm	DE mm
<p><b>1.78</b> ± 0.08</p> <p>* 2-001 W: 1.02 * 2-002 W: 1.27 * 2-003 W: 1.52</p>																													
<p><b>2.62</b> ± 0.08</p>																													
<p><b>3.53</b> ± 0.10</p>																													
<p><b>5.33</b> ± 0.13</p>																													
<p><b>6.99</b> ± 0.15</p>																													

**Parkest SRL**  
 Donado 1796 - B8000IZP - Bahía Blanca  
 Tel.: (54) 291 4007866/67  
 www.parkest.com.ar - ventas@parkest.com.ar



## J. ANEXO- BARRA DE ACERO



### Acero Inoxidable AISI 304

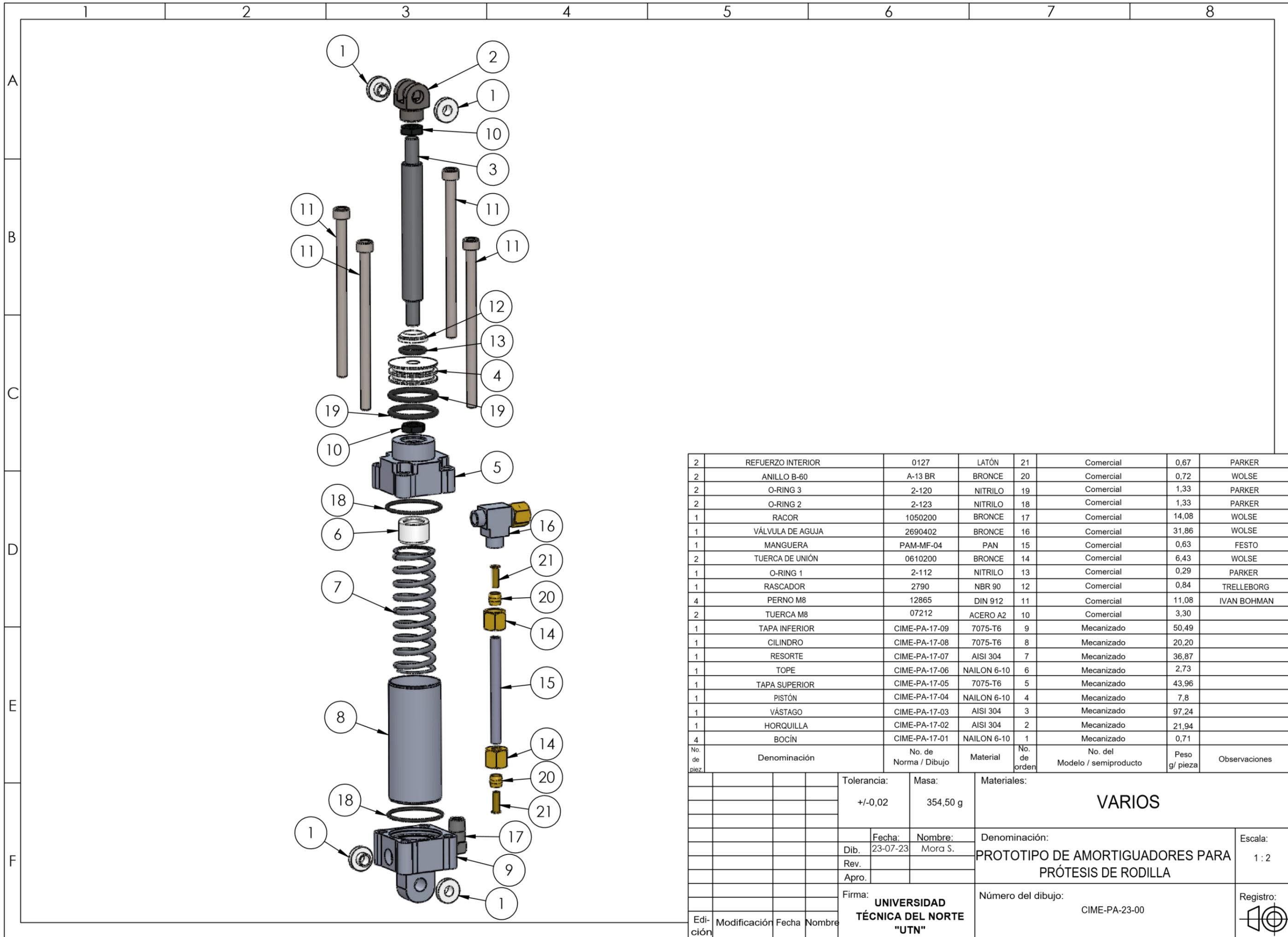
ESTADO DE SUMINISTRO    CARACTERÍSTICAS    APLICACIONES

Cilindrado

Composición Química							
AISI	%C (máx.)	%Mn (máx.)	%Si (máx.)	%Cr	%Ni	%P (máx.)	%S (máx.)
304	0,08	2,00	0,75	18-20	8,00-10,50	0,045	0,03
304 L	0,03	2,00	0,75	18-20	8,00-12,00	0,045	0,03

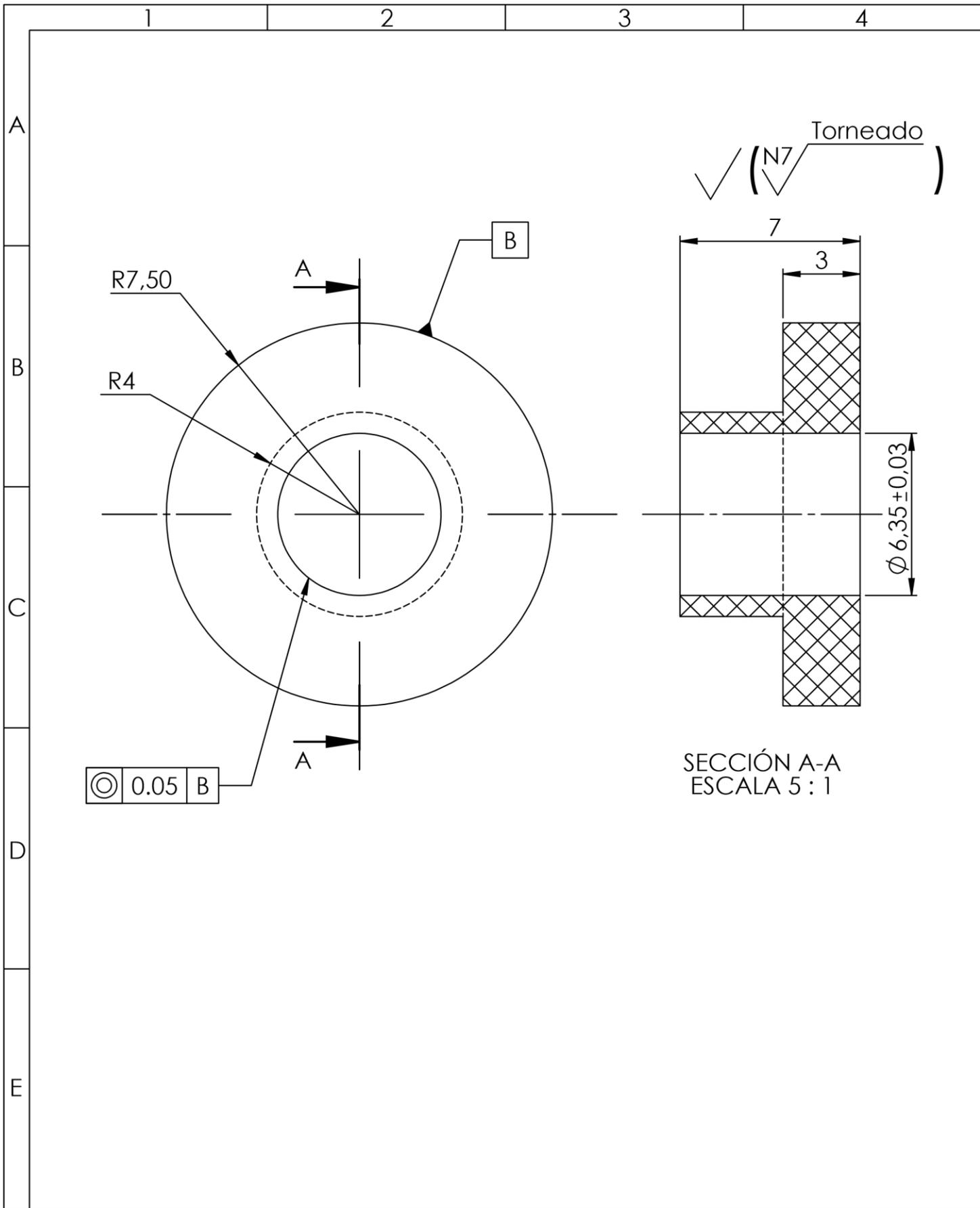
Propiedades Mecánicas				
AISI	Esfuerzo Fluencia (mín.) MPa	Esfuerzo Tracción (mín.) Mpa	Elongación (mín.) %	Dureza (máx.) Brinell (HB)
304	205	515	40	201
304L	170	485	40	201

**K. ANEXO-PLANOS MECÁNICOS**



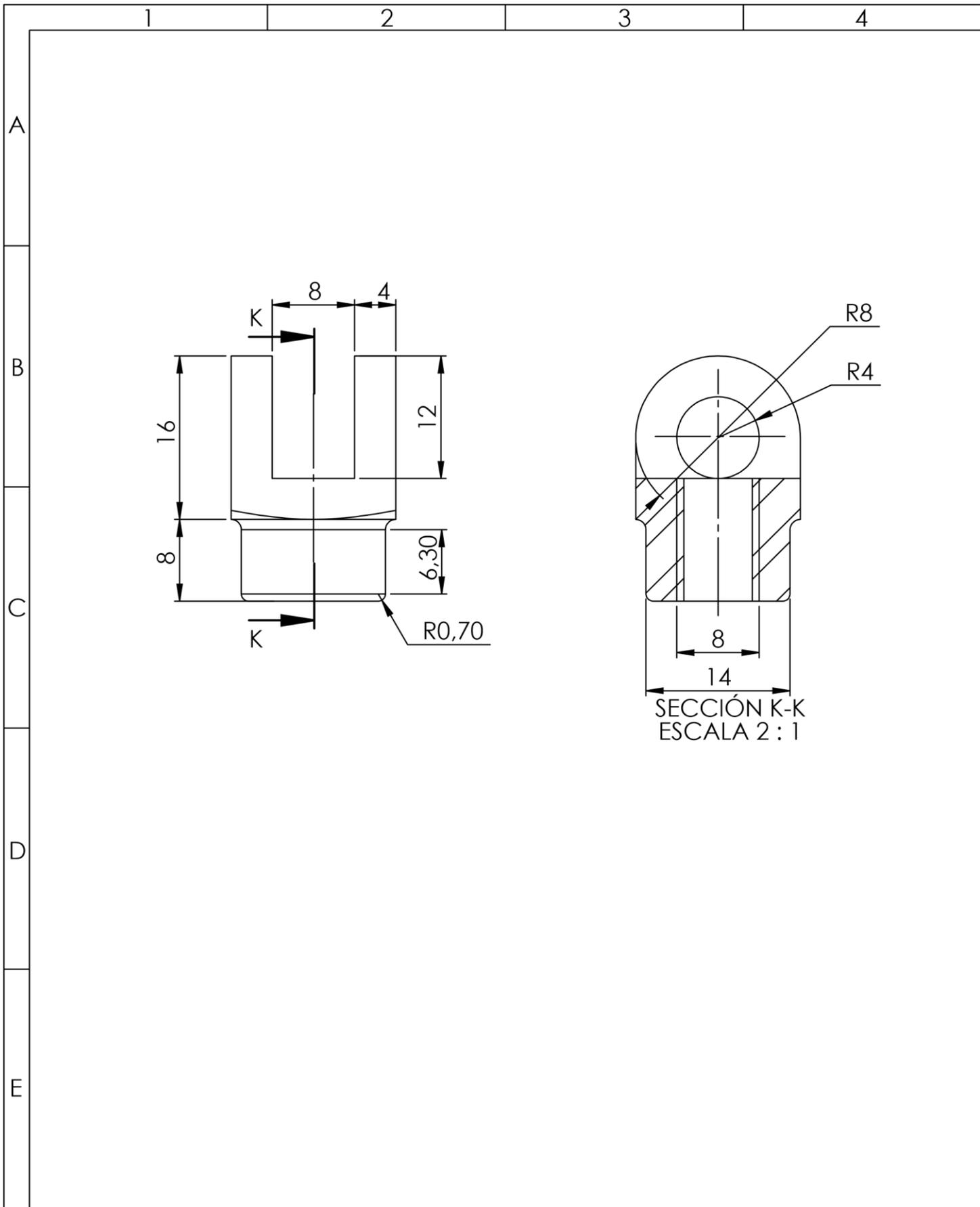
2	REFUERZO INTERIOR	0127	LATÓN	21	Comercial	0,67	PARKER
2	ANILLO B-60	A-13 BR	BRONCE	20	Comercial	0,72	WOLSE
2	O-RING 3	2-120	NITRILO	19	Comercial	1,33	PARKER
2	O-RING 2	2-123	NITRILO	18	Comercial	1,33	PARKER
1	RACOR	1050200	BRONCE	17	Comercial	14,08	WOLSE
1	VÁLVULA DE AGUJA	2690402	BRONCE	16	Comercial	31,86	WOLSE
1	MANGUERA	PAM-MF-04	PAN	15	Comercial	0,63	FESTO
2	TUERCA DE UNIÓN	0610200	BRONCE	14	Comercial	6,43	WOLSE
1	O-RING 1	2-112	NITRILO	13	Comercial	0,29	PARKER
1	RASCADOR	2790	NBR 90	12	Comercial	0,84	TRELLEBORG
4	PERNO M8	12865	DIN 912	11	Comercial	11,08	IVAN BOHMAN
2	TUERCA M8	07212	ACERO A2	10	Comercial	3,30	
1	TAPA INFERIOR	CIME-PA-17-09	7075-T6	9	Mecanizado	50,49	
1	CILINDRO	CIME-PA-17-08	7075-T6	8	Mecanizado	20,20	
1	RESORTE	CIME-PA-17-07	AISI 304	7	Mecanizado	36,87	
1	TOPE	CIME-PA-17-06	NAILON 6-10	6	Mecanizado	2,73	
1	TAPA SUPERIOR	CIME-PA-17-05	7075-T6	5	Mecanizado	43,96	
1	PISTÓN	CIME-PA-17-04	NAILON 6-10	4	Mecanizado	7,8	
1	VÁSTAGO	CIME-PA-17-03	AISI 304	3	Mecanizado	97,24	
1	HORQUILLA	CIME-PA-17-02	AISI 304	2	Mecanizado	21,94	
4	BOCÍN	CIME-PA-17-01	NAILON 6-10	1	Mecanizado	0,71	
No. de pieza	Denominación	No. de Norma / Dibujo	Material	No. de orden	No. del Modelo / semiproducto	Peso g/ pieza	Observaciones

Tolerancia:		Masa:		Materiales:			
+/-0,02		354,50 g		VARIOS			
Fecha:		Nombre:		Denominación:			Escala:
Dib. 23-07-23		Mora S.		PROTOTIPO DE AMORTIGUADORES PARA PRÓTESIS DE RODILLA			1 : 2
Rev.							
Apro.							
Firma:		UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE "UTN"		Número del dibujo:			Registro:
				CIME-PA-23-00			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

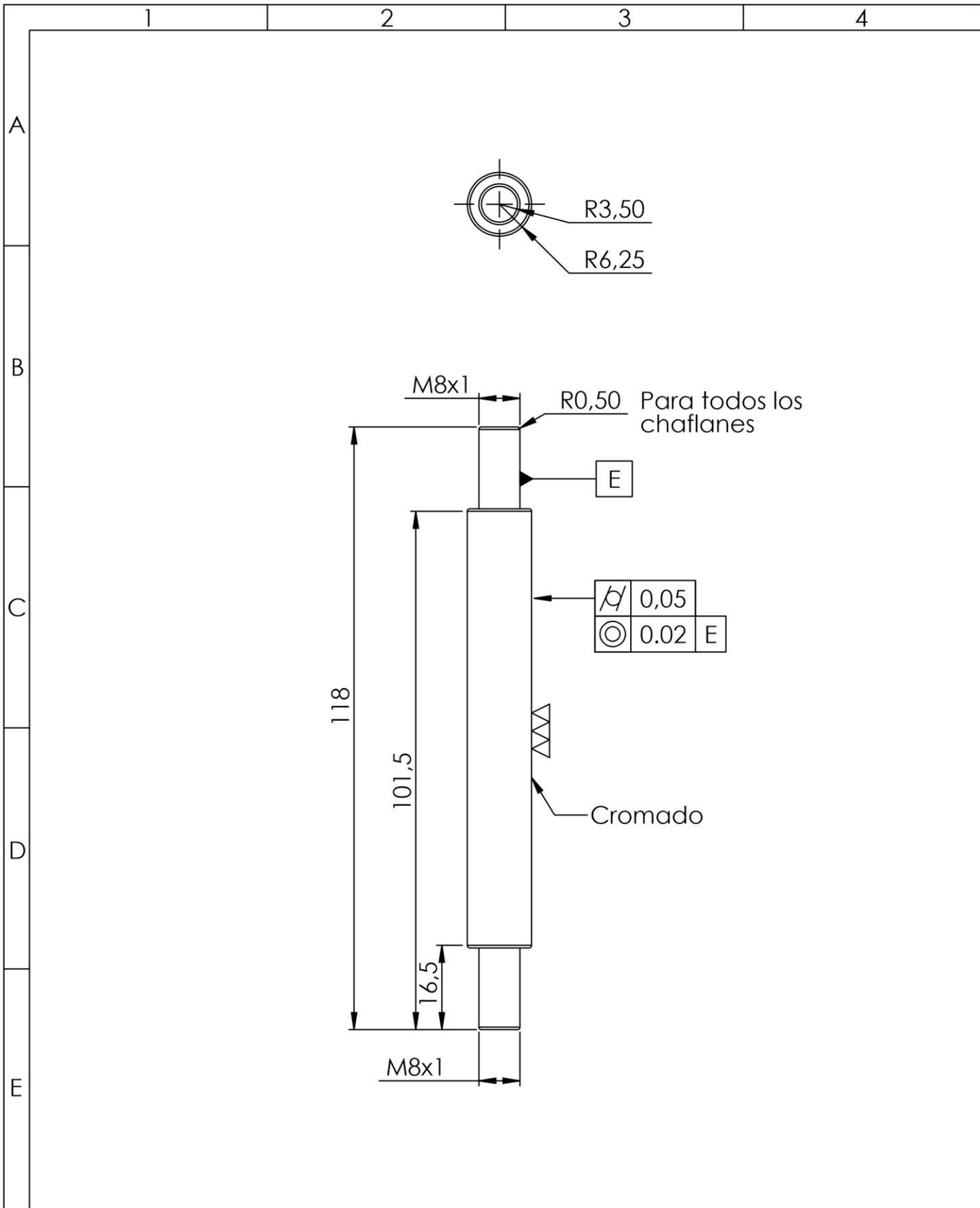


SECCIÓN A-A  
ESCALA 5 : 1

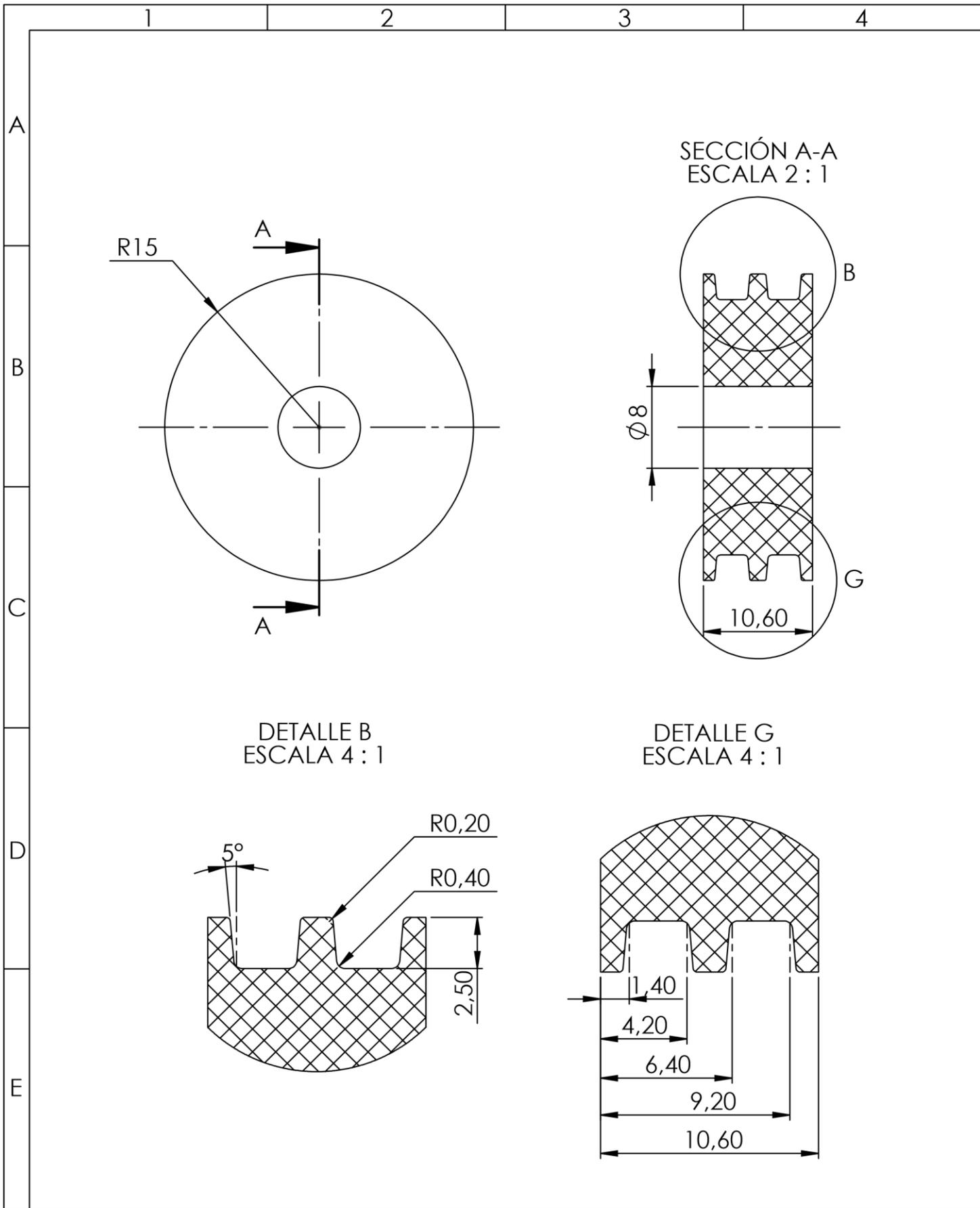
				Tolerancia:	Masa:	Materiales:		
				+/-0,02	0,71 g	Nailon 6-10		
					Fecha:	Nombre:	Denominación:	
				Dib.	23-07-23	Mora S.		
				Rev.				
				Apro.			Escala:	
								5 : 1
				Firma:	UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE "UTN"		Número del dibujo:	Registro:
							CIME-PA-23-01	
Edición	Modificación	Nombre	Fecha					



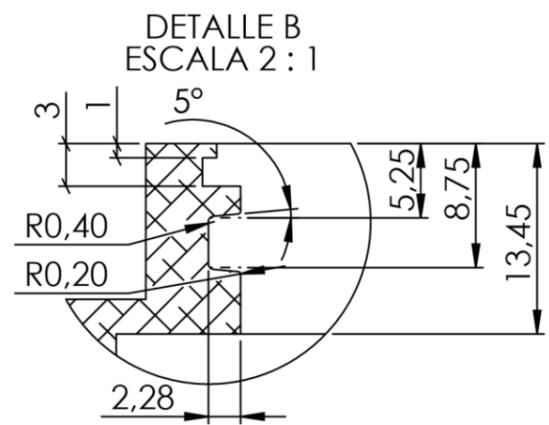
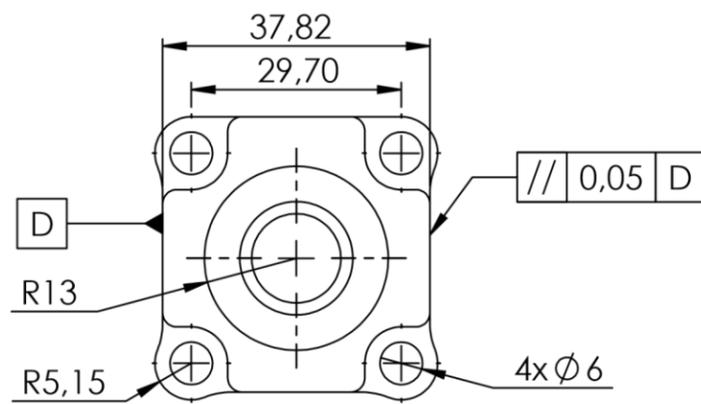
				Tolerancia: +/- 1	Masa: 21,94	Materiales: <b>AISI 304</b>	
				Dib.	Fecha: 23-07-23	Nombre: MORA S.	Denominación: <b>HOQUILLA</b>
				Rev.			Escala: 2:1
				Apro.			
				Firma: <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE "UTN"</b>	Número del dibujo: CIME-PA-23-02		Registro: 
Edición	Modificación	Nombre	Fecha				



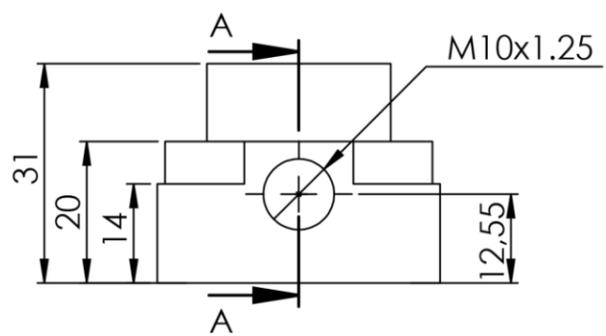
				Tolerancia: +/-0,02	Masa: 97,24 g	Materiales: <b>AISI 304</b>	
				Dib.	Fecha: 23-07-23	Nombre: Mora S.	Denominación: <b>VÁSTAGO</b>
				Rev.			
				Apro.			
				Firma: <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE "UTN"</b>	Número del dibujo: CIME-PA-23-03		Escala: 1 : 1
Edi- ción	Modificación	Nombre	Fecha				Registro: 



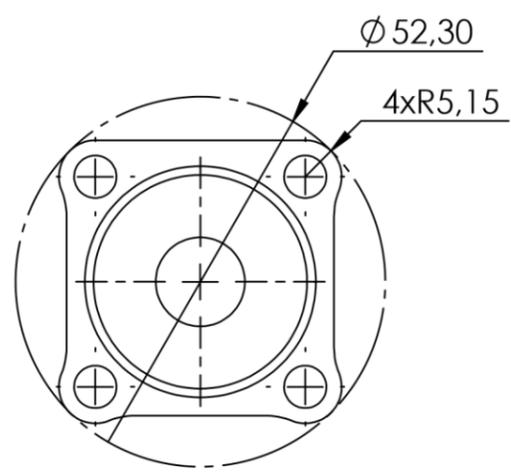
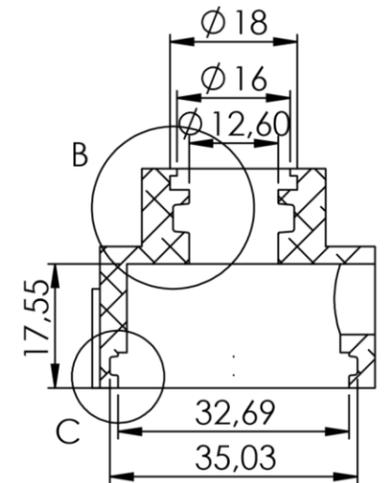
				Tolerancia: +/-0,02	Masa: 7,8 g	Materiales: <b>Nailon 6-10</b>	
				Dib.	Fecha: 23-07-23	Nombre: Mora S.	Denominación: <b>PISTÓN</b>
				Rev.			Escala: 5 : 1
				Apro.			
				Firma: <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE "UTN"</b>		Número del dibujo: CIME-PA-23-04	Registro: 
Edición	Modificación	Nombre	Fecha				



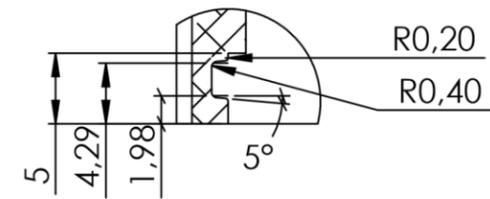
N7 TORNEADO-FRESADO



SECCIÓN A-A



DETALLE C ESCALA 2:1



				Tolerancia:	Masa:	Materiales:			
				+/-0,02	43,96 g	ALUMINIO 7075-T6			
				Fecha:	Nombre:	Denominación:	Escala:		
			Dib.	23-07-23	Mora S.			TAPA SUPERIOR	1:1
			Rev.						
			Apro.			Número del dibujo:	Registro:		
				Firma:	UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE "UTN"		CIME-PA-23-05		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre						

1

2

3

4

A

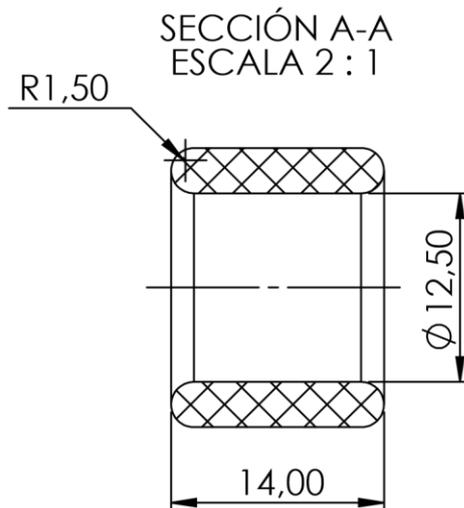
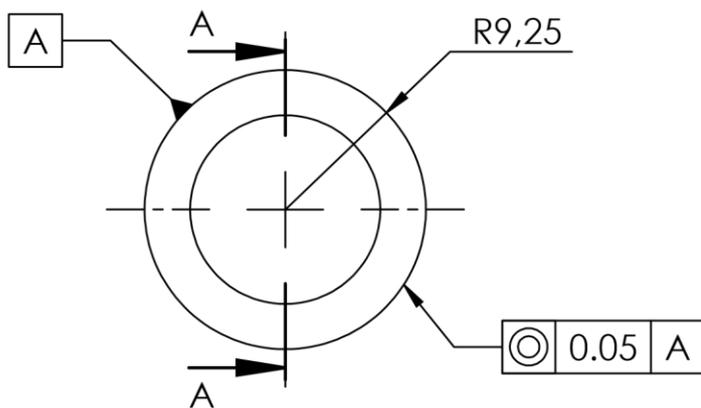
B

C

D

E

✓ (N7 Torneado)



				Tolerancia: +/-0,02	Masa: 2,73 g	Materiales: <b>Nailon 6-10</b>	
				Dib.	Fecha: 23-0-23	Nombre: Mora S.	Denominación: <b>TOPE</b>
				Rev.			Escala: 2 : 1
				Apro.			
				Firma: <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE "UTN"</b>		Número del dibujo: CIME-PA-23-06	Registro: 
Edición	Modificación	Nombre	Fecha				

1

2

3

4

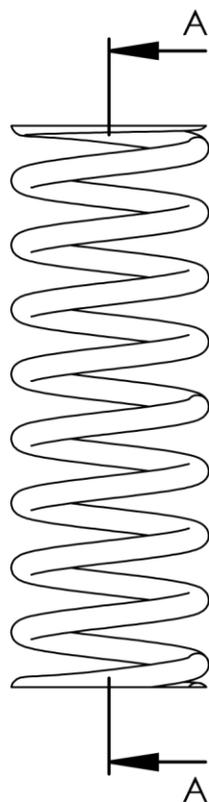
A

B

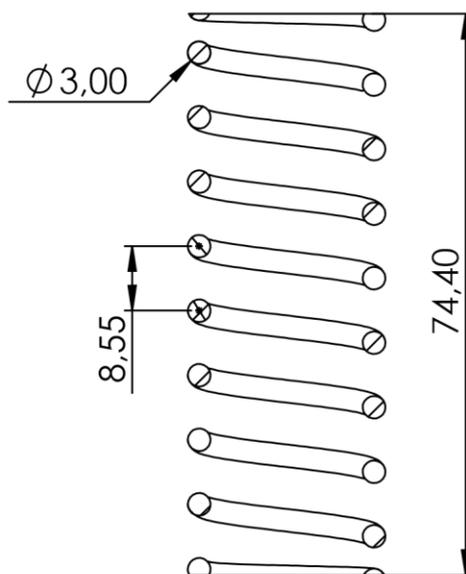
C

D

E

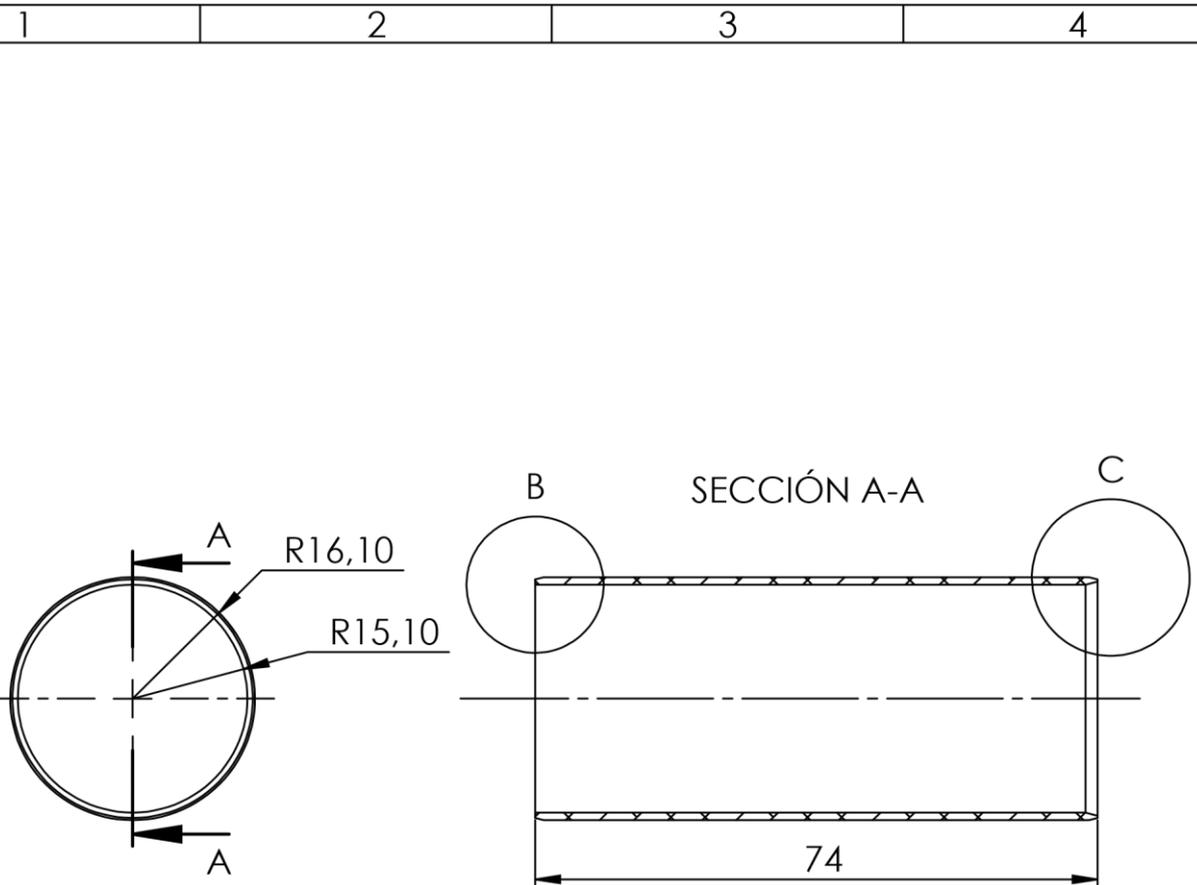


## SECCIÓN A-A

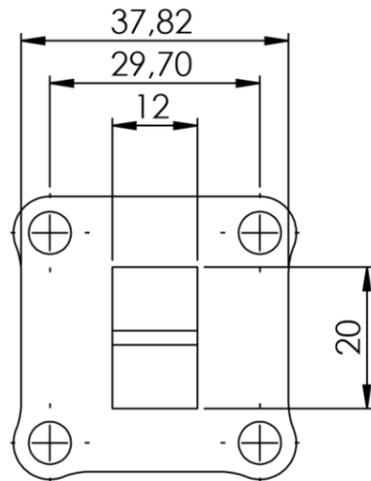
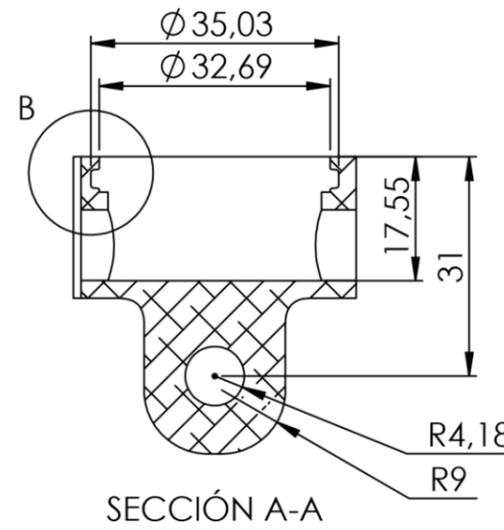
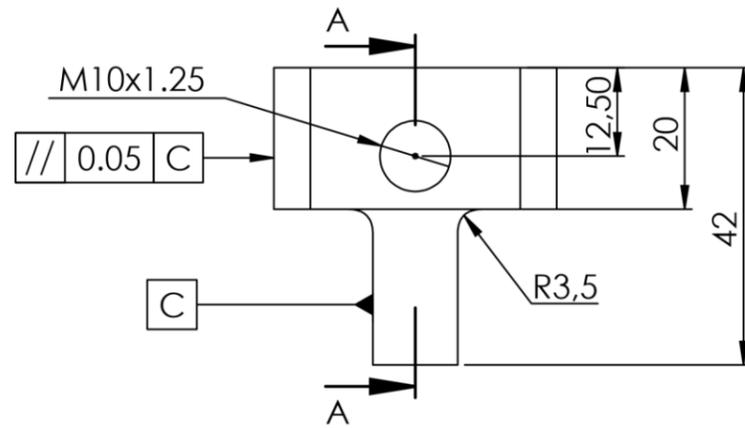
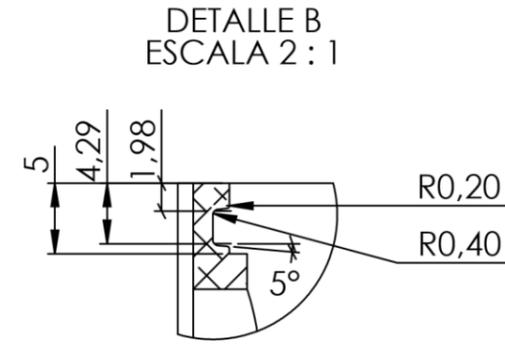
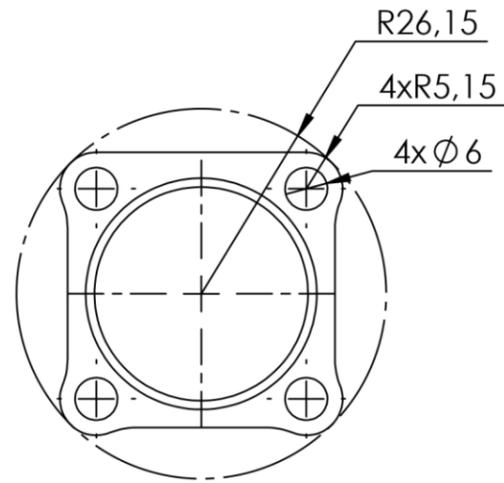


RESORTE DE COMPRESIÓN	
# BOBINAS ACTIVAS	8
# BOBINAS TOTALES	10
SENTIDO HELICE	RH
$\phi$ INTERNO	20 mm
$\phi$ EXTERNO	26 mm
ÁNGULO ESPACIAMIENTO	6,75°

				Tolerancia: +/-0,02	Masa: 36,87 g	Materiales: <b>AISI 304</b>		
				Dib.	Fecha: 23-07-23	Nombre: Mora S.	Denominación: <b>RESORTE</b>	
				Rev.				
				Apro.				
				Firma: <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE "UTN"</b>			Número del dibujo: CIME-PA-23-07	Escala: 1 : 1
Edición	Modificación	Nombre	Fecha				Registro: 	



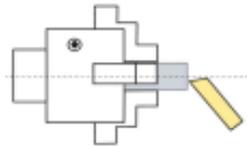
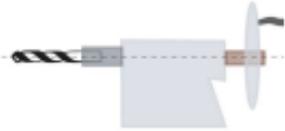
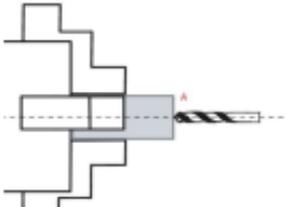
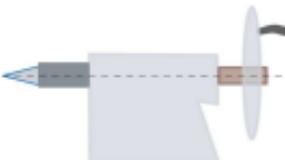
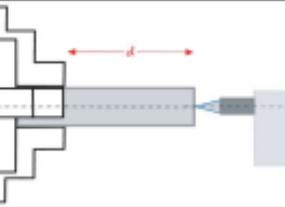
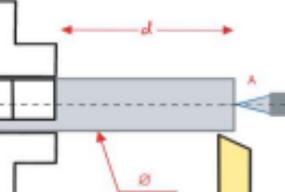
				Tolerancia: +/-0,02	Masa: 20,20 g	Materiales: <b>ALUMINIO 7075-T6</b>		
				Dib.	Fecha: 23-07-23	Nombre: Mora S.	Denominación: <b>CILINDRO</b>	Escala: 1 : 1
				Rev.			Número del dibujo: CIME-PA-23-08	Registro: 
				Apro.				
Edición	Modificación	Nombre	Fecha	Firma: <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE "UTN"</b>				

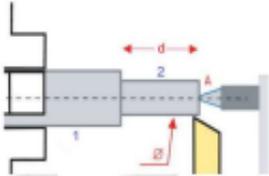
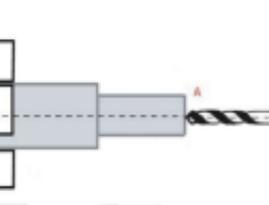
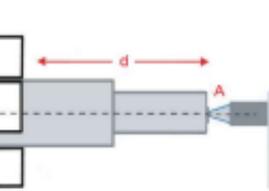
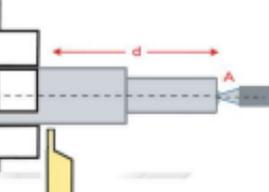


				Tolerancia:	Masa:	Materiales:			
				+/-0,02	50,89 g	ALUMINIO 7075-T6			
				Fecha:	Nombre:	Denominación:	Escala:		
			Dib.	23-07-23	Mora S.			TAPA INFERIOR	1:1
			Rev.						
				Apro.		Número del dibujo:	Registro:		
				Firma:				CIME-PA-23-09	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE "UTN"					

**L. ANEXO- HOJAS DE PROCESOS**

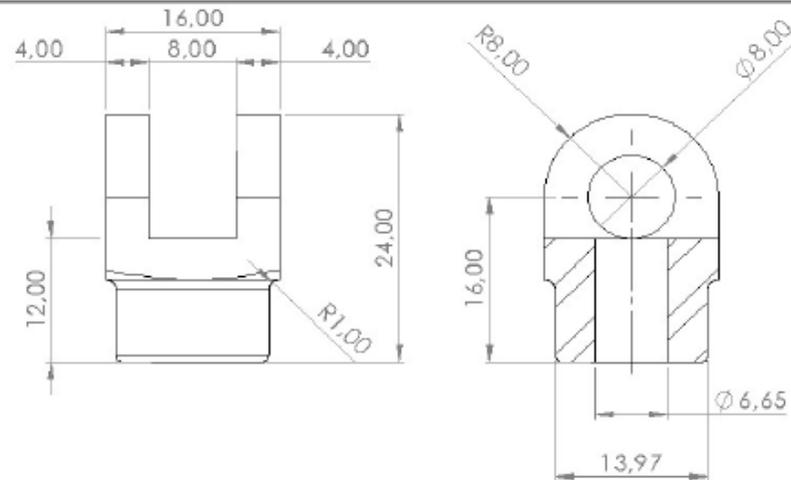
HOJA DE PROCESOS											
<b>PROYECTO:</b>		Prototipo de amortiguadores para prótesis de rodilla		<b>CONJUNTO N°:</b> 1		<b>TRABAJO N°:</b> 1				<b>FECHA</b>	
<b>PIEZA:</b>		Bocín		<b>PLANO N°:</b> CIME-PA-23-01		<b>HOJA:</b>				27/7/2023	
<b>MATERIAL:</b>		Nailon 6-10		<b>DIMENSIONES EN BRUTO:</b> Eje $\varnothing$ 16mm , L=12 mm							
<b>REALIZADO POR:</b>		Santiago Mora									
FASE	SUB-FASE	OPERACIÓN	DENOMINACIÓN	CROQUIS	HERRAMIENTA	psd	pp mm	N rpm	Va mm/s	tc min	CONTROL
1.1 Refrentado	1.1.1	Sujetar	Sujeción de la pieza en el mandril autocentrante, con el eje central de la pieza colineal al usillo del torno y a una distancia de $d=15$ mm.		Lave del mandril					3	Visual, Calibrador pie de Rey
	1.1.2	Cambiar herramienta de corte	Colocar herramienta de refrentado en la torreta a $d=5$ mm de distancia tomando encuntra desde la torreta a la punta de la herramienta y centrarla con el contrapunto.		Llave allen de 6 mm, Llave de pico, Contrapunto					7	Visual, Calibrador pie de Rey

FASE	SUB-FASE	OPERACIÓN	DENOMINACIÓN	CROQUIS	HERRAMIENTA	psd	pp mm	N rpm	Va mm/s	tc min	CONTROL	
1. Torno		1.1.3 Refrentar	Refrentar la cara A		Buril afilado	2	2	596,8	0,99	0,27	Visual, Calibrador pie de Rey	
						2	0,5	596,85	0,50	0,54		
	1.2 Taladrado en torno	1.2.1 Cambiar herramienta a taladrado	En el broquero del contrapunto colocar broca de 6mm de diámetro, para realizar la perforación delantera en el previo refrentado.		Broquero, llave del broquero, contrapunto, broca de 6 mm						5	Visual, Calibrador pie de Rey
		1.2.2 Perforar	Realizar una perforación de longitud útil de 1,3 mm en la cara A refrentada.		Broquero, Contrapunto, Broca de 6 mm	1	1,3	227,6	0,19	0,11	Visual, Calibrador pie de Rey	
	1.3 Cilindrado	1.3.1 Cambiar el contrapunto	Sacar el cono del broquero y colocar el cono del contrapunto.		Contrapunto						1	Visual
		1.3.2 Sujetar	Sacar la pieza del mandril del torno hasta que quede a una distancia de d=7 mm y colocar el contrapunto sobre la perforación realizada para mayor sujeción		Llave del mandril, Contrapunto						5	Visual, Calibrador pie de Rey
1.3.3 Cilindrado Nro. 1		Cilindrar la longitud d=7 mm medido desde A para que quede a un Ø15 mm		Contrapunto, Buril	1	0,5	596,85	0,99	0,07	Visual, Calibrador pie de Rey		

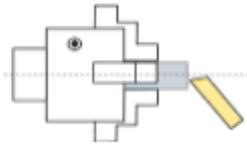
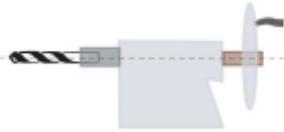
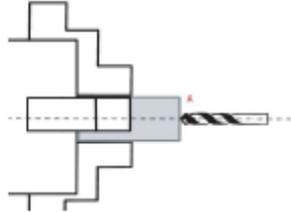
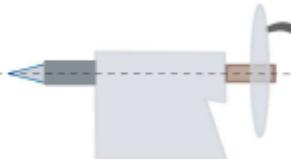
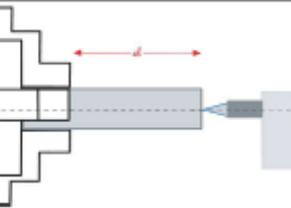
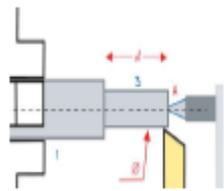
FASE	SUB-FASE	OPERACIÓN	DENOMINACIÓN	CROQUIS	HERRAMIENTA	psd	pp mm	N rpm	Va mm/s	tc min	CONTROL
		1.3.4 Cilindrado 2	Cilindrar el escalón 2 una longitud $d=4$ mm medido desde A para que quede a un $\varnothing 8$ mm		Contrapunto, Buril	1	1,25	636,64	1,06	0,06	Visual, Calibrador pie de Rey
		1	1,25	636,64	1,06	0,06					
		1	1	636,64	0,53	0,13					
1.4 Taladrado en torno	1.4.1 Cambiar herramienta a taladrado	En el broquero del contrapunto colocar broca de 6,35 mm de diámetro, para realizar la perforación delantera en el previo refrentado.		Broquero, llave del broquero, contrapunto, broca de 6,35 mm					5	Visual, Calibrador pie de Rey	
	1.4.2 Perforar	Realizar una perforación de longitud útil de 7 mm en la cara A refrentada.		Broquero, Contrapunto, Broca de 6,35 mm	1	7	215,05	0,18	0,12	Visual, Calibrador pie de Rey	
1.5 Corte	1.5.1 Sujetar	Sacar la pieza del mandril del torno hasta que quede a una distancia de $d=10$ mm y colocar el contrapunto sobre la perforación realizada para mayor sujeción		Llave del mandril, Contrapunto					5	Visual, Calibrador pie de Rey	
	1.5.2 Corte	Realizar un corte a una longitud útil de 7 mm medida desde la cara A refrentada.		Contrapunto, Buril	1	16	596,85	0,99	0,27	Visual, Calibrador pie de Rey	

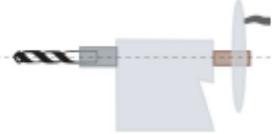
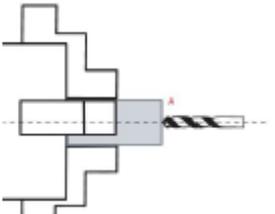
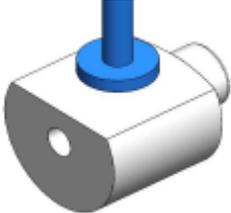
## HOJA DE PROCESOS

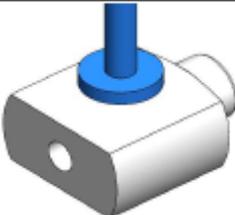
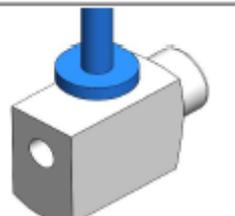
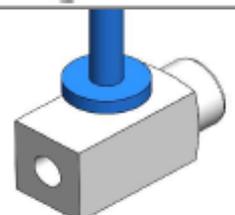
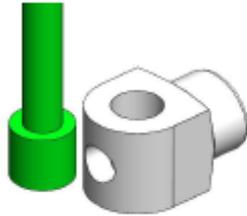
PROYECTO:	Prototipo de amortiguadores para prótesis de rodilla	CONJUNTO N°: 1	TRABAJO N°: 1	FECHA
PIEZA:	Horquilla	PLANO N°: CME-PA-23-02	HOJA: 1	27/7/2023
MATERIAL:	AISI 304	DIMENSIONES EN BRUTO: Eje $\varnothing 32$ mm L=30mm		
REALIZADO POR:	Santiago Mora			



FASE	SUB-FASE	OPERACIÓN	DENOMINACIÓN	CROQUIS	HERRAMIENTA	psd	pp mm	N rpm	Va mm/s	tc min	CONTROL
1.1 Refrentado	1.1.1	Sujetar	Sujeción de la pieza en el mandril autocentrante, con el eje central de la pieza colineal al usillo del tomo y a una distancia de $d=7,5$ mm.		Llave del mandril					3	Visual, Calibrador pie de Rey
	1.1.2	Cambiar herramienta de corte	Colocar herramienta de refrentado en la torreta a $d=5$ mm de distancia tomando encuentra desde la torreta a la punta de la herramienta y centrarla con el contrapunto.		Llave allen de 6 mm, Llave de pico, Contrapunto					7	Visual, Calibrador pie de Rey

FASE	SUB-FASE	OPERACIÓN	DENOMINACIÓN	CROQUIS	HERRAMIENTA	psd	pp mm	N rpm	Va mm/s	tc min	CONTROL
I. Torneado		1.1.3 Refrentar	Refrentar la cara A		Butil afilado	2	1	208,9	1,3926	0,19	Visual, Calibrador pie de Rey
						1	0,5	258,63	0,8621	0,31	
	1.2 Taladrado en torno	1.2.1 Cambiar herramienta a taladrado	En el Broquero del contrapunto colocar broca de 6mm de diámetro, para realizar la perforación delantera en el previo refrentado.		Broquero, Llave del Broquero, Contrapunto, Broca de 6 mm					3,00	Visual, Calibrador pie de Rey
		1.2.2 Perforar	Realizar una perforación de longitud útil de 10mm en la cara A refrentada.		Broquero, Contrapunto, Broca de 6 mm	1	10	69,632	0,1161	1,44	Visual, Calibrador pie de Rey
	1.3 Sujetar	1.3.1 Cambiar el contrapunto	Sacar el cono del broquero y colocar el cono del contrapunto.		Contrapunto					3,00	Visual
		1.3.2 Sujetar	Sacar la pieza del mandril del torno hasta que quede a una distancia de d=10 mm y colocar el contrapunto sobre la perforación realizada para mayor sujeción		Llave del mandril, Contrapunto			0	0	5,00	Visual, Calibrador pie de Rey
	Cilindrado	1.3.4 Cilindrado 3	Cilindrar el escalón 3 una longitud d=7 mm medido desde A para que quede a un Ø14 mm		Contrapunto, Butil	2	3,5	208,9	1,3926	0,08	Visual, Calibrador pie de Rey
						1	1	208,9	1,3926	0,08	
						2	0,5	258,63	0,8621	0,14	

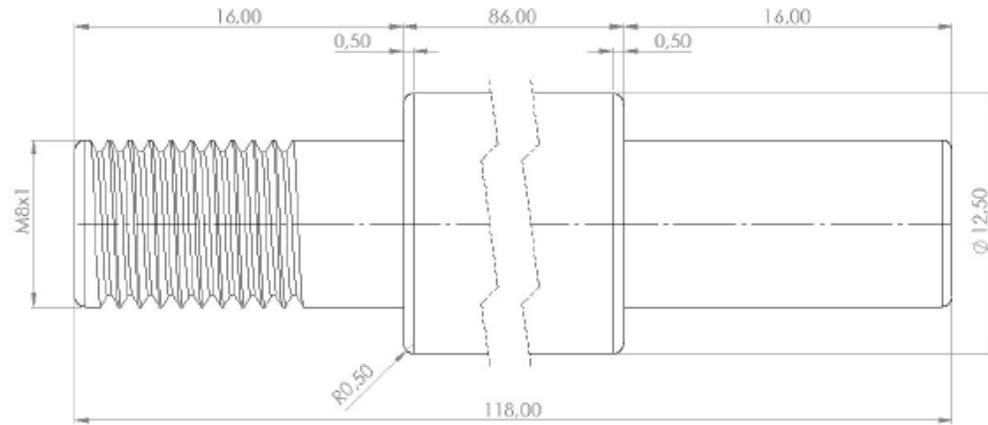
FASE	SUB-FASE	OPERACIÓN	DENOMINACIÓN	CROQUIS	HERRAMIENTA	psd	pp mm	N rpm	Va mm/s	tc min	CONTROL	
	1.3	1.4.1 Redondear r0,7	Redondear arista A un r0,7 mm		Contrapunto, Butil	1	0,7	258,63	0,8621	0,02	Visual, Calibrador pie de Rey	
		1.4.2 Redondear r1	Redondear arista B un r1 mm		Contrapunto, Butil	1	1	258,63	0,8621	0,02	Visual, Calibrador pie de Rey	
		1.4.3 Chaflán	Colocar herramienta para chaflán, a un ángulo de 15° y realizar chaflán desde B hasta el extremo del cilindro		Contrapunto, Butil para chaflán 15°	1	1	258,63	0,8621	0,06	Visual, Calibrador pie de Rey	
	1.7 Taladrado en torno	1.4.1 Cambiar herramienta a taladrado	En el Broquero del contrapunto colocar broca de 6,65mm de diámetro, para realizar la perforación pasante de la pieza.		Broquero, Lave del Broquero, Contrapunto, Broca de 6,65 mm						3,00	Visual, Calibrador pie de Rey
		1.4.2 Perforar	Realizar una perforación de longitud útil de 38mm		Broquero, Contrapunto, Broca de 6,65 mm	1	10	69,632	0,1161	5,46		Visual, Calibrador pie de Rey
		2.1.1 Planear Lado 1	Colocar la fresa para planear a 90° en el porta fresas. Planear 8 mm al un lado del cilindro		Porta fresa, fresa para planear a 90°	3	2	169,11	0,4228	0,32	Visual, Calibrador pie de Rey	
					1	1	169,11	0,4228	0,32			
					2	0,5	169,11	0,4228	0,32			

FASE	SUB-FASE	OPERACIÓN	DENOMINACIÓN	CROQUIS	HERRAMIENTA	psd	PP mm	N rpm	Va mm/s	tc min	CONTROL
2. Fresadora	2.1 Planear	2.1.2 Planear Lado 2	Planear 8 mm de tal manera que quede una cara paralela a la cara anterior		Porta fresa, fresa para planear a 90°	3	2	169,11	0,4228	0,32	Visual, Calibrador pie de Rey
						1	1	169,11	0,4228	0,32	
						2	0,5	169,11	0,4228	0,32	
		2.1.3 Planear Lado 3	Planear 8 mm de tal manera que quede perpendicular a las dos caras planeadas previamente.		Porta fresa, fresa para planear a 90°	3	2	169,11	0,4228	0,32	Visual, Calibrador pie de Rey
						1	1	169,11	0,4228	0,32	
						2	0,5	169,11	0,4228	0,32	
		2.1.4 Planear Lado 4	Planear 8 mm de tal manera que la cara quede paralela a la cara anterior		Porta fresa, fresa para planear a 90°	3	2	169,11	0,4228	0,32	Visual, Calibrador pie de Rey
						1	1	169,11	0,4228	0,32	
						2	0,5	169,11	0,4228	0,32	
	2.2 Taladro en fresadora CNC	2.2.1 Perforar	Colocar la broca en la máquina. Realizar una perforación pasante de longitud 16mm de diámetro Ø8 mm		Broquero, broca de 8mm	1	16	69,632	0,1161	2,30	Visual, Calibrador pie de Rey
2.2.2 Desbaste externo		Desbaste externamente un Ø16 mm		Broquero, broca de 16mm	2	2	169,11	0,2255	1,18	Visual, Calibrador pie de Rey	

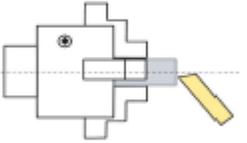
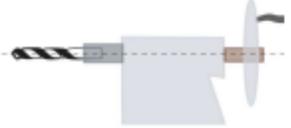
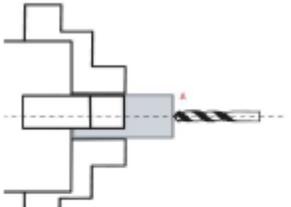
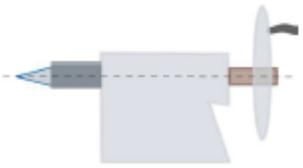
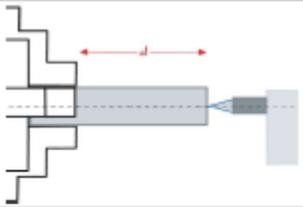
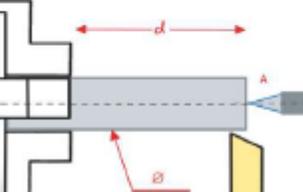
FASE	SUB-FASE	OPERACIÓN	DENOMINACIÓN	CROQUIS	HERRAMIENTA	psd	pp mm	N rpm	Va mm/s	tc min	CONTROL
	2.4 Ranurado		Colocar la fresa para planear a 90° en el porta fresas. Realizar ranurado central de ancho de 10mm		Broquero, broca de 6mm	2	2	169,11	0,2255	1,18	Visual, Calibrador pie de Rey

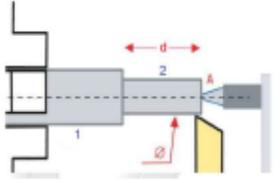
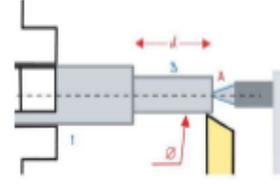
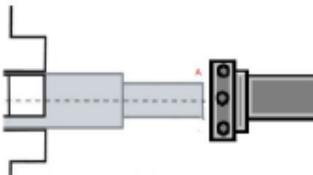
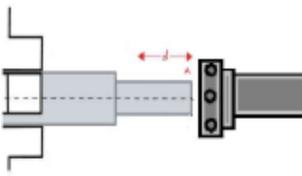
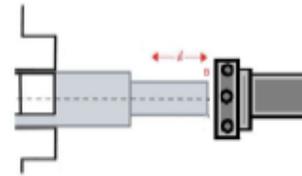
## HOJA DE PROCESOS

PROYECTO:	Prototipo de amortiguadores para prótesis de rodilla	CONJUNTO N°: 1	TRABAJO N°: 1	FECHA
PIEZA:	Vástago	PLANO N°: CIME-PA-23-03	HOJA: 1	27/7/2023
MATERIAL:	Acero AISI 304	DIMENSIONES EN BRUTO: Eje $\varnothing$ 15,88mm , L=118 mm		
REALIZADO POR:	Santiago Mora			



FASE	SUB-FASE	OPERACIÓN	DENOMINACIÓN	CROQUIS	HERRAMIENTA	psd	pp mm	N rpm	Va mm/s	tc min	CONTROL
1.1 Refrentado		1.1.1 Sujetar	Sujeción de la pieza en el mandril autocentrante, con el eje central de la pieza colineal al usillo del torno y a una distancia de $d=50$ mm.		Llave del mandril					3	Visual, Calibrador pie de Rey
		1.1.2 Cambiar herramienta de corte	Colocar herramienta de refrentado en la torreta a $d=5$ mm de distancia tomando encuenta desde la torreta a la punta de la herramienta y centrarla con el contrapunto.		Llave allen de 6 mm, Llave de pico, Contrapunto					7	Visual, Calibrador pie de Rey

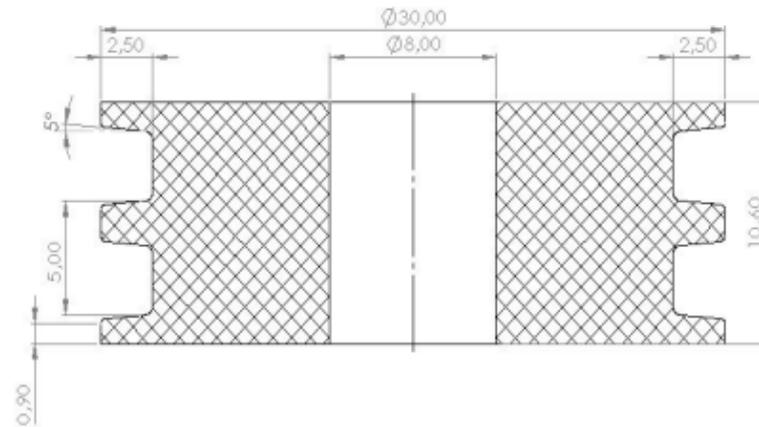
FASE	SUB-FASE	OPERACIÓN	DENOMINACIÓN	CROQUIS	HERRAMIENTA	psd	pp mm	N rpm	Va mm/s	tc min	CONTROL	
1. Tornear		1.1.3 Refrentar	Refrentar la cara A		Butil afilado	2	1	420,9	2,81	0,05	Visual, Calibrador pie de Rey	
						2	0,5	521,17	1,74	0,08		
	1.2 Taladrado en torno	1.2.1 Cambiar herramienta a taladrado	En el broquero del contrapunto colocar broca de 6mm de diámetro, para realizar la perforación delantera en el previo refrentado.		Broquero, llave del broquero, contrapunto, broca de 6 mm					5	Visual, Calibrador pie de Rey	
		1.2.2 Perforar	Realizar una perforación de longitud útil de 1,3 mm en la cara A refrentada.		Broquero, Contrapunto, Broca de 6 mm	1	1,3	371,37	0,62	0,04	Visual, Calibrador pie de Rey	
	1.3 Cilindrado	1.3.1 Cambiar el contrapunto	Sacar el cono del broquero y colocar el cono del contrapunto.		Contrapunto						1	Visual
		1.3.2 Sujetar	Sacar la pieza del mandril del torno hasta que quede a una distancia de d=118 mm y colocar el contrapunto sobre la perforación realizada para mayor sujeción		Llave del mandril, Contrapunto						5	Visual, Calibrador pie de Rey
		1.3.3 Cilindrado Nro. 1	Cilindrar la longitud d=118 mm medido desde A para que quede a un Ø 12,5 mm		Contrapunto, Butil	1	1	420,95	2,81	0,10	Visual, Calibrador pie de Rey	
					1	0,69	551,75	1,84	0,12			

FASE	SUB-FASE	OPERACIÓN	DENOMINACIÓN	CROQUIS	HERRAMIENTA	psd	pp mm	N rpm	Va mm/s	tc min	CONTROL	
	1.3.4	Cilindrado 2	Cilindrar el escalón 2 una longitud $d=16$ mm medido desde A para que quede a un $\varnothing 8$ mm		Contrapunto, Buril	1	1,25	420,95	2,81	0,01	Visual, Calibrador pie de Rey	
						1	1	521,17	1,74	0,02		
	1.3.5	Cilindrado 3	Refrentar el lado opuesto de la pieza, siguiendo el paso 1.1, 1.2, para que quede una longitud de 118 mm. Cilindrar el escalón 3 una longitud de $d=16$ mm medido desde A para que quede un $\varnothing 8$ mm		Contrapunto, Buril	1	1,25	420,95	2,81	0,01	Visual, Calibrador pie de Rey	
						1	1	521,17	1,74	0,02		
	1.4 Roscado	1.4.1 Colocación herramienta	Colocar la tarraja M 8X1 en el tomo		Tarraja M8X1						5	Visual, Calibrador pie de Rey
		1.4.2 Roscado extremo A	Roscar una distancia $d=10$ mm desde el extremo A		Tarraja M8X1						5	Visual, Calibrador pie de Rey
1.4.3 Roscado extremo B		Voltear la pieza y roscar una distancia $d=10$ mm desde el extremo B		Tarraja M8X1								Visual, Calibrador pie de Rey

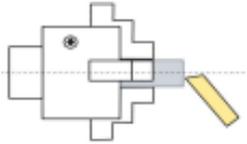
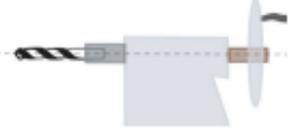
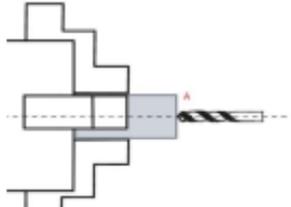
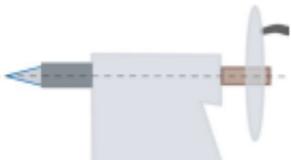
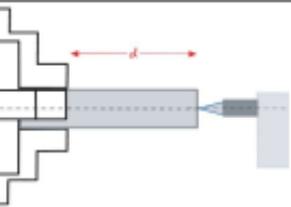
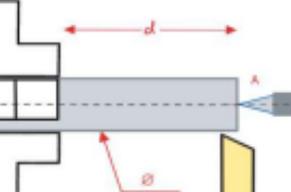
FASE	SUB-FASE	OPERACIÓN	DENOMINACIÓN	CROQUIS	HERRAMIENTA	psd	pp mm	N rpm	Va mm/s	tc min	CONTROL
1. Tornando	1.5 Redondeo	1.5.1 Redondeo arista 1	Colocar el contrapunto. Colocar la herramienta de redondeo r0.5. Redondear la arista 1		Contrapunto, Buril	1	0,5	835,58	5,57	0,03	Visual, Calibrador pie de Rey
		1.5.2 Redondeo arista 2	Recorrer 16 mm, redondear arista 2		Llave allen de 6 mm, Llave de pico, Contrapunto	1	0,5	534,77	3,57	0,05	Visual, Calibrador pie de Rey
		1.5.3 Redondeo arista 3	Voltear la pieza y redondear arista 3		Buril afilado	21	8	5,5706	0,00	0,03	Visual, Calibrador pie de Rey
		1.5.4 Redondeo arista 4	Recorrer 16 mm, redondear arista 4		Llave allen de 6 mm, Llave de pico, Contrapunto	21	12,5	3,5652	0,00	0,05	Visual, Calibrador pie de Rey

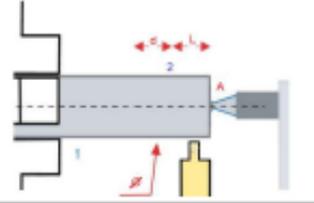
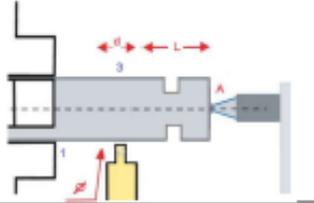
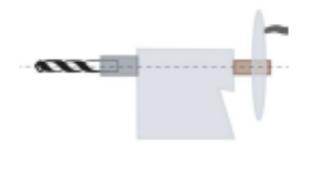
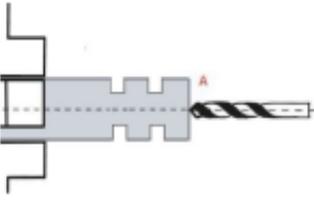
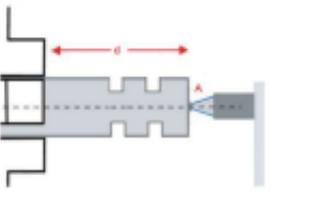
## HOJA DE PROCESOS

<b>PROYECTO:</b>	Prototipo de amortiguadores para prótesis de rodilla	<b>CONJUNTO N°:</b> 1	<b>TRABAJO N°:</b> 1	<b>FECHA</b>
<b>PIEZA:</b>	Pistón	<b>PLANO N°:</b> CIME-PA-23-04	<b>HOJA:</b>	27/7/2023
<b>MATERIAL:</b>	Nailon 6-10	<b>DIMENSIONES EN BRUTO:</b> Eje $\varnothing$ 32mm , L=21mm		
<b>REALIZADO POR:</b>	Santiago Mora			



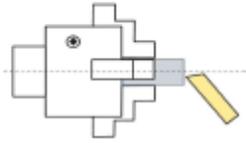
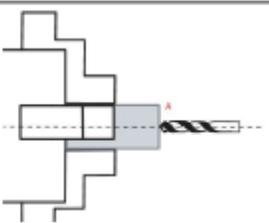
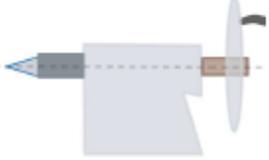
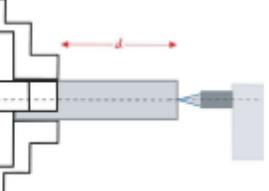
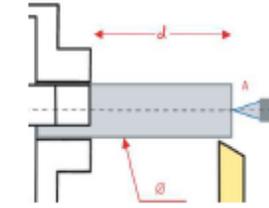
FASE	SUB-FASE	OPERACIÓN	DENOMINACIÓN	CROQUIS	HERRAMIENTA	psd	pp mm	N rpm	Va mm/s	tc min	CONTROL
1.1 Refrentado	1.1.1	Sujetar	Sujeción de la pieza en el mandril autocentrante, con el eje central de la pieza colineal al usillo del torno y a una distancia de $d=15$ mm.		Llave del mandril					3	Visual, Calibrador pie de Rey
	1.1.2	Cambiar herramienta de corte	Colocar herramienta de refrentado en la torreta a $d=5$ mm de distancia tomando encuenra desde la torreta a la punta de la herramienta y centrarla con el contrapunto.		Llave allen de 6 mm, Llave de pico, Contrapunto					7	Visual, Calibrador pie de Rey

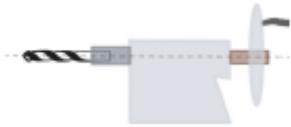
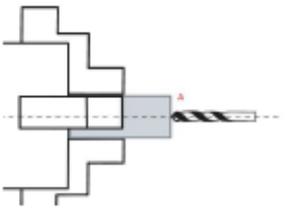
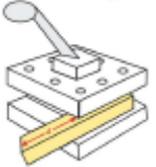
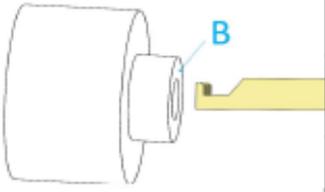
FASE	SUB-FASE	OPERACIÓN	DENOMINACIÓN	CROQUIS	HERRAMIENTA	psd	pp mm	N rpm	Va mm/s	tc min	CONTROL	
I. Tornando		1.1.3 Refrentar	Refrentar la cara A		Buril afilado	2	1	298,4	0,50	1,01	Visual, Calibrador pie de Rey	
		2	0,5	298,42	0,25	2,01						
	1.2 Taladrado en torno	1.2.1 Cambiar herramienta a taladrado	En el broquero del contrapunto colocar broca de 6mm de diámetro, para realizar la perforación delantera en el previo refrentado.		Broquero, llave del broquero, contrapunto, broca de 6 mm						5	Visual, Calibrador pie de Rey
		1.2.2 Perforar	Realizar una perforación de longitud útil de 1,3 mm en la cara A refrentada.		Broquero, Contrapunto, Broca de 6 mm	1	1,3	227,6	0,19	0,11	Visual, Calibrador pie de Rey	
	1.3 Cilindrado	1.3.1 Cambiar el contrapunto	Sacar el cono del broquero y colocar el cono del contrapunto.		Contrapunto						1	Visual
		1.3.2 Sujetar	Sacar la pieza del mandril del torno hasta que quede a una distancia de d=15 mm y colocar el contrapunto sobre la perforación realizada para mayor sujeción		Llave del mandril, Contrapunto						5	Visual, Calibrador pie de Rey
		1.3.3 Cilindrado Nro. 1	Cilindrar la longitud d=15 mm medido desde A para que quede a un Ø30 mm		Contrapunto, Buril	1	0,5	298,42	0,50	0,50	Visual, Calibrador pie de Rey	
	1	0,5	298,42	0,25	1,01							

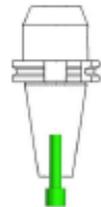
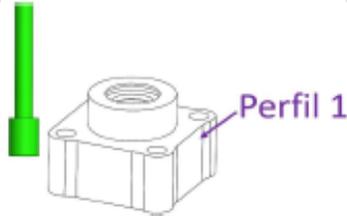
FASE	SUB-FASE	OPERACIÓN	DENOMINACIÓN	CROQUIS	HERRAMIENTA	psd	pp mm	N rpm	Va mm/s	tc min	CONTROL
1.4 Acanalado	1.4.1 Acanalado 2	Colocar el buril para acanalar. Cilindrar el escalón 2 una longitud $d=2,5$ mm, a $L=1,67$ mm de A para que quede a un $\varnothing 25$ mm.			Contrapunto, Buril	2	1,25	318,32	0,27	0,31	Visual, Calibrador pie de Rey
	1.4.2 Acanalado 3	Colocar el buril para acanalar. Cilindrar el escalón 3 una longitud $d=2,5$ mm, a $L=6,67$ mm de A para que quede a un $\varnothing 25$ mm.			Contrapunto, Buril	2	1,25	318,32	0,27	0,31	Visual, Calibrador pie de Rey
1.5 Taladrado en torno	1.5.1 Cambiar el contrapunto	En el broquero del contrapunto colocar broca de 8mm de diámetro, para realizar la perforación			Broquero, llave del broquero, contrapunto, broca de 8 mm					5	Visual, Calibrador pie de Rey
	1.5.2 Perforar	Realizar una perforación de longitud útil de 12 mm en la cara A refrentada.			Broquero, Contrapunto, Broca de 8 mm	1	12	401,03	0,33	0,60	Visual, Calibrador pie de Rey
1.6 Corte	1.6.1 Sujetar	Sacar la pieza del mandril del torno hasta que quede a una distancia de $d=12$ mm y colocar el contrapunto sobre la perforación realizada para mayor sujeción			Llave del mandril, Contrapunto					5	Visual, Calibrador pie de Rey

## HOJA DE PROCESOS

PROYECTO:		Prototipo de amortiguadores para prótesis de rodilla	CONJUNTO N°: 1		TRABAJO N°: 1		FECHA				
PIEZA:		Tapa superior	PLANO N°: CME-PA-23-05		HOJA: 1		27/7/2023				
MATERIAL:		7075-T6	DIMENSIONES EN BRUTO: Eje $\varnothing 55$ mm L=38,5mm								
REALIZADO POR:		Santiago Mora									
FASE	SUB-FASE	OPERACIÓN	DENOMINACIÓN	CROQUIS	HERRAMIENTA	psd	pp mm	N rpm	Va mm/s	tc min	CONTROL
I.1 Refrentado		I.1.1 Sujetar	Sujeción de la pieza en el mandril autocentrante, con el eje central de la pieza colineal al usillo del torno y a una distancia de $d=7,5$ mm.		Llave del mandril					3	Visual, Calibrador pie de Rey
		I.1.2 Cambiar herramienta de corte	Colocar herramienta de refrentado en la torreta a $d=5$ mm de distancia tomando encuenra desde la torreta a la punta de la herramienta y centrarla con el contrapunto.		Llave allen de 6 mm, Llave de pico, Contrapunto					7	Visual, Calibrador pie de Rey

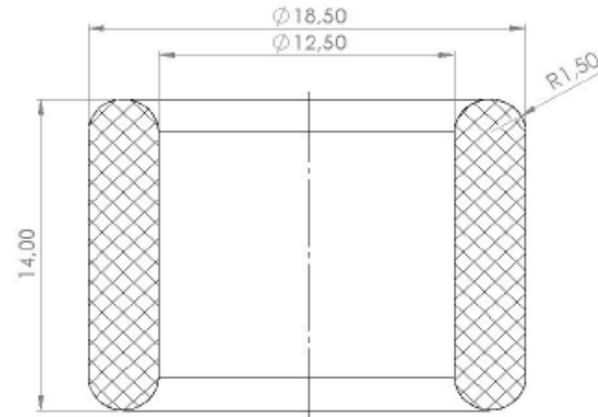
FASE	SUB-FASE	OPERACIÓN	DENOMINACIÓN	CROQUIS	HERRAMIENTA	psd	pp mm	N rpm	Va mm/s	tc min	CONTROL
		1.1.3 Refrentar	Refrentar la cara A		Butil afilado	2	2	121,54	48,616	0,57	Visual, Calibrador pie de Rey
						2	0,5	150,478	30,0956	0,91	
	1.2 Taladrado en torno	1.2.1 Cambiar herramienta a taladrado	En el Broquero del contrapunto colocar broca de 6mm de diámetro, para realizar la perforación delantera en el previo refrentado.		Broquero, Llave del Broquero, Contrapunto, Broca de 6 mm					5,00	Visual, Calibrador pie de Rey
		1.2.2 Perforar	Realizar una perforación de longitud útil de 10mm en la cara A refrentada.		Broquero, Contrapunto, Broca de 6 mm	1	10	371,372	37,1372	0,13	Visual, Calibrador pie de Rey
	1.3 Cilindrado	1.3.1 Cambiar el contrapunto	Sacar el cono del broquero y colocar el cono del contrapunto.		Contrapunto				0	1,00	Visual
		1.3.2 Sujetar	Sacar la pieza del mandril del torno hasta que quede a una distancia de d=11 mm y colocar el contrapunto sobre la perforación realizada para mayor sujeción		Llave del mandril, Contrapunto				0	5,00	Visual, Calibrador pie de Rey
		1.3.3 Cilindrado Nro. 1	Cilindrar la longitud d=11 mm medido desde A para que quede a un Ø26 mm		Contrapunto, Butil	6	2	121,54	48,616	0,23	Visual, Calibrador pie de Rey
	2	1	121,54	48,616	0,23						
	1	0,5	150,478	30,0956	0,37						

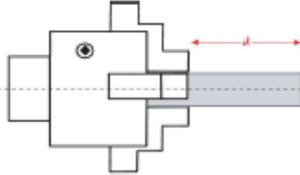
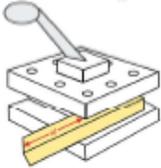
FASE	SUB-FASE	OPERACIÓN	DENOMINACIÓN	CROQUIS	HERRAMIENTA	psd	pp mm	N rpm	Va mm/s	tc min	CONTROL	
1. Torno	1.4 Taladrado en torno	1.4.1 Cambiar herramienta a taladrado	En el Broquero del contrapunto colocar de forma consecutiva las brocas $\varnothing$ 6,35 mm, $\varnothing$ 8; $\varnothing$ 9; $\varnothing$ 10; $\varnothing$ 12,6mm para realizar la perforación pasante de la pieza.		Broquero, Llave del Broquero, Broca $\varnothing$ 6,35; $\varnothing$ 8; $\varnothing$ 9; $\varnothing$ 10; $\varnothing$ 12,6mm.					40,00	Visual	
		1.4.2 Perforar	Realizar una perforación pasante, iniciando con la broca de $\varnothing$ 6,35 mm, hasta perforar un $\varnothing$ 12,6 mm con las brocas correspondientes		Broca $\varnothing$ 6,35 mm Broca $\varnothing$ 8 mm Broca $\varnothing$ 9 mm Broca $\varnothing$ 10 mm Broca $\varnothing$ 12,6mm.	1 1 1 1 1	6,35 1,65 1 1 2,6	350,903 278,529 247,582 222,823 176,844	35,0903 27,8529 24,7582 22,2823 17,6844	0,88 1,11 1,25 1,39 1,75	Visual, Calibrador pie de Rey	
		1.5.1 Colocar herramienta	Colocar herramienta para ranurado interno en la torreta.		Llave allen de 6 mm, Llave de pico, Contrapunto.						7,00	Visual, Calibrador pie de Rey
		1.5.2 Ranurar	Cilindrar un ancho de 2,97 mm a partir de 8,48 mm medido desde B para que quede a un $\varnothing$ 17,15 mm.		Contrapunto, Butil	1	2	121,54	48,616	0,06	Visual, Calibrador pie de Rey	
		1.5.3 Ranurar	Cilindrar un ancho de 2,00 mm a partir de 3,00 mm medido desde B para que quede un $\varnothing$ 18,00 mm.		Contrapunto, Butil	1	0,275	150,478	30,0956	0,10		
	1.5.4 Cilindrar	Cilindrar un ancho de 1,00 mm a partir de B para que quede un $\varnothing$ 16,00 mm.	Contrapunto, Butil		2	1	121,54	24,308	0,08	Visual, Calibrador pie de Rey		
	Contrapunto, Butil	2	1		150,478	30,0956	0,03	Visual, Calibrador pie de Rey				
	1.6.1 Cambiar herramienta a taladrado	En el Broquero del contrapunto colocar de forma consecutiva las brocas $\varnothing$ 14mm; $\varnothing$ 20mm; $\varnothing$ 25mm; $\varnothing$ 30,2mm para realizar la perforación pasante de la pieza.		Broquero, Llave del Broquero, Broca $\varnothing$ 14mm; $\varnothing$ 20mm; $\varnothing$ 25mm; $\varnothing$ 30,2mm.						40,00	Visual	

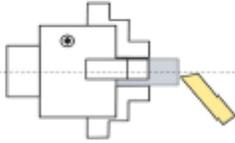
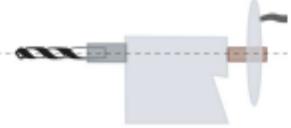
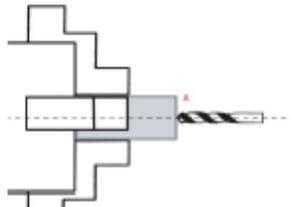
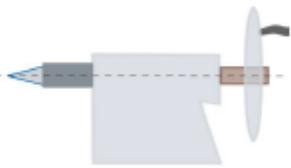
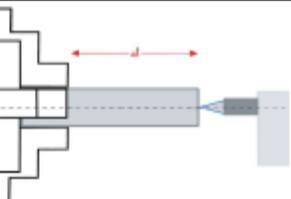
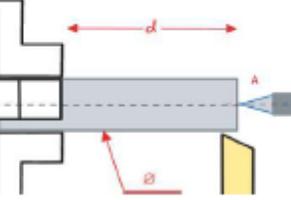
FASE	SUB-FASE	OPERACIÓN	DENOMINACIÓN	CROQUIS	HERRAMIENTA	psd	pp mm	N rpm	Va mm/s	tc min	CONTROL
2. Fresadora CNC	2.2 Taladrado en fresadora CNC	2.2.1 Colocar herramienta para taladrado	En el Broquero colocar la broca $\varnothing 6,35$ mm, para realizar las cuatro perforaciones pasantes de la pieza.		Broquero, Llave del Broquero, Broca de 6,35 mm				0	5,00	Visual
		2.2.2 Perforar	Realizar cuatro perforaciones pasantes de $\varnothing 6$ mm		Broquero, broca de 6mm	4	31	371,372	37,1372	0,83	Visual, Calibrador pie de Rey
	2.3 Desbaste lateral	2.3.1 Cambiar herramienta	Colocar la fresa para desbaste en el porta fresas		Porfa fresa, fresa para desbaste lateral,					5,00	Visual
		2.3.2 Desbastar perfil 1	Desbastar perfil externo del cilindro una longitud $d=31$ mm hasta obtener el perfil base.		Porfa fresa, fresa para desbaste lateral,	3	2	135,286	10,8229	2,86	Visual, Calibrador pie de Rey
						1	1	135,286	10,8229	2,86	
						1	0,5	135,286	10,8229	2,86	
	2.3.3 Desbastar perfil 2	Desbastar perfil intermedio una longitud $d=6$ mm hasta obtener el perfil 2		Porfa fresa, fresa para desbaste lateral,	4	2	135,286	10,8229	0,55	Visual, Calibrador pie de Rey	
					2	1	135,286	10,8229	0,55		
					1	0,5	135,286	10,8229	0,55		

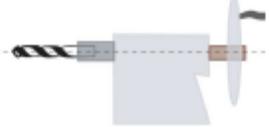
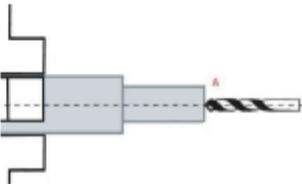
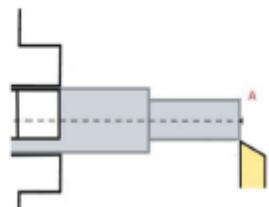
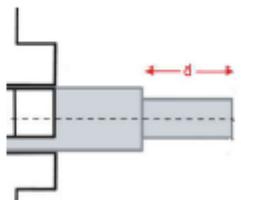
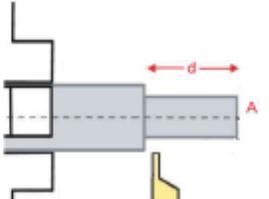
## HOJA DE PROCESOS

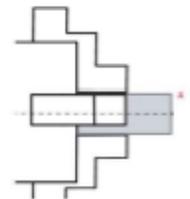
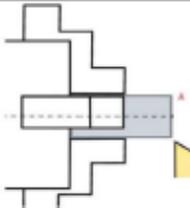
<b>PROYECTO:</b>	Prototipo de amortiguadores para prótesis de rodilla	<b>CONJUNTO N°:</b> 1	<b>TRABAJO N°:</b> 1	<b>FECHA</b>
<b>PIEZA:</b>	Tope	<b>PLANO N°:</b> CIME-PA-23-06	<b>HOJA:</b>	27/7/2023
<b>MATERIAL:</b>	Nailon 6-10	<b>DIMENSIONES EN BRUTO:</b> Eje $\varnothing$ 20mm , L=24mm		
<b>REALIZADO POR:</b>	Santiago Mora			



FASE	SUB-FASE	OPERACIÓN	DENOMINACIÓN	CROQUIS	HERRAMIENTA	psd	pp mm	N rpm	Va mm/s	tc min	CONTROL
1.1 Refrentado	1.1.1	Sujetar	Sujeción de la pieza en el mandril autocentrante, con el eje central de la pieza colineal al usillo del torno y a una distancia de $d=18$ mm.		Llave del mandril					3	Visual, Calibrador pie de Rey
	1.1.2	Cambiar herramienta de corte	Colocar herramienta de refrentado en la torreta a $d=5$ mm de distancia tomando encuenra desde la torreta a la punta de la herramienta y centralarla con el contrapunto.		Llave allen de 6 mm, Llave de pico, Contrapunto					7	Visual, Calibrador pie de Rey

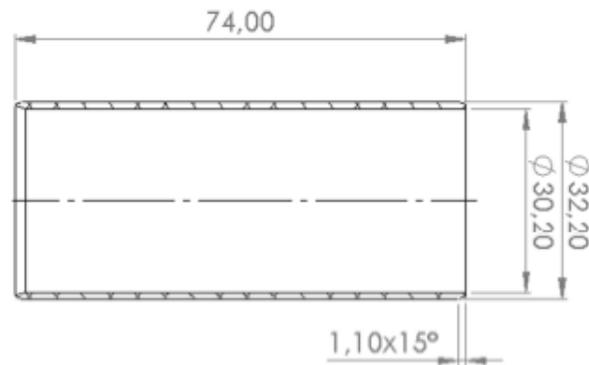
FASE	SUB-FASE	OPERACIÓN	DENOMINACIÓN	CROQUIS	HERRAMIENTA	ped	pp mm	N rpm	Va mm/s	tc min	CONTROL	
Torneado		1.1.3 Refrentar	Refrentar la cara A		Buril afilado	2	1	477,5	0,80	0,42	Visual, Calibrador pie de Rey	
	1.2 Taladrado en torno	1.2.1 Cambiar herramienta a taladrado	En el broquero del contrapunto colocar broca de 6mm de diámetro, para realizar la perforación delantera en el previo refrentado.		Broquero, llave del broquero, contrapunto, broca de 6 mm					5	Visual, Calibrador pie de Rey	
		1.2.2 Perforar	Realizar una perforación de longitud útil de 1,3 mm en la cara A refrentada.		Broquero, Contrapunto, Broca de 6 mm	1	1,3	227,6	0,19	0,11	Visual, Calibrador pie de Rey	
	1.3 Cilindrado	1.3.1 Cambiar el contrapunto	Sacar el cono del broquero y colocar el cono del contrapunto.		Contrapunto						1	Visual
		1.3.2 Sujetar	Sacar la pieza del mandril del torno hasta que quede a una distancia de d=15 mm y colocar el contrapunto sobre la perforación realizada para mayor sujeción		Llave del mandril, Contrapunto						5	Visual, Calibrador pie de Rey
		1.3.3 Cilindrado Nro. 1	Cilindrar la longitud d=17 mm medido desde A para que quede a un Ø18,5 mm		Contrapunto, Buril	1	0,5	477,48	0,80	0,36	Visual, Calibrador pie de Rey	
					1	0,25	477,48	0,40	0,71			

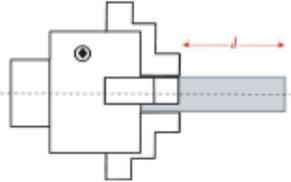
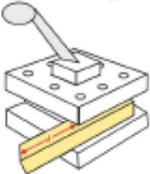
FASE	SUB-FASE	OPERACIÓN	DENOMINACIÓN	CROQUIS	HERRAMIENTA	p: d	pp mm	N rpm	Va mm/s	tc min	CONTROL	
1	1.4 Taladrado en torno	1.4.1 Cambiar el contrapunto	En el broquero del contrapunto colocar broca de 6,35 mm de diámetro, para realizar la perforación		Broquero, llave del broquero, contrapunto, broca de 6,35 mm					5	Visual, Calibrador pie de Rey	
		1.4.2 Perforar	Realizar una perforación L=17 mm, iniciando con la broca de Ø 6,35, hasta perforar un Ø12 con las brocas correspondientes		Broquero, Contrapunto, Broca de 8 mm	1	17	212,21	0,18	1,60	Visual, Calibrador pie de Rey	
	1.5 Redondeo	1.5.1 Redondeo	Colocar herramienta de redondeo r0,5. Redondear arista		Contrapunto, Butil	1	0,5	516,19	0,43	0,04	Visual, Calibrador pie de Rey	
	1.6 Corte	1.6.1 Sujetar	Sacar la pieza del mandril del torno hasta que quede a una distancia de d=17 mm		Llave del mandril, Contrapunto						5	Visual, Calibrador pie de Rey
		1.6.2 Corte	Realizar una corte a una longitud útil de d=15 mm medida desde la cara A refrentada.		Contrapunto, Butil	1	18,5	516,19	0,86	0,36	Visual, Calibrador pie de Rey	

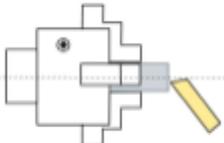
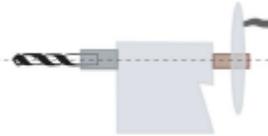
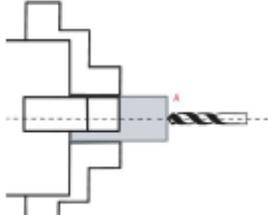
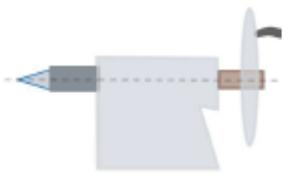
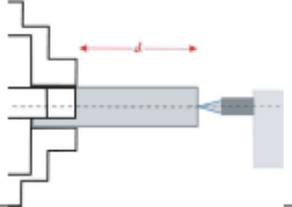
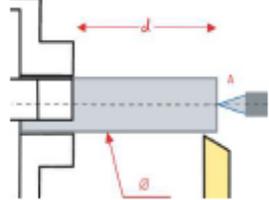
FASE	SUB-FASE	OPERACIÓN	DENOMINACIÓN	CROQUIS	HERRAMIENTA	psd	pp mm	N rpm	Va mm/s	tc min	CONTROL
	1.7 Redondeo 2	1.7.1 Voltrear y sujetar	Sacar la pieza del mandril del torno y voltrear la pieza		Llave del mandril, Contrapunto					5	Visual, Calibrador pie de Rey
		1.7.2 Redondeo 2	Colocar herramienta de redondeo r0,5. Redondear arista		Contrapunto, Butil	0,05	516,19	0,0387	0,00	0,00	Visual, Calibrador pie de Rey

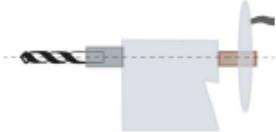
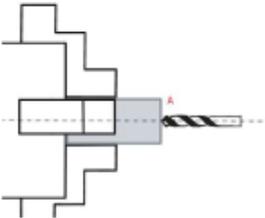
## HOJA DE PROCESOS

PROYECTO:	Prototipo de amortiguadores para prótesis de rodilla	CONJUNTO N°: 1	TRABAJO N°: 1	FECHA
PIEZA:	Cilindro	PLANO N°: CIME-PA-23-08	HOJA: 1	27/7/2023
MATERIAL:	7075-T6	DIMENSIONES EN BRUTO: Eje $\varnothing 35$ mm L=80mm		
REALIZADO POR:	Santiago Mora			



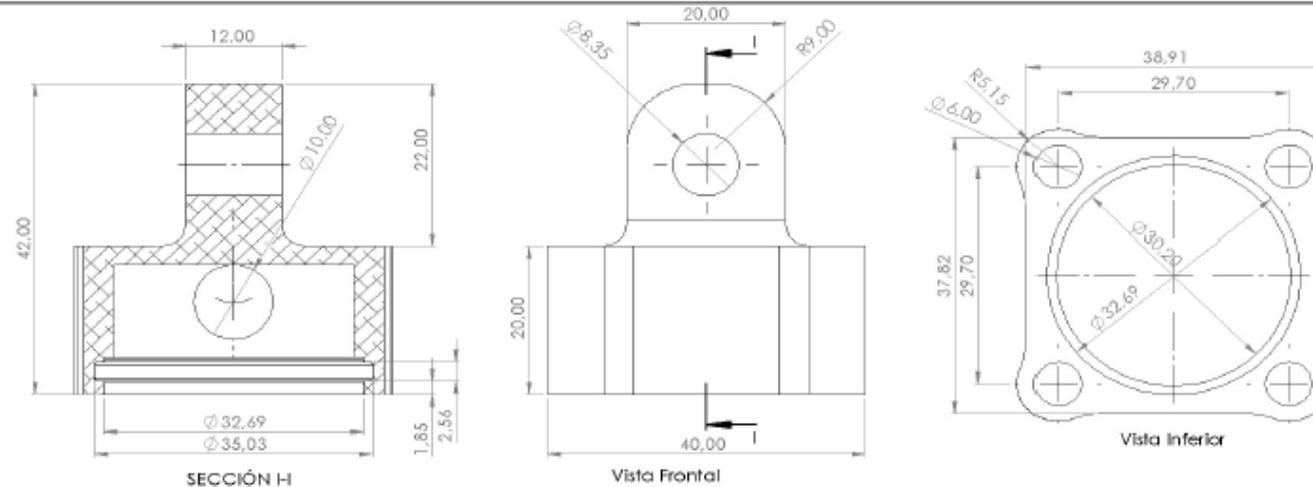
FASE	SUB-FASE	OPERACIÓN	DENOMINACIÓN	CROQUIS	HERRAMIENTA	psd	pp mm	N rpm	Va mm/s	tc min	CONTROL
1.1 Refrentado		1.1.1 Sujetar	Sujeción de la pieza en el mandril autocentrante, con el eje central de la pieza colineal al usillo del torno y a una distancia de $d=7,5$ mm.		Llave del mandril					3	Visual, Calibrador pie de Rey
		1.1.2 Cambiar herramienta de corte	Colocar herramienta de refrentado en la torreta a $d=5$ mm de distancia tomando cuenta desde la torreta a la punta de la herramienta y centrarla con el contrapunto.		Llave allen de 6 mm, Llave de pico, Contrapunto					7	Visual, Calibrador pie de Rey

FASE	SUB-FASE	OPERACIÓN	DENOMINACIÓN	CROQUIS	HERRAMIENTA	psd	pp mm	N rpm	Va mm/s	tc min	CONTROL	
I. Torneado		1.1.3 Refrentar	Refrentar la cara A		Buril afilado	2	2	190,99	1,2733	0,23	Visual, Calibrador pie de Rey	
						2	0,5	236,47	0,7882	0,37		
	1.2 Taladrado en tomo	1.2.1 Cambiar herramienta a taladrado	En el Broquero del contrapunto colocar broca de 6mm de diámetro, para realizar la perforación delantera en el previo refrentado.		Broquero, Llave del Broquero, Contrapunto, Broca de 6 mm							Visual, Calibrador pie de Rey
		1.2.2 Perforar	Realizar una perforación de longitud útil de 10mm en la cara A refrentada.		Broquero, Contrapunto, Broca de 6 mm	1	10	371,37	0,619	0,27	Visual, Calibrador pie de Rey	
	1.3 Cilindrado	1.3.1 Cambiar el contrapunto	Sacar el cono del broquero y colocar el cono del contrapunto.		Contrapunto						1,00	Visual
		1.3.2 Sujetar	Sacar la pieza del mandril del tomo hasta que quede a una distancia de d=74 mm y colocar el contrapunto sobre la perforación realizada para mayor sujeción		Llave del mandril, Contrapunto						5,00	Visual, Calibrador pie de Rey
		1.3.3 Cilindrado Nro. 1	Cilindrar la longitud d=74 mm medido desde A para que quede a un Ø32,20mm		Contrapunto, Buril	1	3	190,99	1,2733	0,97	Visual, Calibrador pie de Rey	
2	0,5	236,47	0,7882	1,56								

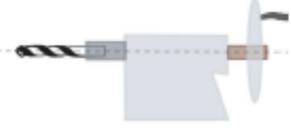
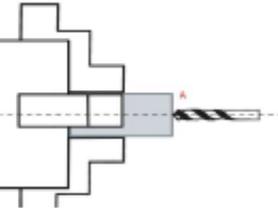
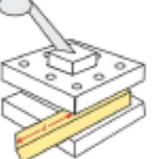
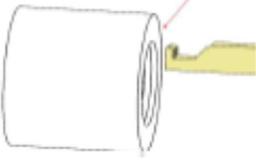
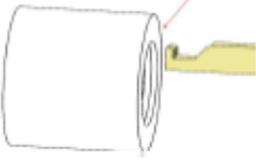
FASE	SUB-FASE	OPERACIÓN	DENOMINACIÓN	CROQUIS	HERRAMIENTA	psd	PP mm	N rpm	Va mm/s	tc min	CONTROL
I.4 Taladrado en torno	I.4.1 Cambiar herramienta a taladrado	En el Broquero del contrapunto colocar de forma consecutiva las brocas Ø 6,35 mm, Ø8; Ø9; Ø10; Ø12,5mm; Ø14mm; Ø20mm; Ø25mm; Ø30mm para realizar la perforación pasante de la pieza.			Broquero, Llave del Broquero, Contrapunto, Broca de 6,35 mm					0,40	Visual, Calibrador pie de Rey
	I.4.2 Perforar	Realizar una perforación pasante, iniciando con la broca de Ø 6,35mm, hasta perforar un Ø30,2mm con las brocas correspondientes			Broca Ø 6,35 mm	1	6,35	350,9	0,5848	2,11	Visual, Calibrador pie de Rey
				Broca Ø8 mm	1	1,65	278,53	0,4642	2,66		
				Broca Ø9 mm	1	1	247,58	0,4126	2,99		
				Broca Ø10 mm	1	1	222,82	0,3714	3,32		
				Broca Ø12,5 mm	1	2,5	178,26	0,2971	4,15		
				Broca Ø14 mm	1	11,5	159,16	0,2653	4,65		
				Broca Ø20mm	1	6	111,41	0,1857	6,64		
				Broca Ø25mm	1	5	89,129	0,1485	8,30		
				Broca Ø30 mm	1	5	74,274	0,1238	9,96		

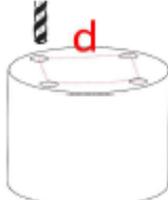
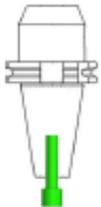
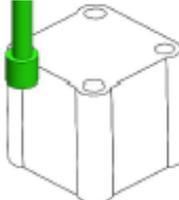
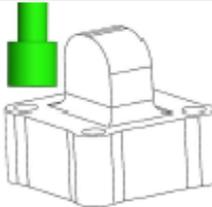
## HOJA DE PROCESOS

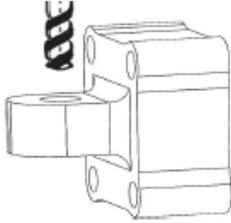
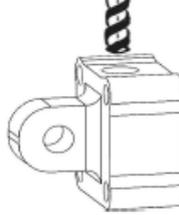
<b>PROYECTO:</b>	Prototipo de amortiguadores para prótesis de rodilla	<b>CONJUNTO N°:</b> 1	<b>TRABAJO N°:</b> 1	<b>FECHA</b>
<b>PIEZA:</b>	Tapa inferior	<b>PLANO N°:</b> CIME-PA-23-09	<b>HOJA:</b> 1	<b>27/7/2023</b>
<b>MATERIAL:</b>	7075-T6	<b>DIMENSIONES EN BRUTO:</b> Eje $\varnothing 53$ mm L=45mm		
<b>REALIZADO POR:</b>	Santiago Mora			



FASE	SUB-FASE	OPERACIÓN	DENOMINACIÓN	CROQUIS	HERRAMIENTA	psd	pp mm	N rpm	Va mm/s	te min	CONTROL
1.1 Refrentado		1.1.1 Sujetar	Sujeción de la pieza en el mandril autocentrante, con el eje central de la pieza colineal al usillo del torno y a una distancia de $d=7,5$ mm.		Llave del mandril.					3	Visual, Calibrador pie de Rey
		1.1.2 Cambiar herramienta de corte	Colocar herramienta de refrentado en la torreta a $d=5$ mm de distancia tomando encuntra desde la torreta a la punta de la herramienta y centrarla con el contrapunto.		Llave allen de 6 mm, Llave de pico, Contrapunto.					7	Visual, Calibrador pie de Rey

FASE	SUB-FASE	OPERACIÓN	DENOMINACIÓN	CROQUIS	HERRAMIENTA	psd	pp mm	N rpm	Va mm/s	tc min	CONTROL
I. Torneado		1.1.3 Refrentar	Refrentar la cara A		Buril afilado	2	2	126,13	50,451	0,53	Visual, Calibrador pie de Rey
						2	2	156,16	31,231	0,85	
	1.2 Taladrado en torno	1.2.1 Cambiar herramienta a taladrado	En el Broquero del contrapunto colocar de forma consecutiva las brocas $\varnothing$ 6,35 mm, $\varnothing$ 8; $\varnothing$ 9; $\varnothing$ 10; $\varnothing$ 12,5mm; $\varnothing$ 14mm; $\varnothing$ 20mm; $\varnothing$ 25mm; $\varnothing$ 3,20mm para realizar la perforación pasante de la pieza.		Broquero, Llave del Broquero, Broca $\varnothing$ 6,35; $\varnothing$ 8; $\varnothing$ 9; $\varnothing$ 10; $\varnothing$ 12,5mm; $\varnothing$ 14mm; $\varnothing$ 20mm; $\varnothing$ 25mm; $\varnothing$ 30,2mm;				0	18,28	Visual
		1.2.2 Perforar	Realizar una perforación de longitud d=17,55, iniciando con la broca de $\varnothing$ 6,35mm, hasta perforar un $\varnothing$ 30,2mm con las brocas correspondientes		Broca $\varnothing$ 6,35 mm	1	6,35	350,9	35,09	0,86	Visual, Calibrador pie de Rey
					Broca $\varnothing$ 8 mm	1	1,65	278,53	27,853	1,08	
					Broca $\varnothing$ 9 mm	1	1	247,58	24,758	1,22	
					Broca $\varnothing$ 10 mm	1	1	222,82	22,282	1,36	
					Broca $\varnothing$ 12,5 mm	1	2,5	178,26	17,826	1,69	
					Broca $\varnothing$ 14 mm	1	11,5	159,16	15,916	1,90	
					Broca $\varnothing$ 20mm	1	6	111,41	11,141	2,71	
Broca $\varnothing$ 25mm					1	5	89,129	8,9129	3,39		
Broca $\varnothing$ 30,2 mm	1	5	74,274	7,4274	4,07						
1.3 Ramurado cilíndrico	1.3.1 Colocar herramienta	Colocar herramienta para ramurado interno en la torreta.		Llave allen de 6 mm, Llave de pico, Contrapunto.					7,00	Visual, Calibrador pie de Rey	
	1.3.3 Ramurar	Cilindrar un ancho de 2,56 mm a 1,85mm medido desde A para que quede a un $\varnothing$ 35,03mm.		Contrapunto, Buril.	2	2	126,13	50,451	0,05	Visual, Calibrador pie de Rey	
					2	0,5	156,16	31,231	0,08		
1.3.2 Ramurar	Cilindrar un ancho de 1,85 mm desde A para que quede un $\varnothing$ 32,69mm.		Contrapunto, Buril.	2	2	126,13	50,451	0,05	Visual, Calibrador pie de Rey		
				2	0,5	156,16	31,231	0,08			

FASE	SUB-FASE	OPERACIÓN	DENOMINACIÓN	CROQUIS	HERRAMIENTA	p:d	pp mm	N rpm	Va mm/s	tc min	CONTROL	
2. Fresadora CNC	2.2 Taladrado en fresadora CNC	2.2.1 Colocar herramienta para taladrado	En el Broquero colocar la broca $\varnothing 6,35$ mm, para realizar las cuatro perforaciones pasantes de la pieza.		Broquero, Llave del Broquero, Broca de 6,35 mm					5,00	Visual	
		2.2.2 Perforar	Realizar cuatro perforaciones pasantes de $\varnothing 6$ mm. Los centros de los agujeros forman un cuadrado de 29,7 mm de lado.		Broquero, broca de 6mm	4	42	371,37	37,137	1,13	Visual, Calibrador pie de Rey	
	2.3 Desbaste lateral	2.2.1 Cambiar herramienta	Colocar la fresa para desbaste en el porta fresas		Porfa fresa, fresa para desbaste lateral,							Visual
		2.2.2 Desbastar perfil cuadrado	Desbastar perfil externo del cilindro una longitud $d=42$ mm hasta obtener el perfil cuadrado de 40 x 40 mm		Porfa fresa, fresa para desbaste lateral,	3	2	135,29	10,823	3,88	Visual, Calibrador pie de Rey	
						1	1	135,29	10,823	3,88		
						1	0,5	135,29	10,823	3,88		
	2.2.3 Desbastar perfil oreja	Desbastar perfil de oreja una longitud $d=22$ mm hasta obtener el perfil de oreja de 20 x 12 mm		Porfa fresa, fresa para desbaste lateral,	5	2	135,29	10,823	1,11	Visual, Calibrador pie de Rey		
					1	1	135,29	10,823	1,11			
					2	0,5	135,29	10,823	1,11			
	2.3.1 Colocar herramienta para taladrado	En el Broquero colocar la broca $\varnothing 8,35$ mm, para realizar la perforación pasante de $\varnothing 8,35$ mm		Broquero, Llave del Broquero, Broca de 8,35 mm					5,00	Visual		

FASE	SUB-FASE	OPERACIÓN	DENOMINACIÓN	CROQUIS	HERRAMIENTA	psd	pp mm	N rpm	Va mm/s	tc min	CONTROL
2.4 Taladrado en fresadora CNC	2.3.2 Perforar	Realizar una perforación pasante de longitud d=12mm en el centro de la oreja desbastada previamente.		Broquero, broca de 8,35 mm	1	12	266,85	26,685	0,45	Visual, Calibrador pie de Rey	
	2.3.3 Colocar herramienta para taladrado	En el Broquero colocar de forma consecutiva las brocas Ø 6,35 mm, Ø8; Ø9; Ø10; para realizar la perforación pasante de la pieza.		Broquero, Llave del Broquero, Broca Ø 6,35 mm, Ø8; Ø9; Ø10; Ø12,5mm					5,00	Visual	
	2.3.4 Perforar	Realizar una perforación pasante de longitud d=38,9mm, iniciando con la broca de Ø 6,35mm, hasta perforar un Ø10mm con las brocas correspondientes		Broca Ø 6,35 mm	1	6,35	350,9	35,09	1,11		
				Broca Ø 8 mm	1	1,65	278,53	27,853	1,40		
				Broca Ø 9 mm	1	1	247,58	24,758	1,57		
				Broca Ø10	1	2	222,82	22,282	1,75	Visual, Calibrador pie de Rey	