

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE CUENCA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

*Trabajo de titulación previo  
a la obtención del título de  
Ingeniero Mecánico*

**PROYECTO TÉCNICO**

**DISEÑO DE UNA MÁQUINA TEJEDORA DE  
CADENAS PARA LA EMPRESA DE JOYAS CASA  
REAL MONTERO**

**AUTORES:**

ALEX PAÚL GAVILANES ALVAREZ  
PABLO LUCIO MONTERO ORTEGA

**TUTOR:**

ING. NELSON GUSTAVO JARA COBOS, Ph.D

CUENCA - ECUADOR  
2022

## CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Alex Paúl Gavilanes Alvarez con documento de identificación N° 0107279846 y Pablo Lucio Montero Ortega con documento de identificación N° 0104581483, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación: "**DISEÑO DE UNA MÁQUINA TEJEDORA DE CADENAS PARA LA EMPRESA DE JOYAS CASA REAL MONTERO**", mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: *Ingeniero Mecánico*, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, enero del 2022.



---

Alex Paúl Gavilanes Alvarez  
C.I. 0107279846



---

Pablo Lucio Montero Ortega  
C.I. 0104581483

# CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: “**DISEÑO DE UNA MÁQUINA TEJEDORA DE CADENAS PARA LA EMPRESA DE JOYAS CASA REAL MONTERO**“, realizado por Alex Paúl Gavilanes Alvarez y Pablo Lucio Montero Ortega obteniendo el *Proyecto Técnico* que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, enero del 2022.

A handwritten signature in blue ink, consisting of several loops and strokes, positioned above a horizontal line.

Ing. Nelson Gustavo Jara Cobos, Ph.D  
C.I. 0102679644

## DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Alex Paúl Gavilanes Alvarez con documento de identificación N<sup>o</sup> 0107279846 y Pablo Lucio Montero Ortega con documento de identificación N<sup>o</sup> 0104581483, autores del trabajo de titulación: “**DISEÑO DE UNA MÁQUINA TEJEDORA DE CADENAS PARA LA EMPRESA DE JOYAS CASA REAL MONTERO**”, certificamos que el total contenido del *Proyecto Técnico*, es de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, enero del 2022.



---

Alex Paúl Gavilanes Alvarez  
C.I. 0107279846



---

Pablo Lucio Montero Ortega  
C.I. 0104581483



## AGRADECIMIENTOS

Por ser principal guía en la elaboración de este trabajo agradezco el incondicional apoyo brindado por nuestro tutor Ing. Nelson Jara, a los docentes que nos compartieron sus conocimientos y comentarios para un mejor desarrollo del proyecto de titulación Ing. Paul Torres e Ing. Jhon Calle y al personal de la empresa Joyas Casa Real Montero por ser constante apoyo en todo el lapso de desarrollo de este trabajo.

**Alex**

# DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a mis padres, los admiro y estimo mucho, tengo la deuda mas grande por su incondicional apoyo y también la responsabilidad de demostrar que todas sus enseñanzas han formado una persona de bien.

A mis hermanos Santiago y Anabelle, tíos/as y primos/as, por celebrar mis logros como suyos. A mis amigos y una persona en especial, ya que fueron de gran influencia para bien en esta etapa de mi vida académica y juvenil, gracias.

**Alex**

## AGRADECIMIENTOS

Primero agradezco a Dios por haberme protegido y ayudarme a lograr terminar una carrera universitaria, a la universidad por haberme dado las herramientas necesarias para poder ser un buen profesional y no tener miedo a emprender cualquier rama de la ingeniería.

Gracias a mis padres por ser los principales promotores a mis sueños, gracias por haber confiado y creído en mí, gracias por sus consejos que me han ayudado a seguir adelante a no parar hasta conseguir lo que yo me proponga en esta vida.

Gracias a mí persona, porque por mi esfuerzo y perseverancia he logrado cumplir con una de mis grandes metas, este solo es uno de los primeros pasos que he tomado para ser alguien mejor.

**Pablo**

## DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a mis padres ellos fueron los que me dieron la oportunidad de poder escoger una carrera universitaria, sin ellos no fuese la persona que soy el día de hoy. Por último, agradezco mi abuelo Teodoro Montero, el no solamente me dio apoyo económico si no también me apoyo con sus consejos y su positivismo para seguir adelante, el es un gran ejemplo para mi, gracias a todos.

**Pablo**

# Índice

<b>CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR</b>	<b>I</b>
<b>CERTIFICACIÓN</b>	<b>II</b>
<b>DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD</b>	<b>III</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	<b>IV</b>
<b>DEDICATORIA</b>	<b>V</b>
<b>INDICE DE CONTENIDO</b>	<b>X</b>
<b>INDICE DE FIGURAS</b>	<b>XIII</b>
<b>INDICE DE TABLAS</b>	<b>XIV</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>XV</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>XVI</b>
<b>1. Tema</b>	<b>1</b>
<b>2. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>3. Planteamiento del problema</b>	<b>2</b>
3.1. Antecedentes . . . . .	2
3.2. Importancia y alcances . . . . .	2
3.3. Problema General . . . . .	2
3.4. Problemas Específicos . . . . .	3
<b>4. Objetivos</b>	<b>3</b>
4.1. Objetivo general . . . . .	3
4.2. Objetivos específicos . . . . .	3
<b>5. Marco teórico</b>	<b>4</b>
5.1. Manufactura . . . . .	4
5.1.1. Procesos de manufactura . . . . .	4
5.2. Procesos de automatización . . . . .	4
5.2.1. Máquinas de producción y herramientas . . . . .	5
5.3. Proceso de producción sector de Joyería . . . . .	5
5.3.1. Fundición . . . . .	6
5.3.2. Proceso mecánico . . . . .	7
5.3.3. Tejido y soldado . . . . .	10

5.3.4.	Diamantado . . . . .	11
5.3.5.	Decapado . . . . .	12
5.4.	Lineamientos del proceso de ensamble . . . . .	12
5.5.	Materiales utilizados en la joyería . . . . .	12
5.5.1.	Aleaciones utilizadas en la joyería . . . . .	14
5.6.	El diseño mecánico . . . . .	15
5.6.1.	Mecanismos y sistemas mecánicos . . . . .	15
5.6.2.	Mecanismos de transformación de movimiento . . . . .	16
5.7.	Diseño de Levas . . . . .	18
5.7.1.	Tipo de movimiento del seguidor . . . . .	19
5.7.2.	Tipo de seguidor . . . . .	19
5.7.3.	Ley fundamental de diseño de levas . . . . .	20
5.8.	Tratamiento térmico para aplicar a las levas . . . . .	20
5.8.1.	Recocido . . . . .	20
5.8.2.	Templado . . . . .	21
5.8.3.	Revenido . . . . .	21
5.9.	Tipos de tejedoras de cadenas . . . . .	21
5.9.1.	Máquina OMBI 4853 . . . . .	21
5.9.2.	Máquina SISMA F2/GL . . . . .	24
5.9.3.	Máquina FASTI . . . . .	26
5.9.4.	Máquina MGZ . . . . .	26
5.9.5.	Máquina Peter Koch . . . . .	27
5.10.	Selección de sistema mecánico . . . . .	28
5.10.1.	Variables de ponderación . . . . .	29
5.10.2.	Tabla de ponderación . . . . .	30
<b>6.</b>	<b>Metodología</b>	<b>31</b>
6.1.	Diseño del equipo . . . . .	32
6.1.1.	Definición de Variables . . . . .	32
6.1.2.	Alternativas para el diseño del equipo . . . . .	32
6.2.	Proceso de tejido . . . . .	32
6.2.1.	Conformado diseño de la cadena . . . . .	32
6.2.2.	Corte . . . . .	34
6.2.3.	Prensado . . . . .	35
6.2.4.	Sujeción . . . . .	35
6.2.5.	Desplazamiento . . . . .	37
6.3.	Cálculo del sistema principal . . . . .	37
6.3.1.	Esfuerzo de corte . . . . .	37
6.3.2.	Cálculo estático brazos de movimiento . . . . .	39
6.3.3.	Análisis de los brazos de transmisión . . . . .	41
6.4.	Cálculo eje de transmisión . . . . .	45
6.4.1.	Método de superposición . . . . .	46
6.5.	Análisis estático del eje de transmisión . . . . .	50

6.6.	Cálculo límite de resistencia de fatiga . . . . .	51
6.6.1.	Simulación eje de transmisión . . . . .	57
6.7.	Selección de rodamientos . . . . .	60
6.8.	Cálculo de levas . . . . .	62
6.8.1.	Leva 1 . . . . .	63
6.9.	Cálculo engranaje . . . . .	73
6.9.1.	Esfuerzos de flexión . . . . .	77
6.9.2.	Esfuerzo superficiales . . . . .	81
6.9.3.	Análisis dimensional de engranajes . . . . .	84
6.10.	Potencia del motor . . . . .	92
6.11.	Análisis de precios unitarios . . . . .	94
6.11.1.	Equipo y herramienta . . . . .	94
6.11.2.	Materiales . . . . .	94
6.11.3.	Transporte . . . . .	95
6.11.4.	Mano de obra . . . . .	95
6.11.5.	Total costos directos . . . . .	95
<b>7.</b>	<b>Resultados</b>	<b>96</b>
7.1.	Máquina tejedora de cadenas . . . . .	96
7.2.	Subsistemas . . . . .	96
7.2.1.	Sistema de distribución . . . . .	97
7.2.2.	Sistema de prensado . . . . .	98
7.2.3.	Sistema de rotación y ensamble . . . . .	99
7.3.	Sistema de transmisión por levas . . . . .	100
<b>8.</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>103</b>
<b>9.</b>	<b>Recomendaciones</b>	<b>104</b>
	<b>Bibliografía</b>	<b>106</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>107</b>

## Índice de figuras

1.	Manufactura como proceso técnico. . . . .	4
2.	Esquema procesos de manufactura Joyas Casa Real Montero. . . . .	6
3.	Proceso de fundición JCRM. . . . .	7
4.	Proceso de laminado JCRM. . . . .	8
5.	Proceso de trefilado JCRM. . . . .	9
6.	Proceso de recocido JCRM. . . . .	10
7.	Proceso de tejido JCRM. . . . .	11
8.	Proceso de diamantado JCRM. . . . .	11
9.	Materia prima: Oro. . . . .	13
10.	Materia prima: Plata. . . . .	13
11.	Mecanismo piñon - cremallera . . . . .	16
12.	Mecanismo Tornillo sinfín - Corona . . . . .	17
13.	Mecanismo biela manivela . . . . .	17
14.	Mecanismo leva excéntrica . . . . .	18
15.	Mecanismo cigueñal . . . . .	18
16.	Leva seguidor oscilante . . . . .	19
17.	Leva seguidor trasladante . . . . .	19
18.	Tipos de seguidores. . . . .	20
19.	Máquina OMBI 4853. . . . .	22
20.	Procesos de herramientas en la máquina OMBI 4853. . . . .	22
21.	Fazon para prensado de cadena. . . . .	23
22.	Pinza para sujeción de eslabón. . . . .	23
23.	Árbol de levas máquina OMBI 4853. . . . .	23
24.	Máquina OMBI para modelo de cadena Veneciana espesor de hilo 0.3mm-0.9 mm. . . . .	24
25.	Cadena modelo Veneciana espesor de hilo 0.3mm-0.9 mm. . . . .	24
26.	Máquina SISMA F2/GL . . . . .	25
27.	Máquina SISMA para modelo de cadena Cordón espesor de hilo 0.3-0.5 . . . . .	26
28.	Cadena modelo Cordón espesor de hilo 0.3-0.5 mm. 5 . . . . .	26
29.	Máquina FASTI para modelo de cadena Áncora espesor de hilo 0.25-1 mm. . . . .	26
30.	Cadena modelo Áncora espesor de hilo 0.25-1 mm. . . . .	26
31.	Máquina MGZ para modelo de cadena Caracol espesor de hilo 0.3-0.8 mm. . . . .	27
32.	Cadena modelo Caracol espesor de hilo 0.3-0.8 mm. . . . .	27
33.	Máquina Peter Koch tejedora de la cadena Cubana. . . . .	28
34.	Cadena Cubana de oro hilo 1.3mm. . . . .	28
35.	Metodología para el diseño de la máquina tejedora de cadenas. . . . .	31
36.	Espiral 3mm . . . . .	33
37.	Espina para 3mm . . . . .	34
38.	Dimensionamiento espina catalogo <i>Fasti</i> . . . . .	34
39.	Distribución material en la espiral. . . . .	34
40.	Fazon para prensado. . . . .	35



41.	Eslabón cadena Cubana hilo $\varnothing 3mm$ .	35
42.	Pinza de sujeción	36
43.	Ensamble elementos de distribución.	36
44.	Fazones de prensado	37
45.	Análisis estático movimiento de fazon.	39
46.	Diagrama de cuerpo libre sistema fazon.	40
47.	Diagrama de fases.	41
48.	Aplicación de fuerza en un extremo.	42
49.	Fuerza resultante al otro extremo del brazo.	42
50.	Deformación máxima existente en el brazo con escala 2X.	43
51.	Esfuerzo cortante máximo existente en el cordón de suelda en un extremo del brazo.	44
52.	Características del electrodo 6011 INDURA.	44
53.	Esfuerzo cortante máximo existente en el otro extremo del brazo.	45
54.	Eje de transmisión	45
55.	Diagrama de cuerpo libre eje	46
56.	Reacciones del eje	46
57.	Deflexión del eje.	48
58.	Diagrama de cortantes y momentos.	51
59.	Gráfica para ejes en flexión.	54
60.	Gráfica para ejes en torsión.	54
61.	Gráfica de sensibilidad a la muesca.	55
62.	Gráfica de sensibilidad a la muesca cortante.	55
63.	Eje de transmisión análisis ANSYS.	57
64.	Valor de la reacción RA simulado.	58
65.	Valor de la reacción RB simulado.	58
66.	Valor de la reacción RC simulado.	59
67.	Valor de reacciones existentes sobre todo el eje.	59
68.	Diagramas de cortante-momento-deflexión.	60
69.	Dirección de la carga.	60
70.	Análisis leva mal diseñada	62
71.	Leva 1	63
72.	Desplazamiento seguidor subida	67
73.	Velocidad seguidor subida	67
74.	Aceleración seguidor subida	68
75.	Golpeteo seguidor subida	68
76.	Desplazamiento seguidor bajada	71
77.	Velocidad seguidor bajada	71
78.	Aceleración seguidor bajada	72
79.	Golpeteo seguidor bajada	72
80.	Leva dimensionada en SolidWorks	73
81.	Engranaje cremallera	86
82.	Rueda dentada hilo	87

83.	Engranaje 1 . . . . .	88
84.	Engranaje 2 . . . . .	90
85.	Engranaje con volante . . . . .	91
86.	Propuesta maquina tejedora de cadenas. . . . .	96
87.	Subsistema de distribución . . . . .	97
88.	Subsistema de prensado . . . . .	98
89.	Subsistema de rotación y ensamble . . . . .	99
90.	Sistema de transformación de movimiento por levas. . . . .	100

## Índice de tablas

1.	Galga de Birmingham. . . . .	9
2.	Plata 950 (aleación de cobre 5%). . . . .	14
3.	Plata 950 con cadmio y cobre. . . . .	14
4.	Plata 950 (aleación de cobre 7,5%). . . . .	14
5.	Oro 18 Quilates (en milésimas 750). . . . .	14
6.	Oro 21 Quilates (en milésimas 900). . . . .	14
7.	Especificaciones técnicas de la máquina OMBI . . . . .	24
8.	Especificaciones de la máquina Peter Koch. . . . .	28
9.	Ponderación para selección de sistema mecánico. . . . .	30
10.	Matriz de ponderación, mecanismos de transformación de movimiento. . . . .	32
11.	Propiedades del acero AISI-4340. . . . .	48
12.	Valores de deflexión. . . . .	49
13.	Factor de superficie. . . . .	52
14.	Seguidor en el perfil de Leva Subida . . . . .	66
15.	Seguidor en el perfil de Leva Bajada . . . . .	70
16.	Módulos métricos estándares. . . . .	75
17.	Especificaciones de la AGMA para dientes de engrane de profundidad total. . . . .	76
18.	Factor geométrico J para flexión de la AGMA, para 20, y dientes de profundidad total con carga en la punta. . . . .	78
19.	Factores dinámicos Kv y Cv de la AGMA. . . . .	79
20.	Factores Km de distribución de carga. . . . .	80
21.	Aplicación de factores Ka. . . . .	80
22.	Coefficiente elástico Cp de la AGMA. . . . .	82
23.	Resistencias de fatiga por flexión de la AGMA. . . . .	83
24.	Resistencias de la AGMA por fatiga superficial. . . . .	84
25.	Equipos y herramientas . . . . .	94
26.	Materiales . . . . .	94
27.	Transporte . . . . .	95
28.	Mano de obra . . . . .	95
29.	Costo total . . . . .	95

## RESUMEN

En este documento se presenta una propuesta de diseño de una máquina tejedora de cadenas automatizada para diámetros de 3 mm a 5 mm, que realiza un producto comercialmente conocido como cadena Cubana, la cual está caracterizada por estar compuesta de metales preciosos como el Oro y la Plata, teniendo una geometría específica que la diferencia de las otras cadenas.

Debido a la alta demanda a nivel internacional de este tipo de producto, en el proceso productivo se busca garantizar la calidad, disminuir tiempos y costos de producción considerando para ello un sistema robusto que mantenga una producción continua ya que actualmente este proceso se lo realiza de forma manual.

Para cumplir con el propósito antes descrito se diseña una máquina fundamentada en un mecanismo con árbol de levas que garantiza la sincronización de movimientos de varios elementos que se encargan de conformar la geometría de la cadena con una sola entrada de movimiento. Para el conformado existen movimientos horizontales y verticales que gracias a la acción de levas se obtienen con recorridos y fuerzas necesarias.

Con el proceso manual se elaboran 12 kg de cadena por semana, y con la máquina posibilitaría elaborar hasta 50 kg de cadena, garantizando la repetitividad de cada asa de la cadena y por ende mejorando la calidad, la cual ya no depende de la habilidad del operador.

**Palabras clave:** Árbol de leva, máquina tejedora, cadena cubana, joyería.

## ABSTRACT

This document presents a design proposal for an automated chain weaving machine for diameters from 3 mm to 5 mm, which makes a product commercially known as Cuban chain, which is characterized by being composed of precious metals such as Gold and Silver, having a specific geometry that differs from the other chains.

Due to the high international demand for this type of product, the production process seeks to guarantee quality, reduce production times and costs, considering for this a robust system that maintains continuous production since currently this process is performed manually.

To get the purpose described above, a machine is designed based on a mechanism with a camshaft that guarantees the synchronization of movements of several elements that are responsible for shaping the geometry of the chain with a single movement input. For forming there are horizontal and vertical movements that, thanks to the action of cams, are obtained with the necessary travels and forces.

With the manual process, 12 kg of chain are elaborated per week, and with the machine it would be possible to elaborate up to 50 kg of chain, guaranteeing the repeatability of each handle of the chain and therefore improving the quality, which no longer depends on the operator skill.

**Keywords:** Camshaft, weaving machine, cuban chain, jewelry.

# 1. Tema

Diseño de una máquina tejedora de cadenas de 3mm a 5mm de diámetro para la empresa de Joyas Casa Real Montero.

# 2. Introducción

Debido a la alta demanda de los productos de joyería en el área local de la ciudad de Cuenca en la provincia del Azuay, los consumidores exigen productos con variables más exigentes, como son un gran flujo de joyas con una mejor calidad. Con esta necesidad planteada el presente estudio está dirigido para la empresa Joyas Casa Real Montero, la misma que busca implementar una máquina tejedora de cadenas con espesores entre 3 mm a 5 mm de hilo para la producción de grandes cantidades.

La empresa actualmente fabrica la cadena *Cubana* (nombre comercial de la cadena) a mano, utilizan a dos obreros lo que hace que la empresa pierda mucho tiempo en la producción de una sola cadena (medio día). En la industria de la joyería existe maquinaria con la capacidad de cumplir este requerimiento, sin embargo los costos para adquirir e implementar en la línea de ensamble de la empresa lo dificulta. Este trabajo realiza un proceso de ingeniería inversa, para una propuesta de maquinaria con similares características la cual ayudaría a reducir el tiempo como el costo de la producción, así también utilizando a los obreros para otros trabajos.

Dada la situación económica y atareado avance tecnológico de procesos de producción en el área de la joyería en el Ecuador, cadenas del espesor que se pretende realizar no se encuentran en el mercado nacional, por esta razón la empresa ha buscado la oportunidad de exportar, donde además de mejorar el flujo de capital de la empresa se suma la reputación a nivel internacional en procesos de manufactura de joyas. La tecnología que se empleara en la máquina a diseñar tienen un grado de complejidad medio, ya que se espera que los costos de elementos, construcción y planes de mantenimiento no sean elevados.

Este proyecto también presentará información base para el desarrollo de otros proyectos en los que se puedan aplicar temas de maquinaria para joyería y permitiendo que más estudiantes de la carrera de ingeniería puedan beneficiarse.

## 3. Planteamiento del problema

### 3.1. Antecedentes

La mano de obra del sector productivo ha tenido un crecimiento directamente proporcional con el crecimiento económico de la región. Con el descubrimiento de algunos pequeños yacimientos de oro en la zona, la industria artesanal empezó a surgir rápidamente. El conocimiento de la joyería en nuestro país se ha obtenido por generaciones anteriores; estos conocimientos son básicos y sin investigación ni desarrollo científico (artesanal). Muchos de los procesos productivos de los artesanos son tomados sin análisis, estos en realidad se han tomado en base a experiencias pasadas, que muchas veces son obsoletas. Cabe mencionar que mucho se debe a que no existen instituciones educativas que se dediquen a brindar conocimientos de joyería en nuestra región [1]. Debido a la situación económica que presenta el mundo, la materia prima para realizar los trabajos ha incrementado de precio y por ende no resulta factible construir a mano ciertos productos como son las cadenas, por lo cual el precio del producto final resulta poco atractivo. Por esta situación, muchas de las joyas que se venden en la región son importadas de otros países, esto hace que muchos talleres pequeños se cierren debido a la competencia que existe en el mercado.

En la empresa de Joyas Casa Real Montero es indispensable contar con una máquina tejedora de cadenas que posibilite mejorar el proceso de fabricación de cadenas manufacturadas con hilo de entre 3 mm y 5 mm, ya que se tiene previsto incrementar la cuota de mercado local y nacional, y para ello se tiene que demostrar una mejor calidad en el producto y con un costo competitivo.

### 3.2. Importancia y alcances

Actualmente se produce la cadena tipo *Cubana* mediante un proceso artesanal, dos operadores en los cuales ocupan 6 horas en tejer este producto, en la empresa Joyas Casa Real Montero debido a la demanda que existe este tipo de cadena tiene como objetivo acelerar y aumentar el proceso de tejido de cadenas entre 3 a 5 mm, el costo de mano de obra, mas los tiempos muertos y la calidad del producto influyen en el precio del producto y su alcance en el mercado de la orfebrería. La maquina tejedora de cadenas para la variación *Cubana* automatizara un proceso que se ha ralentizado debido a la poca actualización de los procesos de manufactura en este tipo de cadena, aumentara el flujo de producción y la calidad del producto.

### 3.3. Problema General

¿Es posible diseñar una maquina tejedora de cadenas para hilo entre 3 y 5 mm de acuerdo con los requerimientos establecidos por la empresa de Joyas Casa Real Montero?

### **3.4. Problemas Específicos**

- ¿ Será posible identificar los parámetros iniciales para el diseño una maquina tejedora de cadenas para la empresa Joyas Casa Real Montero?
- ¿ Existirá información de procesos modernos de manufactura para el diseño de maquinas tejedoras de cadenas entre 3mm a 5mm de diámetro?
- ¿ Es posible diseñar una maquina tejedora de cadenas para hilos de 3mm a 5mm de diámetro para la empresa Joyas Casa Real Montero?
- ¿ Es factible evaluar el diseño con software de simulación de una maquina tejedora de cadenas para hilos de 3mm a 5mm de diámetro para la empresa Joyas Casa Real Montero?

## **4. Objetivos**

### **4.1. Objetivo general**

Diseñar una máquina tejedora de cadenas para la empresa joyas casa real montero.

### **4.2. Objetivos específicos**

- Determinar las condiciones y características de diseño de la línea de fabricación de cadenas de la empresa Joyas Casa Real Montero.
- Investigar el estado de la técnica de las máquinas tejedoras de cadenas.
- Diseñar una máquina tejedora de cadenas para hilos entre 3mm a 5mm de diámetro para la empresa Joyas Casa Real Montero.
- Evaluar por medio de software de simulación el diseño de una máquina tejedora de cadenas en la empresa Joyas Casa Real Montero.

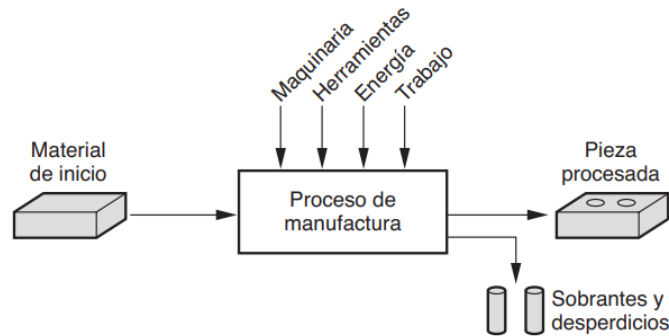


## 5. Marco teórico

### 5.1. Manufactura

En el sentido tecnológico, la manufactura es la aplicación de procesos físicos y químicos para alterar la geometría, características o aspecto de un material de inicio dado para crear partes o productos; la manufactura además incluye el ensamble de partes diversas para construir productos. Los procesos para realizar la manufactura implican una conjunción de aparatos, herramientas, energía y trabajo manual. [2]

Como se indica en la Figura 1 la manufactura se ejecuta como una secuencia de operaciones y cada una de éstas lleva al material más cerca del estado final que se desea.



**Figura 1:** Manufactura como proceso técnico.  
Fuente: M. P. Groover. [2].

#### 5.1.1. Procesos de manufactura

Existen dos procesos básicos de manufactura:

**Operación de proceso** provoca que un material de trabajo pase de un estado de destruido a otro más avanzado que está más cerca del producto final que se quiere. Se añade costo cambiando la geometría, las características o el aspecto del material de inicio. En general, las operaciones del proceso se ejecutan sobre partes discretas del trabajo, pero algunas también son aplicables a artículos ensamblados. [2]

**Operación de ensamblado** une dos o más componentes a fin de crear una entidad nueva, llamada ensamble, subensamble o algún otro término que se refiera al proceso de unión.

### 5.2. Procesos de automatización

Después del diseño, la simulación se puede emplear para el estudio de sistemas de líneas de espera, modelos de inventarios, juegos de negocios, modelos de inversión, flujos de efectivo y otros que suelen ser de gran interés. La tesis de grado de Omar Bolaños Plata en *Importancia de la simulación en la mejora de procesos* manifiesta que el hecho de elaborar y aplicar una

simulación acelera la comprensión del negocio del proceso o del sistema y permite explicar, capacitar, mejorar y probar cualquier posible situación o cambio en el sistema. Describió las etapas con las que consta el proceso del auto lavado, posteriormente se formuló el problema, en el cual se recopilaban datos e informes que se tengan o correspondan, para poder dar una mejora en el tiempo promedio de servicio de lavado. [3]

### 5.2.1. Máquinas de producción y herramientas

Las operaciones de manufactura se conducen a cabo con la utilización de maquinaria y herramienta (y personas). Se emplean no sólo para hacer piezas de productos para el consumidor, sino también para elaborar componentes para otras máquinas de la producción.

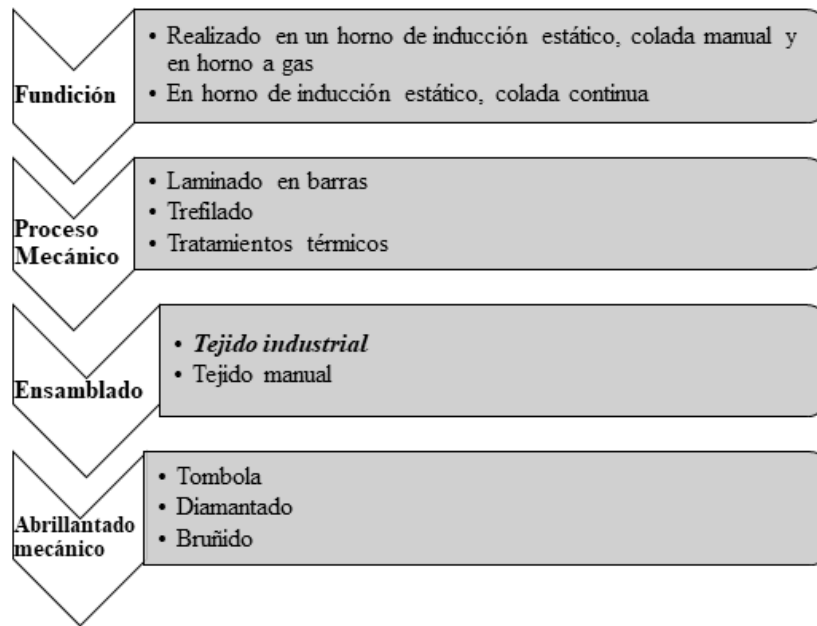
Existen dos tipos de equipos:

**Equipo de propósito general:** Es más variable y tiene la capacidad de adaptarse a una variedad de trabajos. Se encuentra disponible en el comercio para toda compañía manufacturera que quiera invertir en él.

**Equipo de propósito específico:** Este equipo en general está diseñado para producir una pieza o un producto específico para un demandante determinado en cantidades muy grandes. La economía de la producción en masa justifica las enormes inversiones en maquinaria de objetivo particular con el fin de conseguir eficiencias altas en ciclos cortos de tiempo. [2]

## 5.3. Proceso de producción sector de Joyería

En la Figura 2 se puede apreciar un diagrama de flujo para realizar el proceso de producción de una cadena cubana en la empresa Joyas Casa Real Montero, se enfatiza en el subproceso de ensamblado para sustituir el tejido manual por un tejido industrial o automatizado.



**Figura 2:** Esquema procesos de manufactura Joyas Casa Real Montero.  
Fuente: Autores.

### 5.3.1. Fundición

Proceso en el que se juntan los metales puros para conformar alambrones, barras o planchas en un definido quilate. El quilate en orfebrería designa la pureza de los metales usados en las joyas. De esta forma, un quilate es la 1/24 parte de la masa total de la aleación que la compone. Además intervienen aleaciones de diferentes composiciones que aleado con el metal base como el oro fino o la plata fina, conforman nuevos quilates y colores. Las fundiciones se hacen en un horno eléctrico de colada continua, que cuenta con un crisol de grafito con ranuras de manera redonda o rectangular, por donde sale el producto fundido y es solidificado a temperatura ambiente. [4]



*Figura 3:* Proceso de fundición JCRM.

*Fuente:* Autores.

En la Figura 3 se puede apreciar la técnica para fundir pequeñas cantidades de metales preciosos. Sin embargo hay otros procesos como el proceso de horno de inducción estático colada continua se define como el vaciado de una cuchara de colada a un depósito temporal, el cual suministra el metal a uno o más moldes de colada continua. Se hace en hornos de inducción que trabajan con una bobina que crea un campo magnético en el metal, lo cual causa el calentamiento veloz y la subsiguiente fusión y mezcla de los metales (oro, plata, cobre, zinc y estaño, entre otros). Hay otros procesos como el proceso de horno de inducción estático colada continua se define como el vaciado de una cuchara de colada a un depósito temporal, el cual suministra el metal a uno o más moldes de colada continua. Se hace en hornos de inducción que trabajan con una bobina que crea un campo magnético en el metal, lo cual causa el calentamiento veloz y la subsiguiente fusión y mezcla de los metales (oro, plata, cobre, zinc y estaño, entre otros). [5] La ventaja de utilizar este proceso es que evita la presencia de rechupes u otros defectos en el metal por lo que se logra un mejor acabado en la superficie.[6]

El proceso de horno de inducción estático colado manual a gas es ese en el que se juntan los metales en hornos de inducción. Su primordial característica es la de funcionar bajo el inicio de inducción magnética, para eso usa una bobina de cobre dispuesta en torno al crisol y tiene un sistema interno de enfriamiento de agua. La colada se hace en forma manual, debido a que el operario usa pinzas para verter el metal fundido en el molde, el cual se hace según el tipo de pieza, su tamaño y forma. [7]

### **5.3.2. Proceso mecánico**

En esta etapa se transforma el material fundido en láminas, platinas y alambres de diferente calibre, de acuerdo con las especificaciones de cada producto, en el caso de nuestro producto se realizan alambres, después destacan el laminado, el trefilado, el platinado, etc.

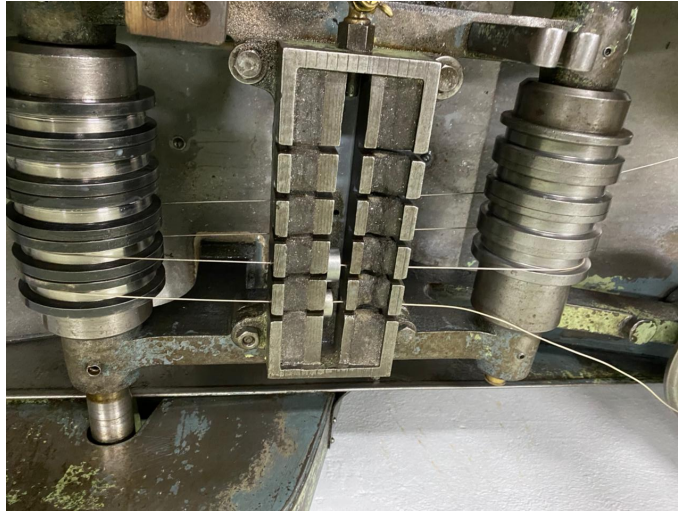
**Laminado:** Se define a él laminado como un proceso de deformación en el que se disminuye el espesor del material de trabajo por medio de fuerzas de compresión ejercidas por 2 rodillos opuestos Figura 4. Se hace en un molino de laminación por medio del cual pasa el lingote, cuya característica más resaltante es que mantiene el volumen constante y experimenta una dilatación en su extenso y ancho, en indemnización de la reducción en el espesor.[2] Según las especificaciones del material a laborar (espesor, extenso, ancho), la lámina pasa por rodillos los cuales por estiramiento transforman el bloque en chapas láminas delgadas, de acuerdo con el requerimiento, este proceso es repetido hasta obtener las medidas deseadas. [4]



*Figura 4:* Proceso de laminado JCRM.

*Fuente:* Autores.

**Trefilado:** Se define a él trefilado como una operación de formación en frío que reduce la sección de una varilla o un alambre a través de la deformación plástica, lo que se consigue pasando por un dado cuya sección transversal es menor que la de la varilla del material Figura 5. [8] Las barras son ingresadas a la trefiladora para convertirlos en hilos de diferentes calibres, generalmente se usan, dados diamantados para obtener calibres exactos.



**Figura 5:** Proceso de trefilado JCRM.  
**Fuente:** Autores.

### Galgas de alambres y planchas

#### Manuales esenciales

N. ° 11/0	0.038 mm	N. ° 12	0.889 mm	N. ° 32	4.623 mm
N. ° 10/0	0.051 mm	N. ° 13	0.965 mm	N. ° 33	5.080 mm
N. ° 8/0	0.063 mm	N. ° 14	1.093 mm	N. ° 34	5.486 mm
N. ° 6/0	0.076 mm	N. ° 15	1.219 mm	N. ° 35	6.045 mm
N. ° 5/0	0.089 mm	N. ° 16	1.295 mm	N. ° 36	6.350 mm
N. ° 4/0	0.1015 mm	N. ° 17	1.397 mm	N. ° 37	6.858 mm
N. ° 3/0	0.127 mm	N. ° 18	1.498 mm	N. ° 38	7.061 mm
N. ° 2/0	0.1525 mm	N. ° 19	1.574 mm	N. ° 39	7.341 mm
N. ° 1/0	0.203 mm	N. ° 20	1.651 mm	N. ° 40	7.620 mm
N. ° 1	0.213 mm	N. ° 21	1.753 mm		
N. ° 2	0.242 mm	N. ° 22	1.855 mm		
N. ° 3	0.267 mm	N. ° 23	1.956 mm		
N. ° 4	0.305 mms	N. ° 24	2.083 mm		
N. ° 5	0.356 mm	N. ° 25	2.286 mm		
N. ° 6	0.406 mm	N. ° 26	2.540 mm		
N. ° 7	0.483 mm	N. ° 27	2.845 mm		
N. ° 8	0.546 mm	N. ° 28	3.150 mm		
N. ° 9	0.610 mm	N. ° 29	3.454 mm		
N. ° 10	0.711 mm	N. ° 30	3.810 mm		
N. ° 11	0.813 mm	N. ° 31	4.216 mm		

**Tabla 1:** Galga de Birmingham.  
**Fuente:** Cooksongold. [9]

Los alambres y las planchas de diversos metales se especifican de acuerdo con ciertas características oficiales denominadas galgas, cuyos números indican el espesor de las chapas o el diámetro de los alambres. Para las planchas de cobre, latón, alpaca, plata y oro, se emplea la galga de Birmingham (BG), se indican en la Tabla 1. [9]

Los principales tratamientos utilizados son el recocido, la desoxidación y el templeado.

**Recocido:** Se define el recocido como el procedimiento para emblandecer el material Figura 6 para regenerar su microestructura o reducir tensiones internas, el cual se apoya en calentamientos a temperaturas idóneas, continuos principalmente de enfriamientos lentos. [10]. El recocido dependerá de el equilibrio o estado del material, este es recocido en hornos de caja con atmosfera controlada de amoniaco y hornos de recocido constante para evadir la oxidación del metal. El recocido es un proceso que posibilita recobrar las características del metal blando y poder continuar estirando el metal hasta el tamaño requerida. [4] El periodo térmico debería efectuarse en una región con atmósfera controlada exenta de oxígeno para asegurar un resultado sin oxidaciones. [11]



*Figura 6:* Proceso de recocido JCRM.

*Fuente:* Autores.

### 5.3.3. Tejido y soldado

El tejido tiene como objetivo enlazar los diferentes eslabones y resortes con las manos Figura 7 o por medio de un sistema mecánico. En esta parte se pretende integrar el diseño para una tejedora para cadena “Cubana” de 3 mm a 5 mm. Estas máquinas sobresalen por su excelencia pues poseen una rapidez de producción optima, estricta y autónoma, no obstante, además destaca por su complejo diseño e integraciones, gracias a un grupo de particulares destacable. [12]



*Figura 7:* Proceso de tejido JCRM.

*Fuente:* Autores.

#### 5.3.4. Diamantado

Los productos terminados son sometidos al proceso de diamantado para darle brillo y una calidad uniforme, esto se puede hacer de manera manual o mecánica Figura 8. Los productos a diamantar son entrelazados en un cono circular por el que se sujeta el producto a medida que este gira y son cortados en un baño de hielo seco, una vez culminado este proceso se retira con agua y puesto del lado contrario para repetir la operación.



*Figura 8:* Proceso de diamantado JCRM.

*Fuente:* Autores.



### 5.3.5. Decapado

Se realiza para quitar la opacidad del producto, dado por el proceso productivo propio, las piezas se sumergen en una solución limpiadora, que, se compone de jabón de sosa, agua y amoniaco. La limpieza de las piezas además de eliminar impurezas prepara la superficie de estas para la operación del abrillantado final.

## 5.4. Lineamientos del proceso de ensamble

Los procesos considerados dentro del macroproceso de ensamble son: **tejido**, soldadura, manipulaciones y engaste. El proceso de tejido es una actividad que generalmente se lo realiza manualmente, agregar una máquina tejedora de cadenas automatizada en la línea de ensamble evita posibles lesiones y riesgos presentes al realizar este procedimiento por parte de un obrero.

Conforme el Modelo de estabilidad y salud ocupacional para los sectores joyería y bisutería dichos procesos se caracterizan por ser hechos en forma manual por los orfebres. Entre los primordiales peligros reconocidos en este macroproceso permanecen: explosiones, exposición a humos metálicos, quemaduras, golpes, cortes, heridas por esfuerzos repetitivos, afecciones oftalmológicas y tensión psicológica. [12] Los lineamientos que existen en este proceso son:

- La estabilidad del personal es dependiente en gran medida de sus procedimientos de trabajo, por lo cual debería ser preparado y entrenado hasta que pueda conseguir la agilidad elemental que le posibilite laborar en forma segura. El personal involucrado tendrá que recibir entrenamiento y capacitación sobre riesgos, métodos de estabilidad y contestación frente a emergencias relacionadas a sus ocupaciones.
- Implantar rutinas de mantenimiento de las conexiones y el cableado eléctrico, de manera que la estabilidad del trabajador quede garantizada. Solo permitir que electricistas y empleados calificados trabajen sobre o alrededor de conjuntos activados eléctricamente.
- El sitio de trabajo debería diseñarse y organizarse de forma que posibilite una correcta y simple manipulación de los materiales a laborar. Los puestos de trabajo y las labores tienen que fundamentarse en principios ergonómicos para minimizar tensiones, tirones musculares, fatiga desmesurada y heridas por esfuerzo cíclico.

## 5.5. Materiales utilizados en la joyería

Los metales usados en orfebrería son en aspecto parecido, sin embargo tienen propiedades estructurales que los realizan diferentes. El oro, la plata, el cobre, etcétera. Comparten ciertas características que les son usuales y que conforman la base del desarrollo de las técnicas aplicadas a los metales. Por medio de la adecuada y rigurosa aplicación de métodos y técnicas, con los instrumentos idóneas, es viable cambiar la composición de los metales y transformarlos en objetos y obras funcionales y artísticas. Los materiales utilizados en la zona de la orfebrería son:

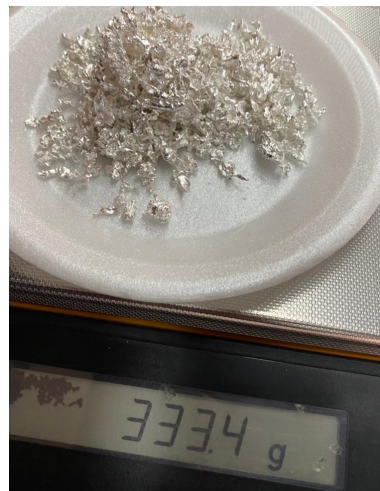
**Oro:** El oro (Au) con un punto de fusión de 1063 °C, pertenece a los metales más maleables que hay, empero sin alejar con cobre y plata resulta bastante blando para ser trabajado. La aleación, en diversas proporciones le da más grande resistencia y tenacidad y posibilita variar su color hasta obtener los matices deseados.



*Figura 9:* Materia prima: Oro.

*Fuente:* Autores.

**Plata:** El mineral de plata se extrae a modo de cloruros o sulfuros y rara vez se recibe a modo de plata nativa. El concentrado de plata se recibe desintegrando el mineral y sometándolo a tratamientos de flotación y cianuración. Para poder hacer su forma más pura el concentrado se refina hasta conseguir una pureza de 0.999. En estado puro la plata es bastante dúctil. Empero, al igual que el oro, es bastante blanda para la preparación de objetos. Para que adquiera dureza y resistencia se debería alejar con cobre.



*Figura 10:* Materia prima: Plata.

*Fuente:* Autores.

### 5.5.1. Aleaciones utilizadas en la joyería

Es la fusión de dos o más metales, con la intención de alterar sus características (dureza, color, resistencia, punto de fusión, etcétera.) para un objetivo específico de trabajo. Toda aleación debería contemplar porcentajes precisos de liga (metal que adiciona); las modificaciones en la porción variará las propiedades y características de la aleación. [13]

En la situación de la plata la liga oscila entre un 10 y un 2 %, determinando con ello la ley del metal, o sea su pureza. En milésimas se expresa en 980 para un 2 % de cobre; 950 para un 5 % de cobre; 900 para un 10 % de cobre, etcétera.

En el oro, los porcentajes de liga usados en joyería y orfebrería permanecen más determinados; un 25 % de cobre y plata para el oro de 18 quilates; y un 48 % de la misma liga para el oro de 14 quilates.[14]

Plata 950	
Plata pura	95.00 g
Cobre	5.00 g
<b>100.00 g</b>	

**Tabla 2:** Plata 950 (aleación de cobre 5 %).

**Fuente:** R. C. Droghetti. [14]

Plata 950 Cadmio	
Plata pura	94 g
Cobre	5.3 g
Cadmio	0.7 g
<b>100 g</b>	

**Tabla 3:** Plata 950 con cadmio y cobre.

**Fuente:** R. C. Droghetti. [14]

Plata 925	
Plata pura	45.25g
Cobre	3.75 g
<b>50.00 g</b>	

**Tabla 4:** Plata 950 (aleación de cobre 7,5 %). **Tabla 5:** Oro 18 Quilates (en milésimas 750).

**Fuente:** R. C. Droghetti. [14]

Oro 18 Quilates	
Oro puro	10.00 g
Cobre/Plata	3.33 g
<b>13.33 g</b>	

**Fuente:** R. C. Droghetti. [14]

Oro 21 Quilates	
Oro puro	9.00 g
Cobre/Plata	1.00 g
<b>10.00 g</b>	

**Tabla 6:** Oro 21 Quilates (en milésimas 900).

**Fuente:** R. C. Droghetti. [14]

## 5.6. El diseño mecánico

El proceso de diseño debería ser planeado correctamente para obtener resultados satisfactorios, debido a que es dependiente de varios componentes. Se deben tomar elecciones referente a los materiales con que se construirán los recursos, geometrías, magnitudes, tratamientos termo químicos y superficiales, procedimientos de manufactura y precios, entre otros. [15] . La ingeniería concurrente es un plan actualizada que hace énfasis en la necesidad de diseñar un producto de alta calidad, con el menor esfuerzo, tiempo y precio. Esto se consigue por medio de la utilización de herramientas y técnicas como por ejemplo CAD (diseño asistido por computador), CAM (manufactura asistida por computador), sincronización de las ocupaciones relativas al desarrollo de un nuevo producto (mercadeo, diseño, proyecto de trabajo, preparación de las ventas) y la utilización de grupos multidisciplinarios (personas de ventas, de construcción, de diseño y de mantenimiento, entre otras).[15]

### 5.6.1. Mecanismos y sistemas mecánicos

En la máquina de tejido de cadenas, existe una serie de subprocesos para tejer el producto. Al ser automatizada la potencia es emitida por un motor y se debe optar por un sistema de transformación de movimiento de rotación en un movimiento de traslación.

**Mecanismo** es un conjunto de elementos, conectados entre sí por medio de articulaciones móviles y cuya misión es:

- Transformar una velocidad en otra velocidad.
- Transformar una fuerza en otra fuerza.
- Transformar una trayectoria en otra diferente.
- Transformar un tipo de energía en otro tipo distinto.

**Sistema mecánico** es una combinación de mecanismos que transforma velocidades, trayectorias, fuerzas o energías mediante una serie de transformaciones intermedias.

Los movimientos que son parte de un sistema mecánico son:

- Movimiento rectilíneo.
- Movimiento alternativo.
- Movimiento circular.

Los mecanismos (y por extensión los sistemas mecánicos) constan de los siguientes elementos básicos:

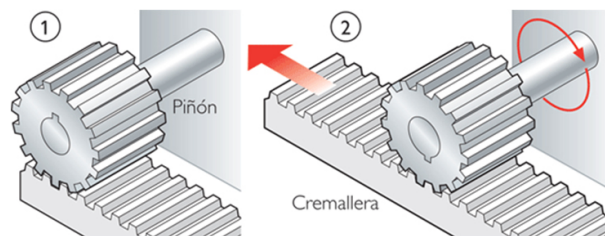
- Sistema motriz o sistema de entrada: recibe la energía de entrada, la cual será transformada o transmitida. En un automóvil sería el motor.

- Sistema transmisor: medio que permite modificar la energía o el movimiento proporcionado por el sistema motriz. En un automóvil este sistema estaría compuesto por ejes de transmisión, embragues, caja de cambios.
- Sistema receptor o sistema de salida: realiza el trabajo con la salida que le proporciona el sistema transmisor, y es el objetivo del sistema mecánico. En un automóvil este sistema estaría compuesto por las ruedas motrices. [16]

### 5.6.2. Mecanismos de transformación de movimiento

Para diseñar una máquina se debe seleccionar el tipo de mecanismo para transformación de movimiento, entre estos se encuentran:

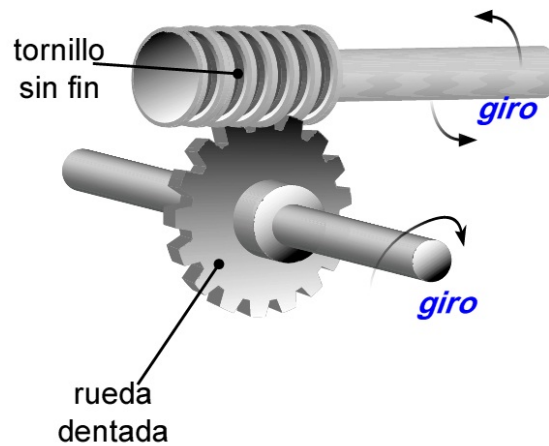
**Piñón - Cremallera:** Transforma el movimiento giratorio de un eje, en el que va montado un piñón, en movimiento rectilíneo, al engranar los dientes del piñón con los dientes de una barra prismática (cremallera) que se desplaza longitudinalmente Figura 11.



**Figura 11:** Mecanismo piñón - cremallera

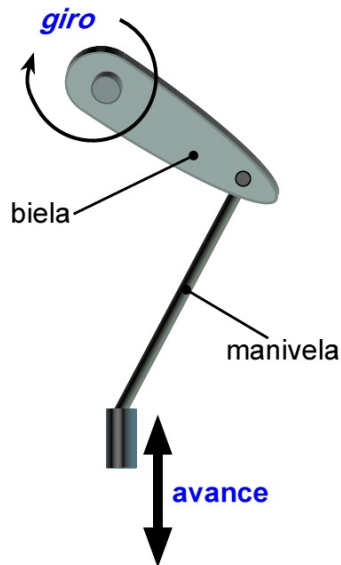
**Fuente:** Cienciasfera.

**Tornillo sinfín - Corona:** Es una disposición que transmite el movimiento entre ejes que están en ángulo recto (perpendiculares) Figura 12. Cada vez que el tornillo sin fin da una vuelta completa, la corona que tiene unida avanza un número de dientes igual al número de entradas del sinfín.



**Figura 12:** Mecanismo Tornillo sinfín - Corona  
**Fuente:** EDU Xunta.

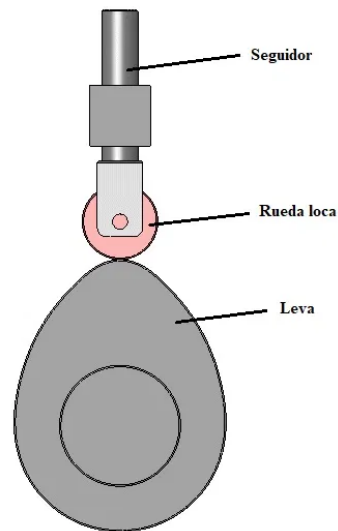
**Biela - Manivela:** Está constituido por un elemento giratorio denominado manivela, conectado a una barra rígida llamada biela, de modo que cuando gira la manivela, la biela está forzada a avanzar y retroceder sucesivamente Figura 13. Este mecanismo transforma el movimiento circular en movimiento rectilíneo alternativo.



**Figura 13:** Mecanismo biela manivela  
**Fuente:** EDU Xunta.

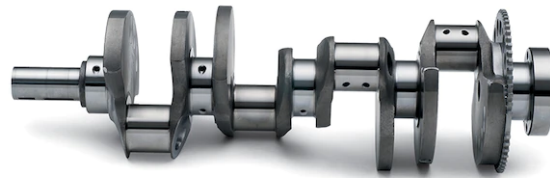
**Leva excéntrica:** La función principal del mecanismo de levas es el de transformar movimiento rotacional en movimiento de translación.[17] Se basa en un elemento de contorno

no circular que gira sobre un punto, al girar el perfil de este elemento provoca la subida o la bajada de un seguidor de leva o un palpador Figura 14.



**Figura 14:** Mecanismo leva excéntrica  
**Fuente:** Momento GP.

**Cigüeñal:** Eje con codos y contrapesos Figura 15 que, aplicando el principio del sistema de biela-manivela, transforma el movimiento rectilíneo alternativo en giratorio o viceversa.



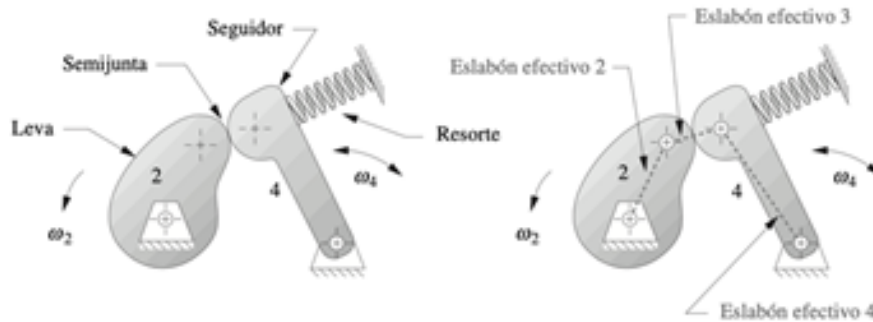
**Figura 15:** Mecanismo cigüeñal  
**Fuente:** Chevrolet.

## 5.7. Diseño de Levas

Diferentes tipos de máquinas utilizan este tipo de sistema leva-seguidor, como son las máquinas utilizadas para la fabricación de muchos bienes de consumo. [18] Si se compara este sistema con uno de articulaciones, una de las ventajas es que es mucho más fácil de diseñar, pero, la desventaja es que las levas son mucho más difíciles y costosas de fabricar.

### 5.7.1. Tipo de movimiento del seguidor

Existen dos tipos de movimiento del seguidor, el seguidor oscilante que se muestra en la Figura 16 y el seguidor trasladante que se puede observar en la Figura 17.



*Figura 16:* Leva seguidor oscilante

*Fuente:* Robert L. Norton.[19]



*Figura 17:* Leva seguidor trasladante

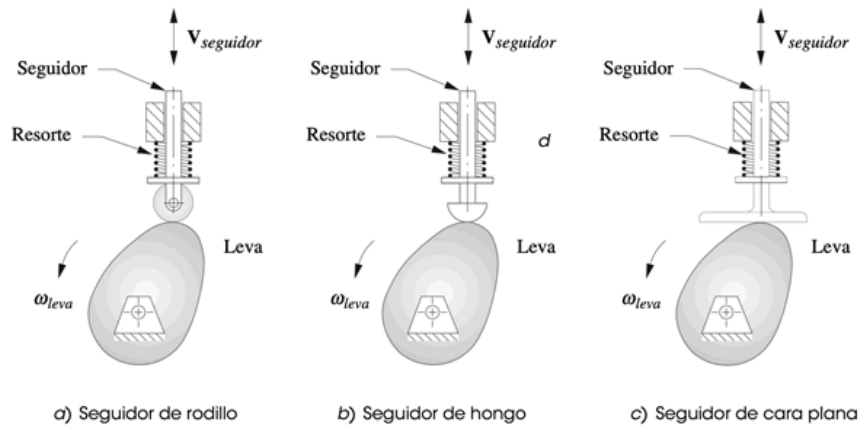
*Fuente:* Robert L. Norton.[19]

Para el caso de la máquina que se diseñará se utilizará el leva-seguidor trasladante por lo que muchas de los procesos que realiza la máquina requiere de una traslación rectilínea.

### 5.7.2. Tipo de seguidor

En la Figura 18 están los tres diferentes tipos de seguidores que existen, por cuestiones de diseño de la máquina tejedora de cadenas se utilizara el seguidor de rodillo ya que tiene como ventaja poseer menor fricción rodante y al momento que se dañe el rodillo podrá ser reemplazado con otro.





**Figura 18:** Tipos de seguidores.

**Fuente:** Robert L. Norton. [19]

### 5.7.3. Ley fundamental de diseño de levas

En cualquier leva, excepto la más simple, el programa de movimiento no puede definirse por una sola expresión matemática, sino más bien debe definirse por varias funciones distintas, cada una de las cuales define el comportamiento del seguidor a través de un segmento, o pieza, de la leva. Estas funciones deben tener continuidad de tercer grado (la función más dos derivadas) en todas las fronteras. Las funciones de desplazamiento, velocidad y aceleración no deben tener discontinuidades en ellas. [19]

Si existen algunas discontinuidades en la función de aceleración, habrá puntas infinitas. Por lo tanto, simplemente restablece la ley fundamental de diseño de levas. Un diseñador inexperto no reconoce que si se inicia con un polinomio de grado bajo (lineal) como funciona de desplazamiento, aparecerán discontinuidades en las derivadas superiores.[19] Las funciones polinomiales son una de las mejores opciones para levas.

## 5.8. Tratamiento térmico para aplicar a las levas

El tratamiento térmico del acero se refiere a los procesos en los que se controla el tiempo y la temperatura y en los que se liberan esfuerzos residuales y/o se modifican las propiedades del material como la dureza (resistencia), ductilidad y tenacidad.

### 5.8.1. Recocido

El recocido completo y el normalizado son operaciones de calentamiento que permiten que el material se transforme conforme el diagrama de equilibrio. El material que se va a recocer se calienta a una temperatura alrededor de 100°F por arriba de la temperatura crítica. Se preserva a esta temperatura a lo largo de una época suficiente para que el carbono se disuelva y se difunda por medio del material. Después se posibilita que el objeto tratado

se enfríe muy lento, generalmente, en el horno en el que se trató. Si la transformación es completa, entonces se plantea que se tiene un recocido completo. El recocido se usa para emblandecer un material y realizarlo más maleable, borrar los esfuerzos residuales y refinar la composición del grano.[20]

### 5.8.2. Templado

La velocidad de enfriamiento controlada se denomina templado. El templado suave se recibe al enfriar el acero al aire, lo cual, como se vio, se recibe por medio del proceso de normalizado. Ambos medios más utilizados para el templado son el aire y el aceite. El templado con aceite resulta poco a poco sin embargo previene las grietas de templado causadas por la inmediata dilatación del componente tratado. El templado en agua se utiliza para aceros al carbono y para aceros al medio carbono de baja aleación.[20]

### 5.8.3. Revenido

Una vez que una pieza de acero se ha endurecido por completo es bastante tiesa y frágil y tiene elevados esfuerzos residuales. Por otro lado, una vez que envejece, el acero es desequilibrado y tiende a contraerse.

Esta tendencia aumenta una vez que la pieza se somete a cargas aplicadas de forma externa, pues los esfuerzos resultantes contribuyen todavía más a la inestabilidad. Estos esfuerzos internos tienen la posibilidad de eliminarse por medio de un proceso de bajo calentamiento denominado alivio de esfuerzos, o mediante una conjunción de alivio de esfuerzos y suavizado que obtiene el nombre de revenido o regulación. Luego de que la pieza se ha endurecido enteramente al templarse por arriba de la temperatura crítica, se recalienta hasta definida temperatura menor que la crítica a lo largo de un cierto tiempo y después se posibilita que se enfríe en aire inmóvil.[20]

## 5.9. Tipos de tejedoras de cadenas

Existen varios tipos de máquinas que producen diferentes tipos de cadenas, en la Figura 24 se puede observar una máquina tejedora y en la Figura 25 se presenta el modelo de cadena que se produce y el rango de espesor de hilo con lo cual trabajan.

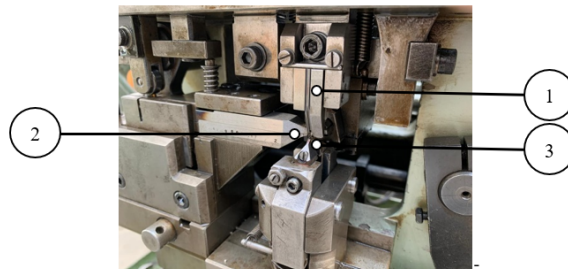
### 5.9.1. Máquina OMBI 4853

La máquina tejedora OMBI 4853 indicada en la figura 19 realiza el proceso de ensamble para la creación de la cadena *Veneciana*, estos productos tienen la característica de ser un perfil cuadrado.



**Figura 19:** Máquina OMBI 4853.  
**Fuente:** Autores.

Mediante un proceso de inspección se determina los procesos que se desarrollan dentro del tejido de cadenas en la máquina OMBI 4853, seleccionando su principal herramienta que realiza la acción, los subprocesos se han realizado en 3 partes como indica la figura 20, estas son:



**Figura 20:** Procesos de herramientas en la máquina OMBI 4853.  
**Fuente:** Autores.

1 *Fazon*, cumple el proceso de prensado que da forma al tipo de cadena.



**Figura 21:** Fazon para prensado de cadena.

**Fuente:** Autores.

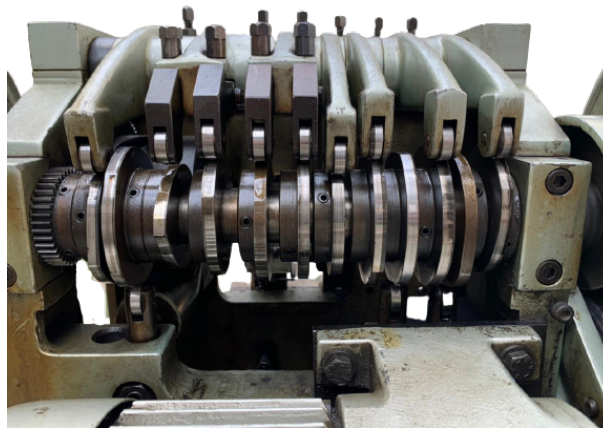
- 2 *Sistema de distribución*, esta herramienta abastece de material para realizar los eslabones.
- 3 *Pinzas*, mediante este sistema se realiza la sujeción del eslabón prensado por el fazon y realiza un giro para poder acoplar a otro eslabón. 22



**Figura 22:** Pinza para sujeción de eslabón.

**Fuente:** Autores.

Es importante señalar el tipo de sistemas de transmisión de movimiento ya que se realizan varios procesos en un tiempo relativamente corto. En el caso de la máquina OMBI 4853, el sistema para transformación de movimiento, es mediante un árbol de levas como se puede apreciar en la figura 23.



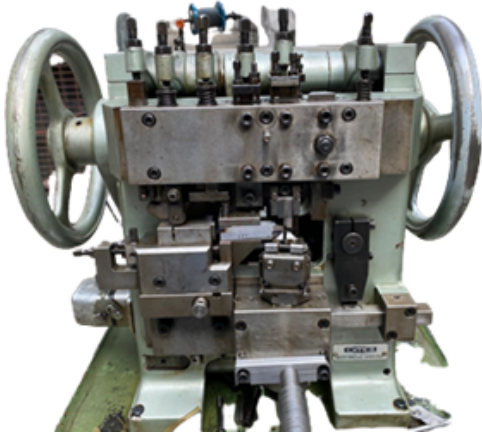
**Figura 23:** Árbol de levas máquina OMBI 4853.

**Fuente:** Autores.

Las especificaciones técnicas de esta máquina para tejer cadenas al modelo *Veneciana* se encuentran en la tabla 7.

Datos Técnicos	
Dimensiones de cadena	0,50 a 1,25 mm
Producción azas/min	450 max
Voltaje	220
Potencia	0.55 kw
Peso neto	215 kg
Dimensiones	75 x 85 x 160 cm

**Tabla 7:** Especificaciones técnicas de la máquina OMBI  
*Fuente:* Autores.



**Figura 24:** Máquina OMBI para modelo de cadena Veneciana espesor de hilo 0.3mm-0.9 mm.

*Fuente:* Autores.



**Figura 25:** Cadena modelo Veneciana espesor de hilo 0.3mm-0.9 mm.

*Fuente:* Autores.

### 5.9.2. Máquina SISMA F2/GL

La máquina tejedora SISMA F2/LG la cual se presenta en la figura 26, realiza el proceso de ensamble en la producción de las cadenas:

- *Ancora*
- *Barbada*
- *3:1*

Como se puede observar esta máquina tiene un característica especial que la diferencia de las otras tejedoras de cadenas, y es el realizar 3 distintos modelos de producto, se necesita un

sistema de cambios para realizar la cadena que se requiera. De igual manera, a diferencia de la máquina OMBI estas cadenas tienen un perfil de circunferencia y no cuadrado, lo que da introducción a un sistema de distribución de material por una espiral.

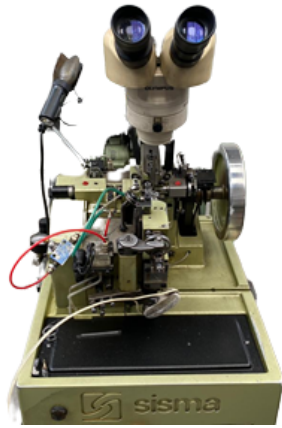


**Figura 26:** Máquina SISMA F2/GL  
**Fuente:** Autores.

En el análisis para la inspección rápida de los procesos que realiza la máquina, se ha considerado seleccionar la producción de la cadena *Ancora*, ya que es la cadena con mas demanda que la empresa realiza en su línea de ensamblaje dentro de esta máquina. En la producción de esta cadena se han determinado 3 subprocesos de fabricación, en estos procesos existen herramientas que intervienen como elemento principal para cada actividad realizada, estos son:

- 1 *Fazon:* Cumple el proceso de prensado que da forma al tipo de cadena.
- 2 *Espiral de distribución:* Esta herramienta abastece de material para realizar los eslabones.
- 3 *Pinzas:* Mediante este sistema se realiza la sujeción del eslabón prensado por el fazon y realiza un giro para poder acoplar a otro eslabón.

En la figura 27 y la figura 28 se presentan otro modelo de máquina tejedora con características específicas para producir ciertos modelos de cadenas. [21]



**Figura 27:** Máquina SISMA para modelo de cadena Cordón espesor de hilo 0.3-0.5

**Fuente:** Autores.



**Figura 28:** Cadena modelo Cordón espesor de hilo 0.3-0.5 mm. 5

**Fuente:** Autores.

### 5.9.3. Máquina FASTI

En la Figura 29 y la figura 30 se presenta otro modelo de máquina tejedora con características específicas para producir ciertos modelos de cadenas. [22]



**Figura 29:** Máquina FASTI para modelo de cadena Áncora espesor de hilo 0.25-1 mm.

**Fuente:** Autores.

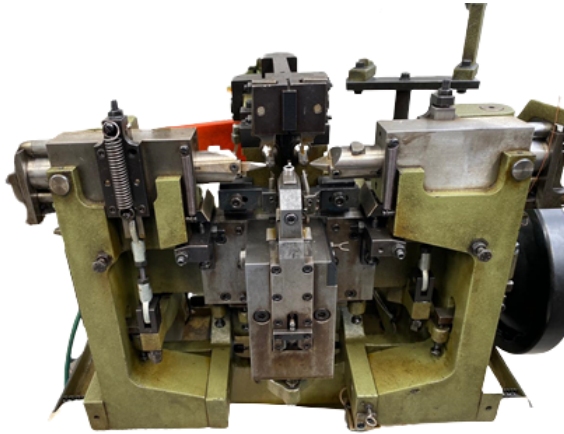


**Figura 30:** Cadena modelo Áncora espesor de hilo 0.25-1 mm.

**Fuente:** Autores.

### 5.9.4. Máquina MGZ

En la figura 31 y la figura 32 se presentan otro modelo de máquina tejedora con características específicas para producir ciertos modelos de cadenas. [23]



**Figura 31:** Máquina MGZ para modelo de cadena Caracol espesor de hilo 0.3-0.8 mm.

**Fuente:** Autores.



**Figura 32:** Cadena modelo Caracol espesor de hilo 0.3-0.8 mm.

**Fuente:** Autores.

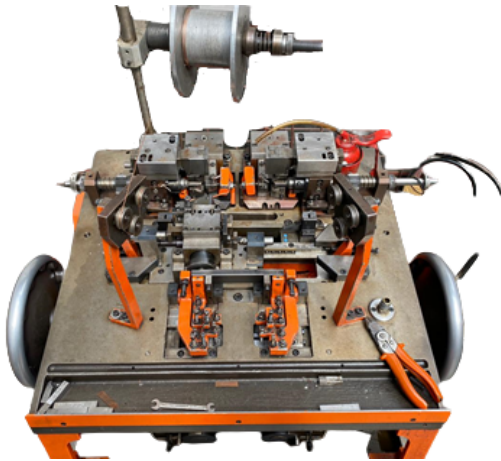
### 5.9.5. Máquina Peter Koch

En la Figura 33 se puede observar la máquina marca Peter Koch que fabrica la cadena cubana (Figura 34) cuyos detalles y características se muestran en la Tabla 8.

Esta máquina se pretende utilizar como guía para el diseño de la máquina tejedora de cadenas para la empresa de Joyas Casa Real Montero. La única diferencia radica en la escala que utiliza (piezas más grandes) y si es posible dividir la máquina exactamente por la mitad con una línea vertical, solo se establecería el diseño del lado izquierdo.

Al respecto del diseño se tomarán en cuenta cálculos para dimensionar el árbol de levas que es parte del sistema de transmisión, para ello es fundamental determinar las fuerzas que generan los diferentes elementos de la máquina. Por otro lado, el diseño de la espina que establece la formación de la asa o eslabón de la cadena es el elemento más importante de la máquina tejedora de cadenas. [24]





**Figura 33:** Máquina Peter Koch tejedora de la cadena Cubana.

**Fuente:** Autores.



**Figura 34:** Cadena Cubana de oro hilo 1.3mm.

**Fuente:** Autores.

<b>Peso</b>	200 kg	<b>Velocidad</b>	110 asas/min
<b>Voltaje</b>	220	<b>Modelo</b>	93-3248/2
<b>Consumo de energía</b>	0.8kW	<b>Hz</b>	50-60
<b>Presión de trabajo</b>	6 bar	<b>Año</b>	1994

**Tabla 8:** Especificaciones de la máquina Peter Koch.

**Fuente:** Autores.

El proceso de integrar una propuesta de diseño de una máquina tejedora de cadenas en la línea de ensamble de la empresa Joyas Casa Real Montero implica un amplio conocimiento entre mecanismos, sistemas mecánicos, materiales, sistemas de alimentación de potencia, entre otros. Para realizar este diseño primero se empezará por una inspección de los sistemas existentes en maquinaria de tejido para joyas, tanto dentro como fuera de la empresa Joyas Casa Real Montero. Como uno de los principales obstáculos es determinar un sistema que permita realizar varios procesos en un lapso corto de tiempo. Una vez que se determine cual será el sistema para una correcta cronología de movimientos, se procederá a dimensionar todos los materiales y elementos existentes en el diseño de la máquina.

## 5.10. Selección de sistema mecánico

En el desarrollo de la propuesta para una máquina de tejido de cadenas de Oro y Plata, se utilizara el método de ingeniería inversa, en este caso consiste en recoger toda la información sobre la tecnología existente realizado en la subsección 5.9.

### 5.10.1. Variables de ponderación

En las máquinas existentes de la empresa el personal nos informó cuales son las principales características y problemas que surgen en estos sistemas mecánicos, como son:

#### Mantenimiento

En la empresa Joyas Casa Real Montero, se realizó un levantamiento de información de la frecuencia de mantenimiento que realizan a las máquinas existentes, existen varias máquinas que se agrupan en uno de los periodos de mantenimiento.

- Cada 8 a 12 meses **0,7-1**
- Cada 4 a 8 meses **0,4-0,6**
- Cada 1 a 4 meses **0,1-0,3**

#### Costo

El costo de las maquinarias se obtuvo de la mano del área administrativa de la empresa que brindo la información de los precios en los cuales se han adquirido las máquinas.

- Costo  $\leq$  \$35.000 **0,7-1**
- $\$35.000 < \text{Costo} < \$50.000$  **0,4-0,6**
- Costo  $\geq$  \$50.000 **0,1-0,3**

#### Accesibilidad

Esta variable se refiere a la facilidad que tienen los operadores para poder manipular los procesos de tejido que en ocasiones tienen que ser calibrados por los mismos.

- Complejo **0,7-1**
- Normal **0,4-0,6**
- Simple **0,1-0,3**

#### Producción

La producción de las máquinas existentes es un factor que puede ser directamente influido por el tipo de mecanismos usados, este factor puede ser de gran ayuda cuando se desea realizar una propuesta para una necesidad que está enfocada en la velocidad de producción.

- 18 kg/día **0,7-1**
- 15 kg/día **0,4-0,6**
- 12 kg/día **0,1-0,3**

#### Espacio físico

El espacio físico se refiere a las dimensiones que ocupan las máquinas, este factor por comentarios del personal es importante ya que en la línea de producción de joyas al realizarse varias actividades es importante que el flujo de proceso de los productos no se vea afectado por el área que ocupan las máquinas.

- Pequeño **0,7-1**
- Normal **0,4-0,6**
- Grande **0,1-0,3**

### Tiempos muertos

A igual que la variable de producción los tiempos muertos pueden ser provocados por los mecanismos aplicados en las máquinas, entre estos destacan el desgaste de los elementos o ruptura de herramientas, secuencia de los sistemas de transformación de movimiento alterado, entre otros. Es decir, las fallas mecánicas.

- Pocos **0,7-1**
- Normal **0,4-0,6**
- Altos **0,1-0,3**

#### 5.10.2. Tabla de ponderación

Máquina	Mantenimiento	Costo	Accesibilidad	Producción	Espacio físico	Tiempos	TOTAL
SISMA F2/GL	0,6	0,5	0,7	0,8	0,4	0,4	3,4
OMBI 4583	0,4	0,8	0,4	0,6	0,7	0,3	3,2
Peter Koch	0,7	0,3	0,8	0,8	0,6	0,5	<b>3,7</b>

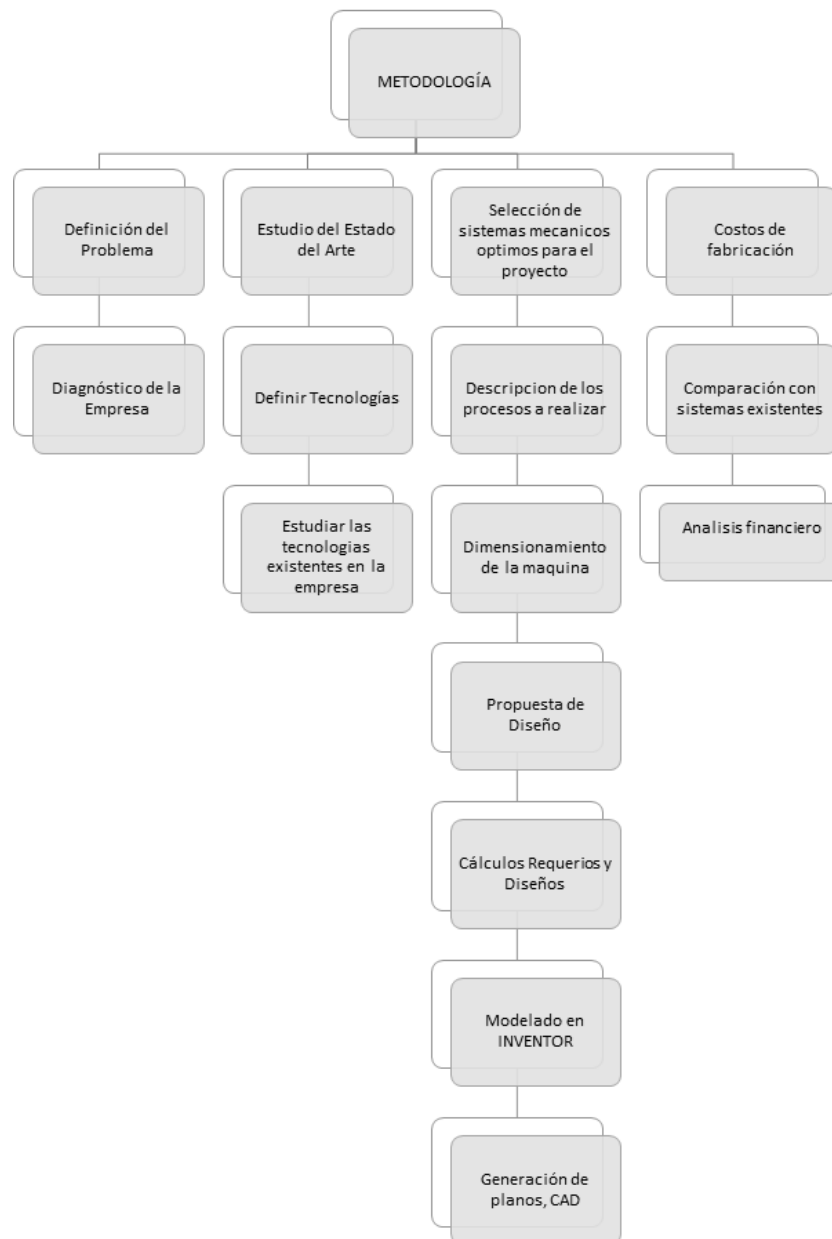
*Tabla 9:* Ponderación para selección de sistema mecánico.

*Fuente:* Autores.

Cumpliendo con los requisitos de la empresa, la tabla de ponderación Tabla 10 se enfoca en realizar un diseño de la máquina tejedora de cadenas entre 3mm a 5mm para cadenas tipo Cubana por medio de ingeniería inversa el sistema mecánico de la máquina Peter Koch.

## 6. Metodología

La metodología para el diseño de la máquina tejedora de cadenas se observa en la Figura 35, esta cumple con el propósito de que el operador o fabricante siga la ruta para la optimización del proceso, asegurando la calidad y versatilidad en cada etapa.



**Figura 35:** Metodología para el diseño de la máquina tejedora de cadenas.

**Fuente:** Autores.

## 6.1. Diseño del equipo

### 6.1.1. Definición de Variables

- Aumentar el flujo de producción de la cadena Cubana de 2,4 kg/día a 10 kg/día.
- Disminuir el tiempo de producción que actualmente es de 6 horas.
- El sistema debe contar con partes intercambiables pues las herramientas de doblado sufren desgaste.

### 6.1.2. Alternativas para el diseño del equipo

Para seleccionar los elementos de la máquina tejedora de cadenas, se utilizará la matriz de ponderación indicada en la tabla 10

Aspectos	Ponderación	Piñón Crema- llera	Árbol de levas	Cigueñal
Transmisión simultanea	40	25	35	30
Precisión de movimien- to	10	7	9	8
Tiempo de construcción	10	6	8	6
Sistema de desplaza- miento	<b>60</b>	<b>38</b>	<b>52</b>	<b>44</b>
Mantenimiento	20	18	15	13
Vida útil	20	15	17	17
Control del sistema	<b>40</b>	<b>33</b>	<b>32</b>	<b>30</b>
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>71</b>	<b>84</b>	<b>74</b>

*Tabla* 10: Matriz de ponderación, mecanismos de transformación de movimiento.

*Fuente:* Autores.

## 6.2. Proceso de tejido

Para poder realizar el diseño de un sistema automatizado para el tejido de la cadena tipo *Cubana* se debe tener en cuenta los procesos que el producto tiene que atravesar para poder llegar al diseño final.

A esto se realizara una explicación de las operaciones que sufrirá el material y cual es la metodología para poder realizar este proceso de manera automatizada con sus correspondientes herramientas.

### 6.2.1. Conformado diseño de la cadena

Como primer paso se debe realizar un deformado de la cadena para obtener el diseño del diámetro total del eslabón. Hay que tener en cuenta que el material para ser tejido ha pasa-

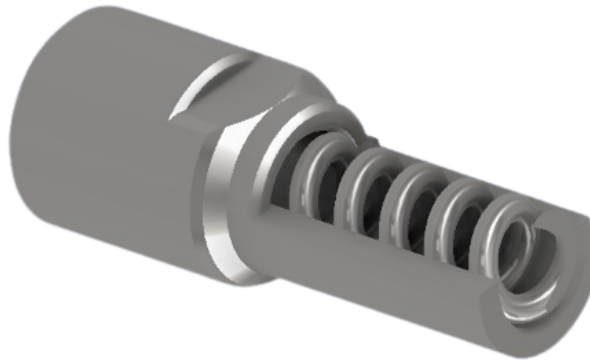
do posteriormente por un proceso de fundición, laminado, recocido, trefilado y tratamiento térmico para suavizar el material, lo que nos da a entender que el material se encuentra con su diámetro final. En la figura se muestra al material sin estar sometido a ningún proceso de deformación.

Al encontrarse el material en este estado se debe realizar un proceso de deformado para que la producto obtenga el diseño de la cadena.

Por medio de ingeniería inversa se opta por utilizar un elemento cilíndrico con ranuras en espiral, esta es una herramienta utilizada en todos los procesos de automatización de tejido de cadenas observados. Con este elemento se puede realizar el deformado y obtener el diámetro de la cadena.

Esta herramienta de deformación esta compuesta de dos partes, espiral y espina:

**Espiral** Esta herramienta realiza la deformación al material que da el perfil del diseño de la cadena, así mismo por medio de la rotación de la espina el material puede avanzar a lo largo de las ranuras que tiene la espiral. Cabe recalcar que las divisiones de la espiral tienen el mismo espesor del hilo de la cadena a tejer.



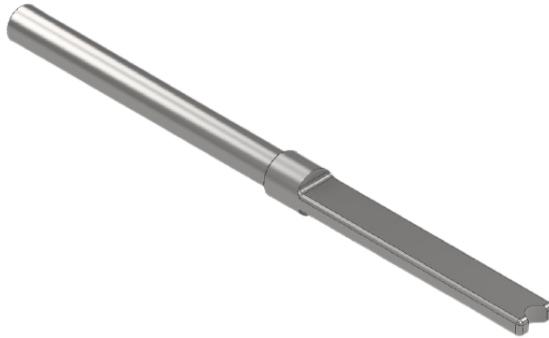
**Figura 36:** Espiral 3mm

**Fuente:** Autores.

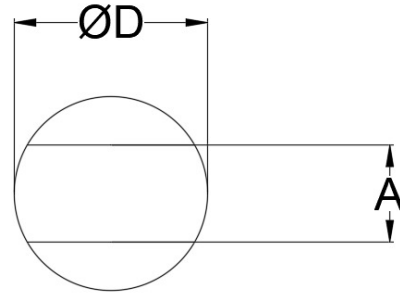
**Espina** Este elemento se ubica en la parte interna de la espiral, la espina realiza un movimiento de rotación en su propio eje esta desempeña el papel de distribución de material que se encuentra en las ranuras de la espiral, mediante un giro en sentido horario permite que un eslabón salga de la espiral y se encuentre en voladizo para realizar el proceso de tejido. La espina se encuentra ensamblada un eje dentado y este a una cremallera, estos elementos permiten el giro de la espina. Para el diseño del elemento se consideran las dimensiones  $\varnothing D$  y  $A$ , en el anexo de este documento se encuentra la tabla A del catalogo de información técnica general de la marca *Fasti* se indican las dimensiones que una espina puede tener dependiendo el espesor de hilo. El catalogo no indica la dimension de la espina para hilos de  $\varnothing = 3mm$ ,  $\varnothing = 4mm$  y  $\varnothing = 5mm$ , si se desea saber las dimensiones de estos diametros se debe realizar la siguiente operacion:  $a = Hilo$

$$A = \left( \frac{0,45}{0,3} \right) \cdot a \quad (1)$$

$$\varnothing D = \left( \frac{0,9}{0,3} \right) \cdot a \quad (2)$$

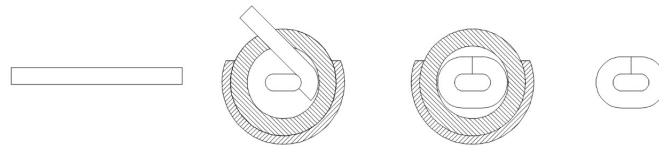


**Figura 37:** Espina para 3mm  
**Fuente:** Autores.



**Figura 38:** Dimensionamiento espina catalogo Fasti.  
**Fuente:** Autores.

El material trefilado se coloca en la primera ranura de la espiral (6.2.1), mediante la espina (6.2.1) este debe girar y se trasladara el material en todas las ranuras de la espiral, mientras el material se desplaza alrededor de la espiral Figura 39 el diseño de la misma realiza la acción de dar la forma del diámetro del eslabón de la cadena *Cubana*.



**Figura 39:** Distribución material en la espiral.  
**Fuente:** Autores.

### 6.2.2. Corte

Cuando se obtiene la forma exterior de la cadena se debe proceder a separar por eslabones al material en bruto. Para esto se debe realizar un proceso de corte mediante un proceso de punzonamiento, se debe tener en cuenta las propiedades de los materiales a cortar pues la carga de corte varia. Este proceso se realizara mediante una cuchilla fija y una movil.

**Cuchilla fija** Esta cuchilla se empotrara en una parte que no permita ningún movimiento, el material se colocara próximo a esta herramienta.

**Cuchilla movil** Este elemento realizara el corte y realizara la creación de eslabones. La cuchilla movil realizara un movimiento de desplazamiento hacia la cuchilla fija, el contacto no se realizara directamente, la cuchilla tiene su filo de corte en la parte inferior y la movil el filo de corte en la parte superior.

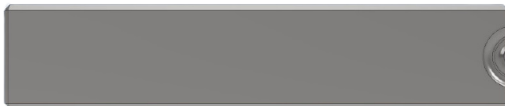
### 6.2.3. Prensado

El eslabón cortado se encuentra con una separación en sus dos extremos, para unir esto se debe realizar un proceso de presando que permita unir los extremos del material.

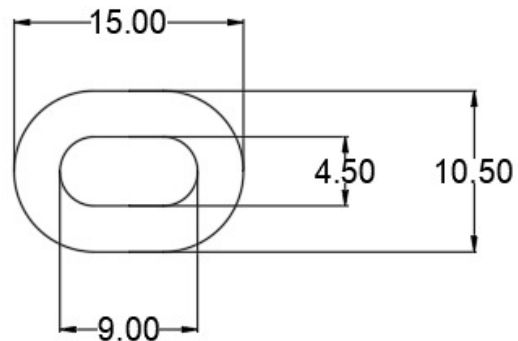
Este proceso se puede realizar mediante dos bloques que realicen un proceso parecido al de una entenalla, actualmente en la industria de la joyería se usan fazones.

**Fazon** Esta herramienta realiza un función de prensado junto a otro elemento simétrico. Los fazones como se puede observar en la Figura 40 tienen una ranura correspondiente al 30 % de la cadena a tejer. Por ejemplo si la cadena es de  $\varnothing 3\text{ mm}$  indicada en la Figura 41, las dimensiones de la cadena es de  $15\text{ mm}$  con  $\varnothing 10,50\text{ mm}$ , la sección que debería tener la ranura del fazon es de  $\varnothing_{\text{exterior}} = 10,40$  y  $\varnothing_{\text{interior}} = 4,20$ .

En la empresa Joyas Casa Real Montero las ranuras de los fazones son realizadas por los operarios mediante el proceso de electroerosion, es decir, cada fabrica de joyas tiene su metodología de adquisición de fazones y en este caso el área de gerencia de la empresa menciona que es mas rentable fabricar que comprar, y por este motivo optan por realizar la cavidad por electroerosión del 30 % correspondiente a la cadena a tejer.



**Figura** 40: Fazon para prensado.  
**Fuente:** Autores.



**Figura** 41: Eslabón cadena Cubana hilo  $\varnothing 3\text{ mm}$ .  
**Fuente:** Autores.

### 6.2.4. Sujeción

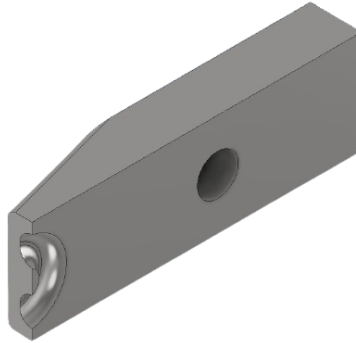
Al ser un objetivo el automatizar el proceso de tejido mientras se realizan los procesos de corte y prensado el operador no tiene que intervenir en estas secuencias, a esto es importante recurrir a un proceso de sujeción que permite sujetar el eslabón cuando este fue recientemente cortado y posteriormente se debe trasladar a los fazones para realizar el proceso de prensado. Para este proceso se opta por utilizar un sistema de pinzas, comúnmente usadas en la industria de joyería y automatización de procesos:

**Pinzas** Las pinzas ejercen la función de traslación y rotación de los eslabones. Las pinzas deben cumplir la función de cierre y mantiene el mismo concepto de los fazones indicados



en la subsección 6.2.3 el cual indica que en el extremo del elemento existe una ranura correspondiente al 30 % de la cadena a tejer Figura 42.

Las pinzas deben contar con un sistema mecánico que permita realizar un giro en un rango de 45° a 60° ya que con estos ángulos se realiza el detalle de deformación en los eslabones de las cadenas, característica de los productos de la empresa. Para lograr esto las pinzas están sujetas a un sistema de eje dentado y cremallera, estos elementos accionan la rotación de las pinzas y un sistema de resortes permite el cierre de las mismas.

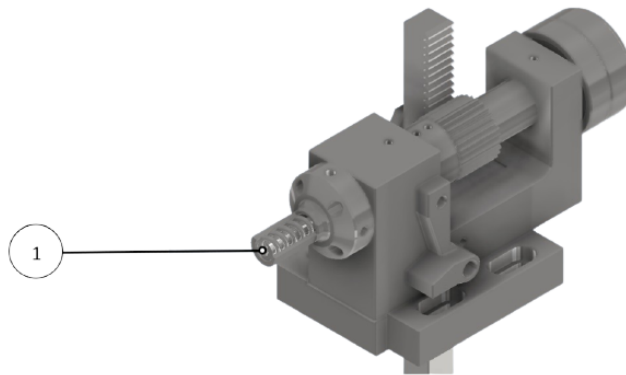


**Figura 42:** Pinza de sujeción

**Fuente:** Autores.

Las pinzas realizarán la acción de traslación y sujeción del eslabón, después de haberse realizado el proceso de prensado gracias a los fazones, el detalle final en la cadena es una torsión en la mitad de cada eslabón que es la característica de este producto, para esto se dará uso nuevamente de las pinzas, las cuales deben realizar un giro de 45 a 60° en el sentido horario.

Mientras se realiza este proceso la espiral realiza otro giro que libera un eslabón más para que el eslabón que se está sujeto a las pinzas se ensamble en el material que ha salido de la espiral, como el indicador 1 señala en la Figura 43.

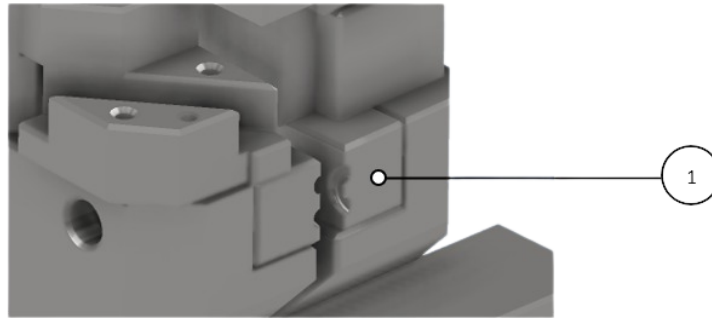


**Figura 43:** Ensamble elementos de distribución.

**Fuente:** Autores.

### 6.2.5. Desplazamiento

El eslabón que se encuentra sujetado a la pinza, se traslada al entorno de prensado que se realizara por acción de los fazones como el indicador señala en la Figura 44. Es importante recalcar el proceso explicado en la seccion 6.2.3 dado que los fazones cambiarian dependiendo al diámetro de cadena a ensamblar.



**Figura 44:** Fazones de prensado  
**Fuente:** Autores.

Como último proceso la pinza gira en su propio eje a su posición inicial y coloca el eslabón procesado en el eslabón extruido de la sección de distribución para así repetir el proceso.

## 6.3. Cálculo del sistema principal

### 6.3.1. Esfuerzo de corte

El esfuerzo necesario para realizar el corte de *oro* En todo el contorno del punzón y de la matriz, sobreviene una presión continua de parte del punzón y una reacción por parte del material. El punzón, continuando en su descenso, presiona con su cabeza una porción de chapa y la separa completamente del resto; esto se debe a la acción de los filos cortantes de la herramienta, tal y como ocurre similar mente durante el corte con tijeras [25]. El esfuerzo cortante necesario puede determinarse por medio de:

$$Q = p \cdot s \cdot \sigma_T \quad (3)$$

Donde:

$Q$  = Esfuerzo cortante total necesario [kg].

$p$  = Perímetro de la figura[mm].

$s$  = Espesor de la chapa [mm].

$\sigma_T$  = Carga rotura del material por cortadura [kg/mm<sup>2</sup>].

$\sigma_R$  = Carga de rotura por tracción[kg/mm<sup>2</sup>].

Datos:

$$\sigma_R = 220 \text{ Mpa} = 22,44 \text{ kg/mm}^2$$

$$\sigma_T = \frac{4}{5} \sigma_R = 17,952 \text{ kg/mm}^2$$

$$s = 3 \text{ mm}$$

Desarrollo:

$$p = 2 \cdot \pi \cdot r$$

$$p = 2 \cdot \pi \cdot (1,5 \text{ mm})$$

$$p = 9,424 \text{ mm}$$

$$Q = (9,424 \text{ mm}) \cdot (3 \text{ mm}) \cdot \left( 17,952 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} \right)$$

$$Q = 507,53 \text{ kg} \longrightarrow \text{Necesario para el corte}$$

Para las operaciones de doblar en general, es necesario tener en cuenta los siguientes factores:

- Radio de curvatura
- Elasticidad del material

A ser posible, deben evitarse los cantos vivos; para este propósito se aconseja fijar los radios de curvatura interiores, iguales o mayores que el espesor de la chapa a doblar, con el fin de no estirar excesivamente la fibra exterior y para garantizar un doblado sin rotura.

En el libro de estampado en frío de la chapa indican que el radio de curvatura se considera normalmente:

De 1 a 2 veces el espesor, para materiales suaves.

De 3 a 4 veces el espesor, para materiales mas duros.

$$P = \frac{\sigma \cdot b \cdot s}{3} \quad (4)$$

Donde:

$P$  = Fuerza máxima necesaria para doblar [kg].

$s$  = Espesor de la chapa [mm].

$\sigma_d = 2\sigma_R$  = Coeficiente aplicable para obtener la cesión y la deformación permanente, así como el prensado del fondo. [kg/mm<sup>2</sup>].

$\sigma_R$  = Carga de rotura por tracción [kg/mm<sup>2</sup>].

Datos:

$$\sigma_d = 2 \cdot \sigma_R = 44,88 \text{ kg/mm}^2$$

$$b = 3 \text{ mm}$$

$$L = 15 \text{ mm}$$

$$s = 3 \text{ mm}$$

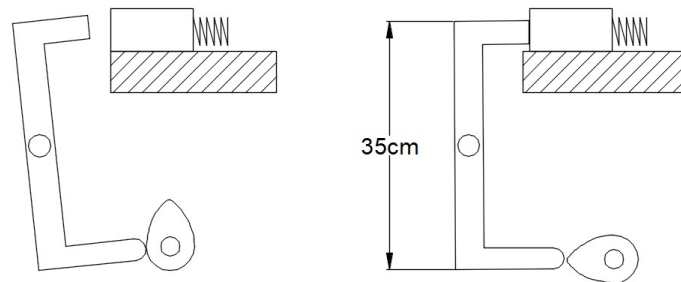
Desarrollo:

$$P = \frac{44,88 \cdot 3 \text{ mm} \cdot 3 \text{ mm}}{3}$$

$$P = 134,14 \text{ kg}$$

### 6.3.2. Cálculo estático brazos de movimiento

Una vez que ya se determina las fuerzas necesarias para hacer los cortes y dobleces existentes en el proceso de producción, se realiza un análisis de fuerzas que se encuentran en los brazos de movimiento como se muestra en la Figura 45. Esto para poder determinar las fuerzas que actúan sobre nuestra leva, esto representa el dato para determinar las fuerzas existentes sobre el eje del árbol de levas.



**Figura 45:** Análisis estático movimiento de fazon.

**Fuente:** Autores.

$$Q = 507,53 \text{ kg}$$

$$F_1 = m \cdot g$$

$$F_1 = 507,57(9,81 \text{ m/s}^2)$$

$$F_1 = 4979,20 \text{ N}$$

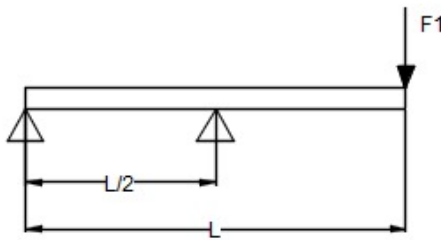
$$\rightarrow +\Sigma F_x = 0$$

$$F_1 - F_2 = 0$$

$$F_1 = F_2 = 4979,26$$

$$\begin{aligned}
\uparrow + \Sigma F_y &= 0 \\
R_A + R_B - F_1 &= 0 \\
R_A + (9460,594N) - (4979,26) &= 0 \\
R_A &= -4978,8693N
\end{aligned}$$

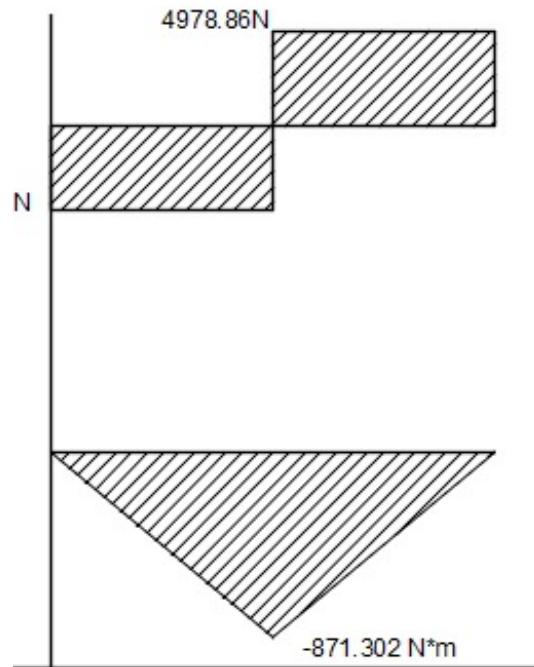
Se realiza un análisis estático del brazo, como se observa en la Figura 46 donde se procede a realizar las respectivas sumatorias de fuerzas y momentos.



**Figura 46:** Diagrama de cuerpo libre sistema fazon.  
**Fuente:** Autores.

$$\begin{aligned}
\curvearrowright + \Sigma M_x &= 0 \\
R_B \cdot 0,15m - F_1(0,285) &= 0 \\
R_B(0,25) - (4979N) \cdot (0,285m) &= 0 \\
R_B &= 9957,7386N \\
M_{max} &= 0,15m \cdot (-4481,334N) \\
M_{max} &= -871,30N \cdot m
\end{aligned}$$

De la misma manera se realiza un diagrama de corte y momentos que se observa en la Figura 47 para ver el comportamiento del brazo.

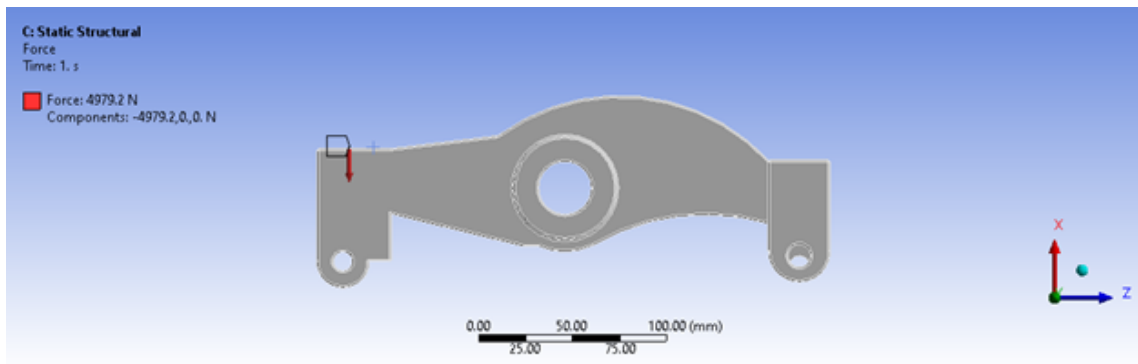


*Figura 47:* Diagrama de fases.

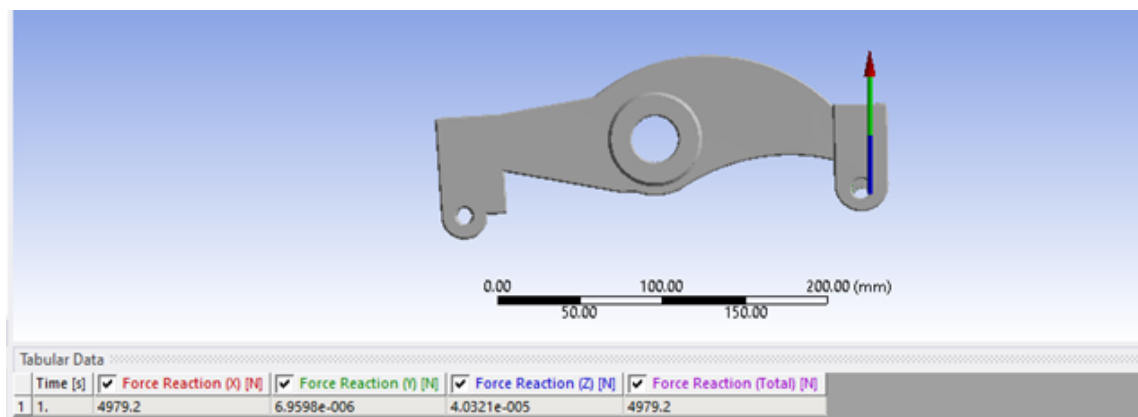
*Fuente:* Autores.

### 6.3.3. Análisis de los brazos de transmisión

Se comprobó si las reacciones analizadas estáticamente en el brazo están correctas haciendo uso del software ANSYS. En la Figura 48 se observa como al momento de aplicar una fuerza de 4979,2 N (fuerza necesaria para realizar el corte del hilo) en el extremo superior del brazo, se genera una fuerza contraria con el mismo valor al otro extremo del brazo, se ha utilizado los parámetros Jacobian Ratio y el mallado tetraedrica en el analisis del brazo, se usa este mallado ya que este tiene una mejor adaptibilidad a la morfologia del cuerpo en estudio, como lo podemos observar en la Figura 49.

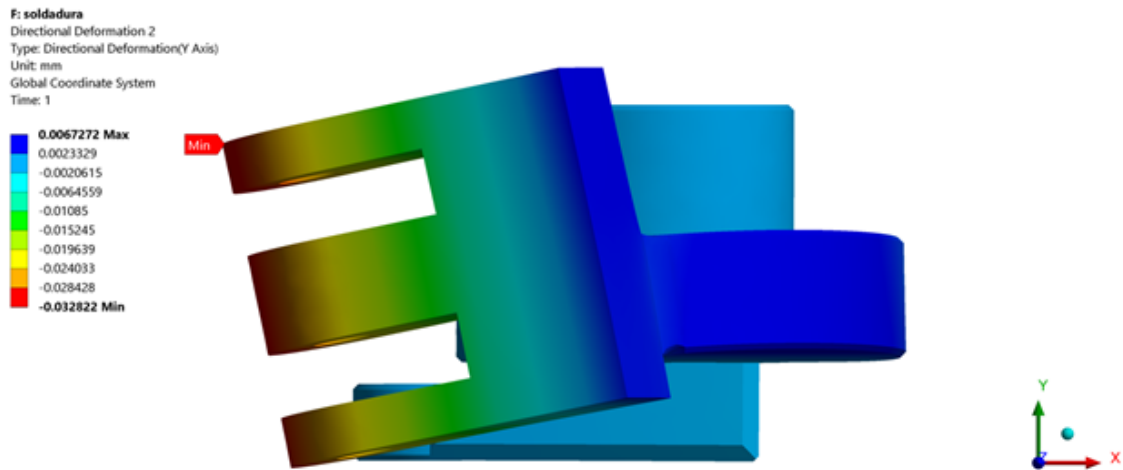


**Figura 48:** Aplicación de fuerza en un extremo.  
**Fuente:** Autores.



**Figura 49:** Fuerza resultante al otro extremo del brazo.  
**Fuente:** Autores.

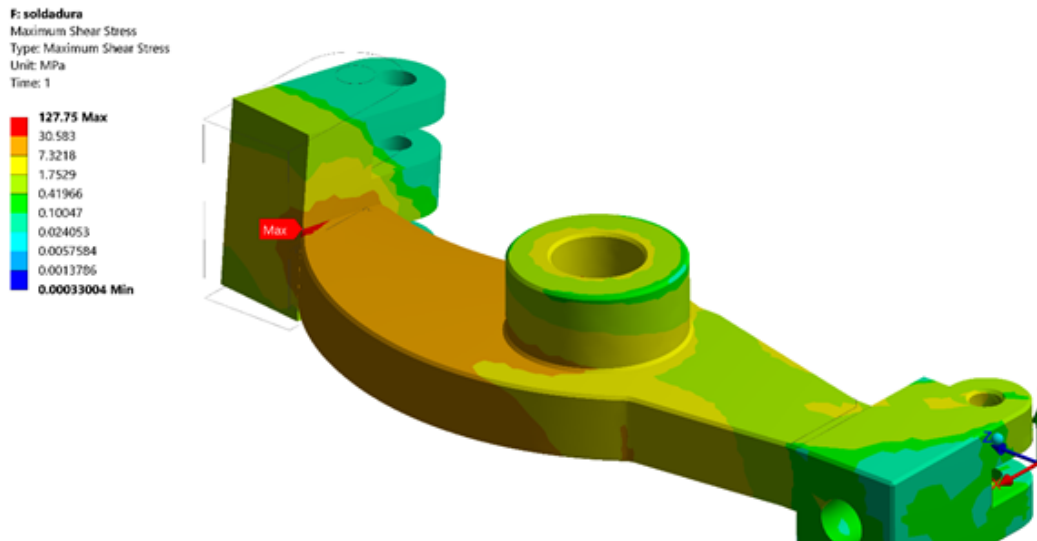
Es importante considerar la deformación que el brazo tendrá, por lo cual en la Figura 50 se logra apreciar que tendrá una deformación máxima de 0,032mm. Con esta información se puede deducir que el brazo está correctamente diseñado para realizar el trabajo necesario sin grandes problemas.



**Figura 50:** Deformación máxima existente en el brazo con escala 2X.  
**Fuente:** Autores.

Debido a que existe soldadura en el brazo, esto para facilitar la construcción de este, por lo tanto, se realizó un análisis de soldadura, para verificar que este resista a las fuerzas a las que el brazo será sometido. En la Figura 51 observamos el esfuerzo que sufrirá el cordón de soldadura en un extremo, aplicando en esta la fuerza de 4979,2 N, el esfuerzo máximo existente en ese extremo es de 127 MPa, lo cual si comparamos este con el límite de fluencia que tiene un electrodo 6011 (electrodo que se utilizara para soldar el brazo) que es de 424 MPa como se observa en la Figura 52, podemos concluir que el cordón de suelda esta dentro del límite, lo que significa que la suelda realizada es la correcta.





**Figura 51:** Esfuerzo cortante máximo existente en el cordón de suelda en un extremo del brazo.

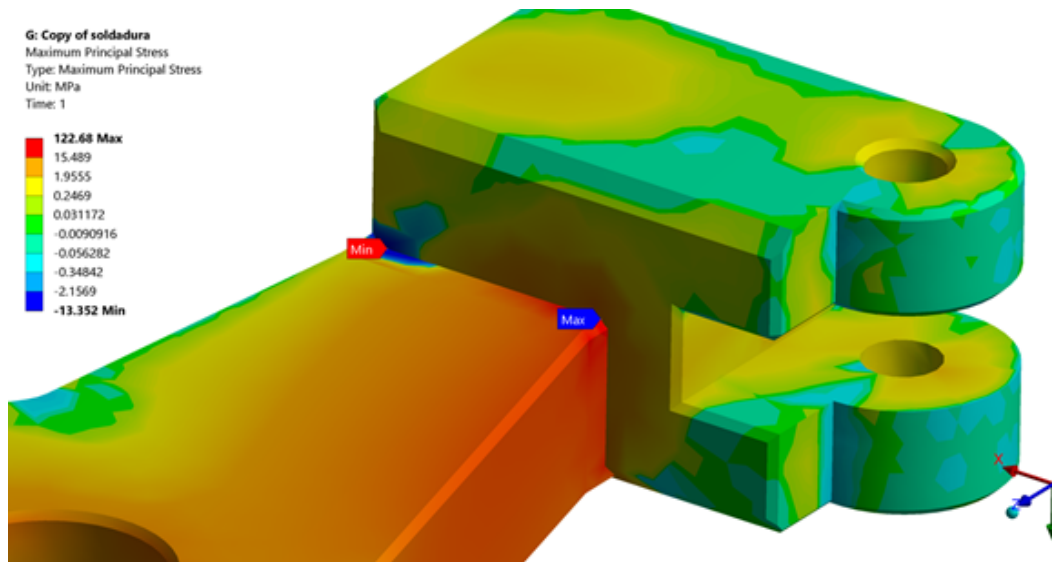
**Fuente:** Autores.

CARACTERISTICAS TIPICAS DEL METAL DEPOSITADO	
Limite de Fluencia	424 Mpa
Resistencia a la Tracción	495 Mpa
Agrietamiento en 50 mm	27%
Energía Absorbida	34 J a -30°C

**Figura 52:** Características del electrodo 6011 INDURA.

**Fuente:** Autores.

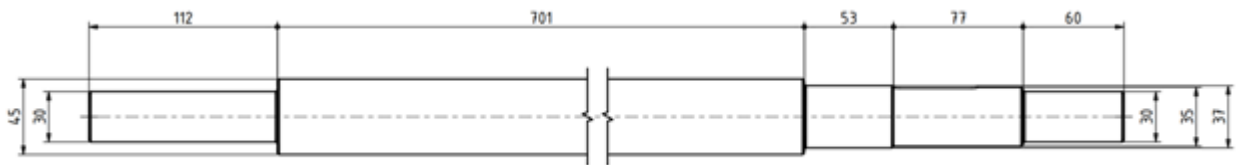
De la misma manera, se realizó el mismo análisis aplicando la misma fuerza de 4979,2 N pero en esta ocasión en el otro extremo del brazo, que si vemos los resultados mostrados en la Figura 53, vemos que en este extremo nuestro esfuerzo máximo es de 47,029 MPa. El cordón de soldadura también está correcto en este extremo ya que está dentro del límite de fluencia que tiene el electrodo 6011.



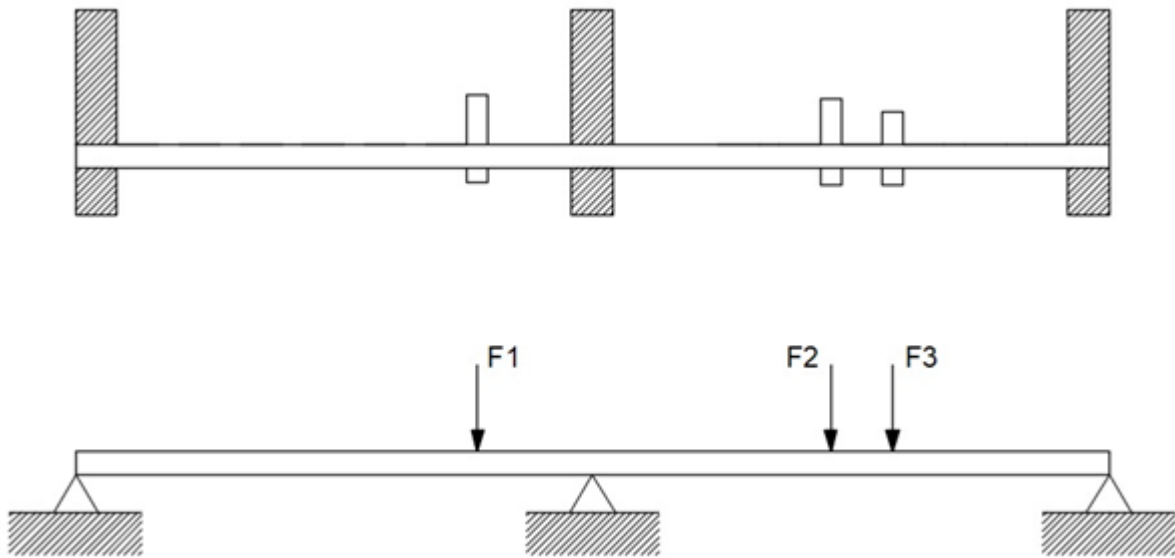
*Figura 53:* Esfuerzo cortante máximo existente en el otro extremo del brazo.  
*Fuente:* Autores.

#### 6.4. Cálculo eje de transmisión

El eje que sostendrá a las levas tendrá tres apoyos debido a su longitud, para así evitar una falla crítica por deflexión. En la figura 54 podemos apreciar el eje que se construirá, de la misma manera en la figura 55 podemos observar en donde se ubican las reacciones que serán posteriormente calculados, es importante considerar que las fuerzas que son aplicadas sobre el eje son aquellas de las levas que en una posición existen más accionamientos. En este caso serán solo tres, leva de fazón izquierdo, leva de fazón derecho y leva de torsión.



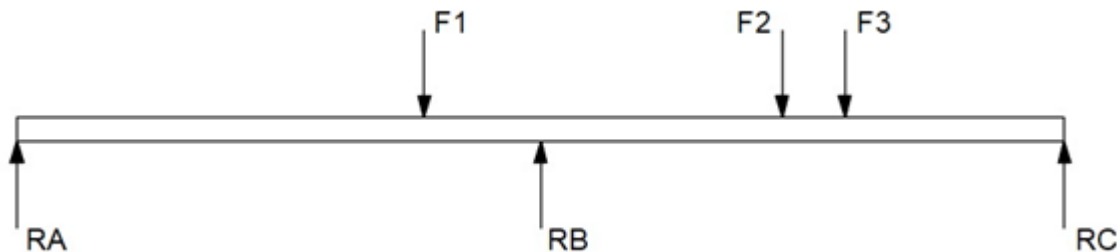
*Figura 54:* Eje de transmisión  
*Fuente:* Autores.



**Figura 55:** Diagrama de cuerpo libre eje  
**Fuente:** Autores.

#### 6.4.1. Método de superposición

Cuando a un eje se somete a varias cargas ya sean puntuales o distribuidas, resulta mas conveniente calcular la deflexión por cada carga de manera separada [26]. En el eje existen varias fuerzas puntuales aplicadas, por lo cual para poder obtener el valor de las reacciones tenemos que hacer uso del método de superposición para determinar no solo la deflexión emitida por cada reacción, si no también el valor de la reacción  $R_B$  como se muestra en la Figura 56.



**Figura 56:** Reacciones del eje  
**Fuente:** Autores.

En total existirán 4 separaciones para el cálculo que se realizará, el primero será el que se muestra en la figura 4a, donde para ese caso usaremos la siguiente formula para determinar su deflexión:

$$Y_1 = \frac{\frac{1}{8} \cdot P \cdot x^3 - \frac{7PL}{128} \cdot x}{EI} \quad (5)$$

Donde:

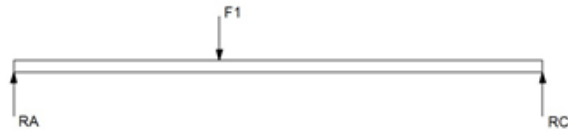
$P$  = Fuerza [N]

$x$  = Distancia medida del eje [m]

$L$  = Longitud total del eje [m]

$E$  = Módulo de elasticidad del material [MPa]

$I$  = Inercia del eje [ $m^2$ ]



(a) Reacción F1



(b) Reacción RB



(c) Reacción F2



(d) Reacción F3

**Figura 57:** Deflexión del eje.

**Fuente:** Autores.

La fuerza aplicada para el primer caso será de 1.32 kN (valor obtenido anteriormente en cálculo de corte y doblado del hilo). El eje donde existen las reacciones, están en el miembro de diámetro de 92,5mm y distancia total de 701mm. Por ultimo, el modulo de elasticidad utilizada será del acero AISI-4340 donde sus propiedades se muestran en la Tabla 11. Se hace uso de este acero ya que sus características se prestan para la fabricación de ejes de levas.

Densidad $g/cm^3$	Modulo de elasticidad MPa	de	Conductibilidad Térmica $W/m^{\circ}C$	Calor específico $J/g^{\circ}C$	Esfuerzo último
7,85	200000		44,5	0,475	1220

**Tabla 11:** Propiedades del acero AISI-4340.

**Fuente:** I. Bohman.[27]

Para calcular la inercia del eje se hace de uso la formula que se encuentra en el Anexo 9 y tomando en cuenta que el valor del diámetro es de 45mm.

$$(I_x) = (I_y) = 1/4 \cdot \pi r^4 = 1/4 \cdot \pi (0,04625m)^4 = 3,59x10^{-6} \cdot m^4$$

Al tener todos los valores necesarios para el cálculo del primer caso reemplazamos está en la ecuación 5, tenemos que:

$$Y_1 = \frac{\frac{1}{8} \cdot (1,32kN) \cdot (0,3505m)^3 - \frac{7(1,32kN) \cdot (0,701m)}{128} \cdot 0,3505m}{(190000MPa) \cdot (3,59x10^{-6}m^4)}$$

$$Y_1 = -7,42x10^{-6}m$$

Para obtener los valores de deflexión de los casos restantes haremos uso de las formulas de Timoshenko indicadas en el Anexo 9 donde los resultados se muestran en la Tabla 12.

Numero de caso	Valor de deflexión
Caso 2	RB ( $9,98x10^{-9}$ )
Caso 3	$-6,45x10^{-6}m$
Caso 4	$-3,35x10^{-6}m$

**Tabla 12:** Valores de deflexión.

**Fuente:** Autores.

Al observar estos resultados, en el caso 2 existe una incógnita RB, ese valor será obtenido al hacer una sumatoria de todos los valores de deflexión que hemos obtenido, por lo tanto, tenemos que:

$$y_T = y_1 + y_2 + y_3 + y_4$$

$$y_T = (-7,42x10^{-6}m) + RB(9,98x10^{-9}) + (-6,45x10^{-6}m) + (-3,35x10^{-6}m)$$

$$0 = (-1,39x10^{-4}m) + RB(1,87x10^{-7}) + (-8,338x10^{-5}m) + (-2,119x10^{-5}m)$$

$$RB = \frac{(7,42x10^{-6}m) + (6,45x10^{-6}m) + (3,35x10^{-6}m)}{9,98x10^{-9}}$$

$$RB = 1725,612N$$

Con el valor de RB obtenido podemos pasar a realizar el cálculo estático para obtener el valor del resto de las reacciones y así obtener nuestro valor de momento máximo.

Por ultimo, obtenemos el valor de deflexión total en el eje:

$$y_T = (-1,39 \times 10^{-4}m) + (1300)(1,87 \times 10^{-7}) + (-4,43 \times 10^{-6}m) + (-1,12 \times 10^{-6}m)$$

$$y_T = -3,35 \times 10^{-5}m$$

Como se puede observar el valor de deflexión en el eje es muy baja, esto nos da a entender que el eje diseñado esta correcto y que tendrá una deflexión muy baja por ende un tiempo de vida largo.

## 6.5. Análisis estático del eje de transmisión

De la figura 56 realizamos una sumatoria de momentos en A para obtener el valor de RC:

$$+ \circlearrowleft \sum M_A = 0$$

$$-F_1(0,278m) + R_b(0,3505m) - F_2(0,621m) - F_3(0,681m) = 0$$

$$-(1320,8184N)(0,278m) + (1725,612N)(0,3505m) - (1320,8184N)(0,621m) - (1320,8184N)(0,681m) + RC(0,701) = 0$$

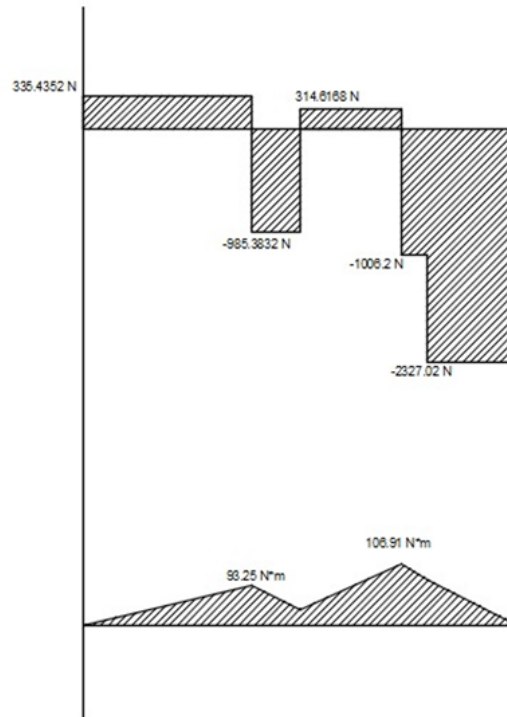
$$RC = 2114,21N$$

Por ultimo, para sacar el valor RA hacemos una sumatoria de fuerzas en el eje y:

$$+ \uparrow \sum F_y = 0$$

$$RA - F_1 + RB - F_2 - F_3 + RC = 0$$

$$RA = 122,62N$$



**Figura 58:** Diagrama de cortantes y momentos.

**Fuente:** Autores.

En la figura 58 podemos apreciar los diagramas de cortantes y de momentos, donde el momento máximo existente es de 106.91 N\*m.

## 6.6. Cálculo límite de resistencia de fatiga

Primero se obtiene el límite resistencia a la fatiga que en el caso de los aceros se determina de la siguiente manera:

$$S'_e = \begin{cases} 0,5S_{ut} & S_{ut} \leq 200\text{kpsi}(1400\text{MPa}) \\ 100\text{kpsi} & S_{ut} > 200\text{kpsi} \\ 700\text{MPa} & S_{ut} > 1400\text{MPa} \end{cases}$$

Por lo tanto, el material a usar es el AISI-4340, este tiene un  $S_{ut} = 1220 \text{ MPa}$  entonces:

$$S'_e = 0,5(1220)\text{MPa}$$

$$S'_e = 610\text{MPa}$$



Es importante también tomar a consideración los factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga para nuestro cálculo. Para esto tenemos la siguiente formula:

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e \quad (6)$$

Donde:

$k_a$  = Factor de modificación por la condición superficial

$k_b$  = Factor de modificación por el tamaño

$k_c$  = Factor de modificación por la carga

$k_d$  = Factor de modificación por la temperatura

$k_e$  = Factor de confiabilidad<sup>13</sup>

$k_f$  = Factor de modificación por efectos varios

$S'_e$  = Límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria

$S_e$  = Límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica de una parte de máquina en la geometría y condición de uso

Factor de superficie:

Acabado superficial	Factor a		Factor b
	S <sub>utr</sub> kpsi	S <sub>utr</sub> Mpa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272	-0.995

**Tabla 13:** Factor de superficie.

**Fuente:** F. P. Beer. [26]

Para el cálculo del factor de superficie se utiliza el acabado superficial de maquinado o laminado en frío ya que el eje será mecanizado en un torno.

Se obtiene:

$$k_a = a S_{ut}^b \quad (7)$$

$$k_a = (4,51)(1220 MPa^{-0,265})$$

$$k_a = 0,017$$

Factor de tamaño:

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

El diámetro donde existe la mayoría de las fuerzas aplicadas sobre el eje es el que tiene de diámetro 45 mm por lo tanto utilizaremos ese diámetro para el cálculo:

$$\begin{aligned} k_b &= 1,51d^{-0,157} \\ k_b &= 1,51(92,5)^{-0,157} \\ k_b &= 0,74 \end{aligned}$$

El factor  $k_c = 1$  ya que esta sometida a flexión,  $k_d = 1$  por lo que el material es trabajado a 20°C,  $k_e = 1$  por lo que utilizaremos un 50 % de confiabilidad. Como existe corrosión por frotamiento debido al atornillamiento de las levas al eje entonces nuestro  $k_f = 0,80$ .

$$\begin{aligned} S_e &= k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e \\ S_e &= (0,017)(0,74)(0,8)(610MPa) \\ S_e &= 6,13MPa \end{aligned}$$

Al tener la resistencia a la fatiga, se procede a calcular la concentración del esfuerzo y sensibilidad a la muesca, completando el cálculo se obtiene todos los valores necesarios para determinar el diámetro del eje necesario para la fabricación. En el Figura 59 se encuentra la gráfica de eje redondo con filetes en el hombro en flexión en la cual se debe tener presente que  $\sigma_0 = Mc/I$ , donde  $c = d/2$  e  $I = \pi d^4/64$ .

$$K_f = 1 + q \cdot (K_t - 1) \quad (8)$$

$$K_{fs} = 1 + q_{cortante} \cdot (K_{ts} - 1) \quad (9)$$

Donde:

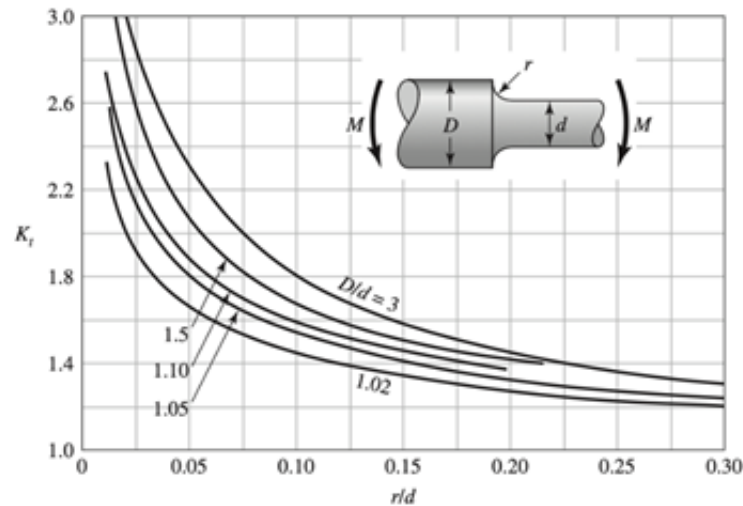
$K_f$  =Factor de concentración del esfuerzo por fatiga.

$q$  =Sensibilidad a la muesca.

$K_t$  =Factor de eje a flexión.

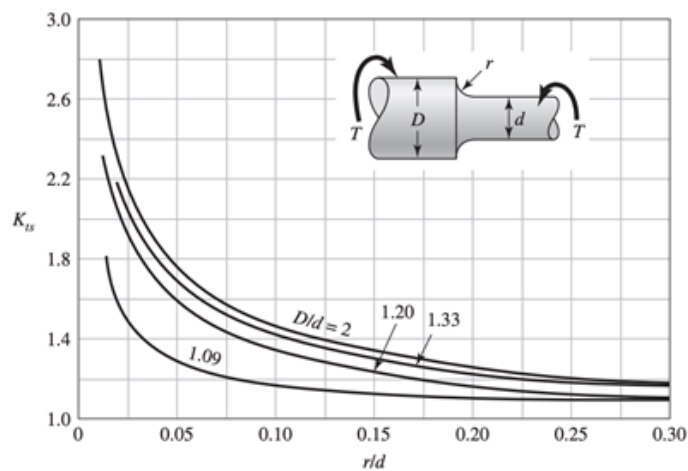
$K_{ts}$  =Factor de eje a torsión.

Se determina el factor  $K_t$  y  $K_{ts}$  utilizando la gráfica para eje en flexión Figura 59 y la gráfica para ejes en torsión Figura 60 respectivamente, teniendo como datos que  $D=92,5\text{mm}$ ,  $d=60\text{mm}$ ,  $r=6\text{mm}$ .



**Figura 59:** Gráfica para ejes en flexión.

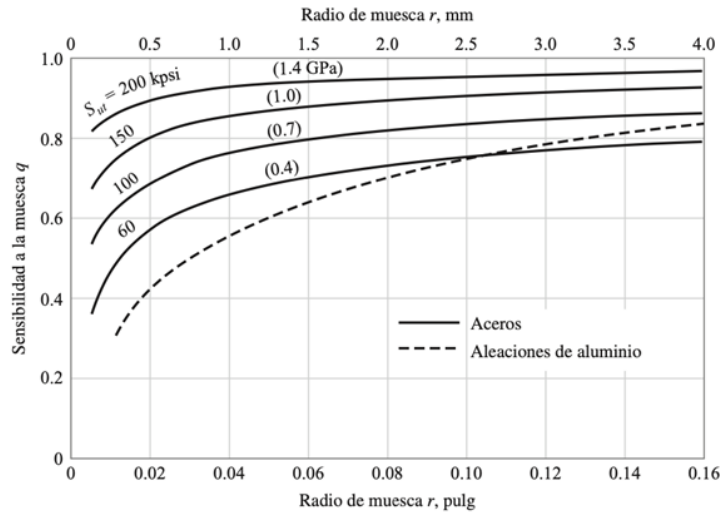
$D/d=92,5/60=1,5$ ,  $r/d=6/60=0,1$ , con estos dos valores de la Figura 59 para determinar el  $K_t$ , lo cual resulta ser 1,7.



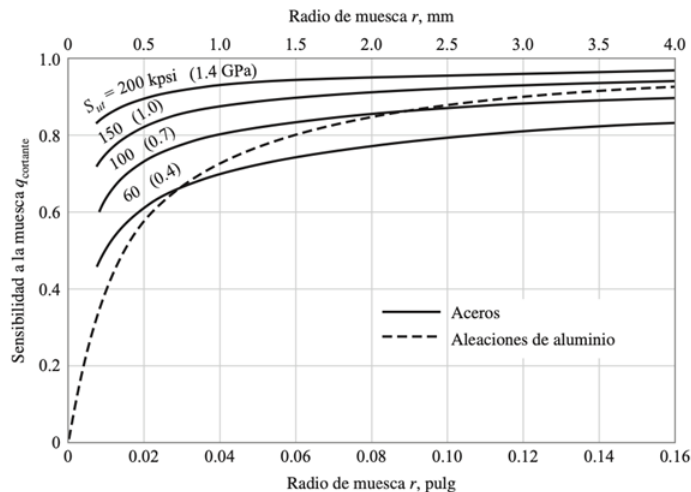
**Figura 60:** Gráfica para ejes en torsión.

De la misma manera se tiene que  $D/d=92,5/60=1,5$ ,  $r/d=6/60=0,1$ . Estos dos valores utilizan la gráfica para ejes en torsión para determinar el  $K_{ts}$ , lo cual resulta ser 1,45.

Ahora, para determinar la sensibilidad de la muesca se hace uso de las gráfica de sensibilidad a la muesca Figura 61 y la gráfica de sensibilidad a la muesca cortante Figura 62 , lo cual es el ultimo paso para poder determinar el factor de concentración del esfuerzo por fatiga. Como se tiene un  $r=3\text{mm}$  y el  $S_{ut}$  del acero AISI-4340 es de  $1220\text{ MPa}$  lo que sería  $1,22\text{ GPa}$ . Por lo tanto, para la sensibilidad a la muesca  $q$ ,  $q=0,95$  y tendría el mismo valor para el  $q_{cortante}$ .



**Figura 61:** Gráfica de sensibilidad a la muesca.



**Figura 62:** Gráfica de sensibilidad a la muesca cortante.

Ahora que se tienen todos los valores necesarios para determinar la concentración del esfuerzo

por fatiga, se procede a:

$$\begin{aligned}K_f &= 1 + q(K_t - 1) \\K_f &= 1 + 0,95(1,7 - 1) \\K_f &= 1,665\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}K_{fs} &= 1 + q_{cortante} \cdot (K_{ts} - 1) \\K_{fs} &= 1 + 0,95(1,45 - 1) \\K_{fs} &= 1,4275\end{aligned}$$

Por ultimo, para determinar el diámetro hacemos uso de las ecuaciones para esfuerzos en ejes ED-ASME Elíptica:

$$d = \left[ \frac{16n}{\pi} \left[ 4 \left( \frac{K_f \cdot M_a}{S_e} \right)^2 + 3 \left( \frac{K_{fs} \cdot T_a}{S_e} \right)^2 + 4 \left( \frac{K_f \cdot M_m}{S_e} \right)^2 + 3 \left( \frac{K_{fs} \cdot T_a}{S_e} \right)^2 \right]^{1/2} \right]^{1/3} \quad (10)$$

En el caso de un eje giratorio, el momento flexionante constante creará un esfuerzo flexionante completamente reversible.

$$\begin{aligned}M_a &= 106,91N \cdot m \\T_m &= 246,98N \cdot m \\M_m &= T_a = 0\end{aligned}$$

También, para el factor de seguridad (n) se utilizará el valor de 1,5 ya que es el valor mínimo que se utiliza para poder fabricar ejes que son sometidos a altos esfuerzos dinámicos.

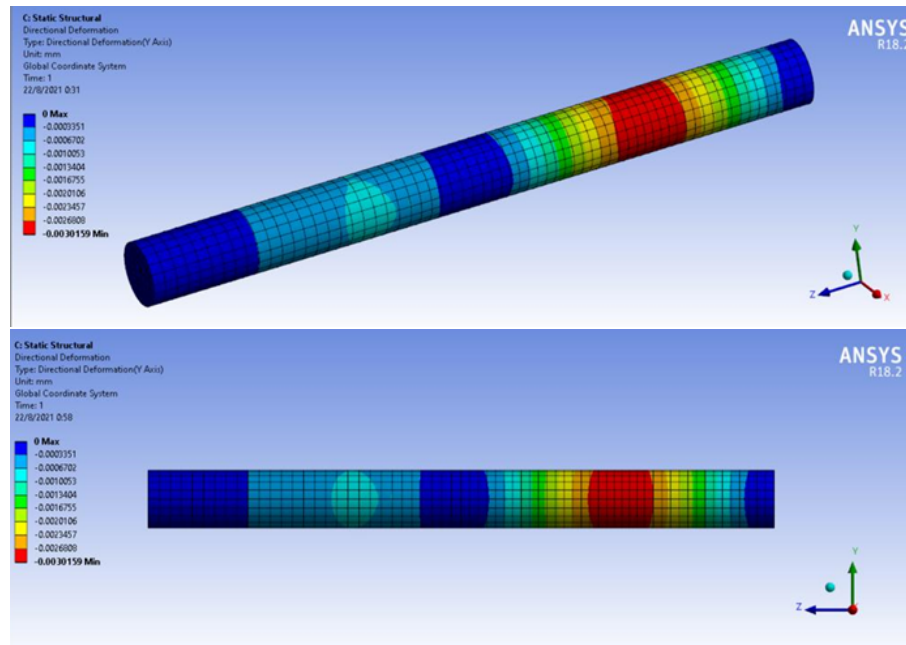
$$d = \left[ \frac{16n}{\pi} \left[ 4 \left( \frac{K_f \cdot M_a}{S_e} \right)^2 + 3 \left( \frac{K_{fs} \cdot T_a}{S_e} \right)^2 \right]^{1/2} \right]^{1/3}$$

$$d = \left[ \frac{16(1,5)}{\pi} \left[ 4 \left( \frac{1,665 \cdot 82,12N \cdot m}{6,13MPa} \right)^2 + 3 \left( \frac{1,4275 \cdot 246,98N \cdot m}{6,13MPa} \right)^2 \right]^{1/2} \right]^{1/3}$$

$$\begin{aligned}d &= 0,095 \\m &= 95mm\end{aligned}$$

### 6.6.1. Simulación eje de transmisión

Para verificar los cálculos analíticos, se hace uso del software ANSYS para determinar que la deformación existente en el eje este correcto, tomando en cuenta que es de una dimensión se utilizo elementos linea para el calculo de los esfuerzos sobre el eje. En la Figura 63 se observa el comportamiento de las fuerzas aplicadas sobre el eje. Las secciones que están de color azul indican la posición de los apoyos.

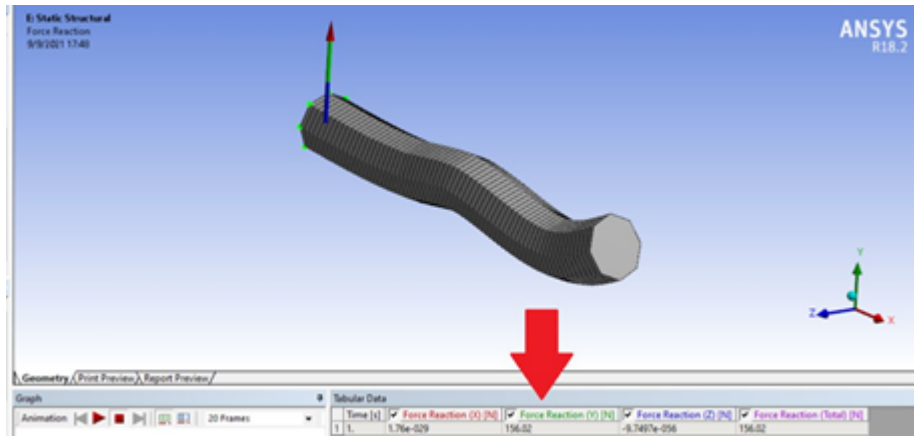


**Figura 63:** Eje de transmisión análisis ANSYS.

**Fuente:** Autores.

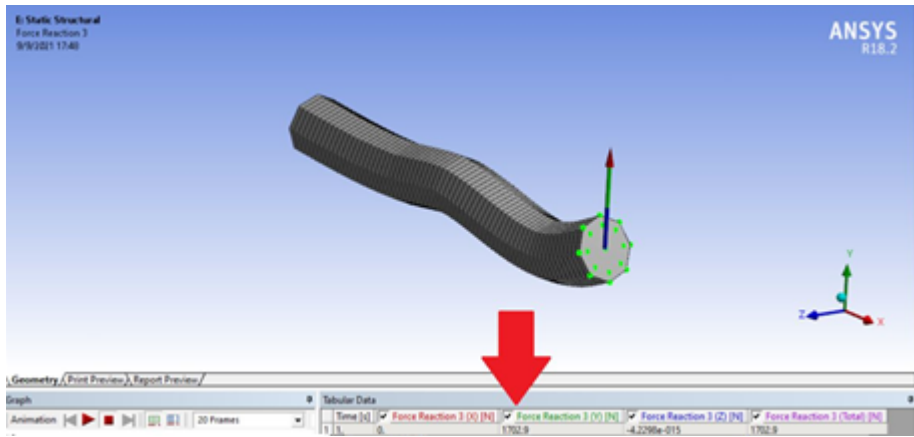
Existe en el eje una sección que resalta por su color rojo, donde indica que en ese punto existe mayor deformación dado a que en ese tramo es donde se aplican la mayor cantidad de fuerzas sobre el eje, el valor siendo de -0.003 mm, comparando ese valor con el obtenido analíticamente que es de -0.025 mm se concluye que, al encontrarse los dos resultados en un rango similar de resultados y bajos, señala que el diseño del eje es el correcto.

Se hizo uso del software ANSYS, esto para comprobar como se comportan las reacciones, momentos y deflexiones en el eje. Como se observan en la Figura 64 vemos que la reacción RA en el software es de 156,02 N. Si se compara este valor obtenido con el analítico, se observa que no existe mucha diferencia ya que en el analítico se obtuvo un valor de 122,62 N. Es importante mencionar que en el cálculo analítico no se considero la masa del eje por lo cual existe una diferencia mínima en los resultados realizados en el software.



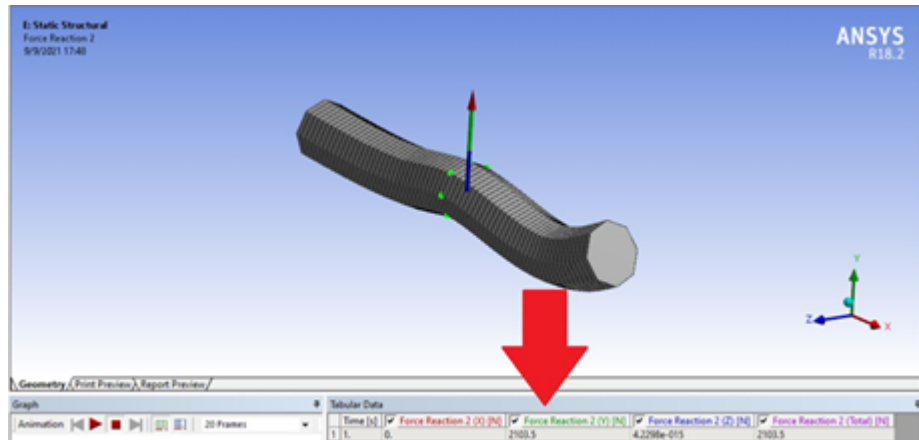
**Figura 64:** Valor de la reacción RA simulado.

**Fuente:** Autores.



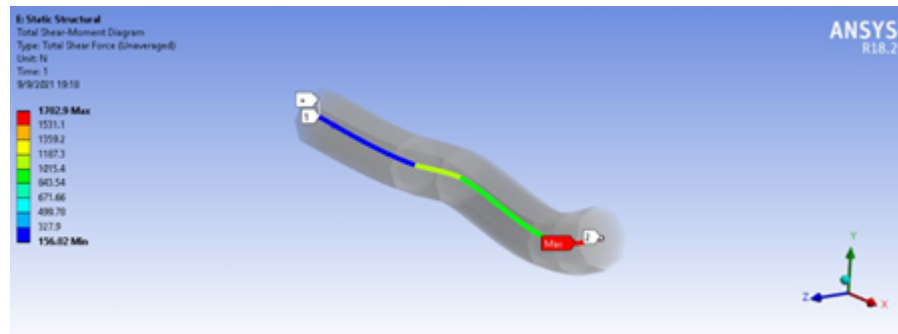
**Figura 65:** Valor de la reacción RB simulado.

**Fuente:** Autores.



**Figura 66:** Valor de la reacción RC simulado.

**Fuente:** Autores.

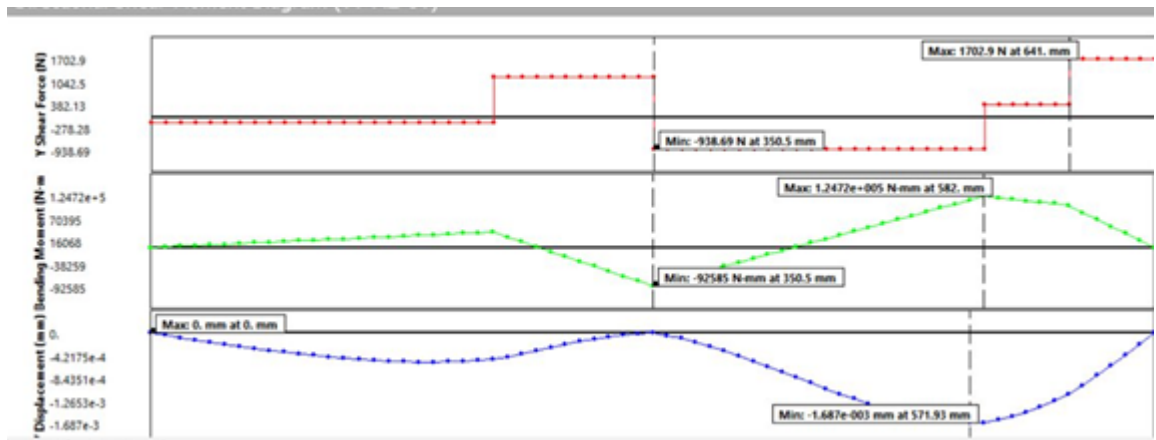


**Figura 67:** Valor de reacciones existentes sobre todo el eje.

**Fuente:** Autores.

En el cálculo analítico como resultado se obtuvo que el momento máximo era de 82,12 N-m lo cual resulta ser 92,58 N-m, que nuevamente debido a que no se considero en el cálculo analítico la masa del eje, es que los valores sean un tanto diferentes.





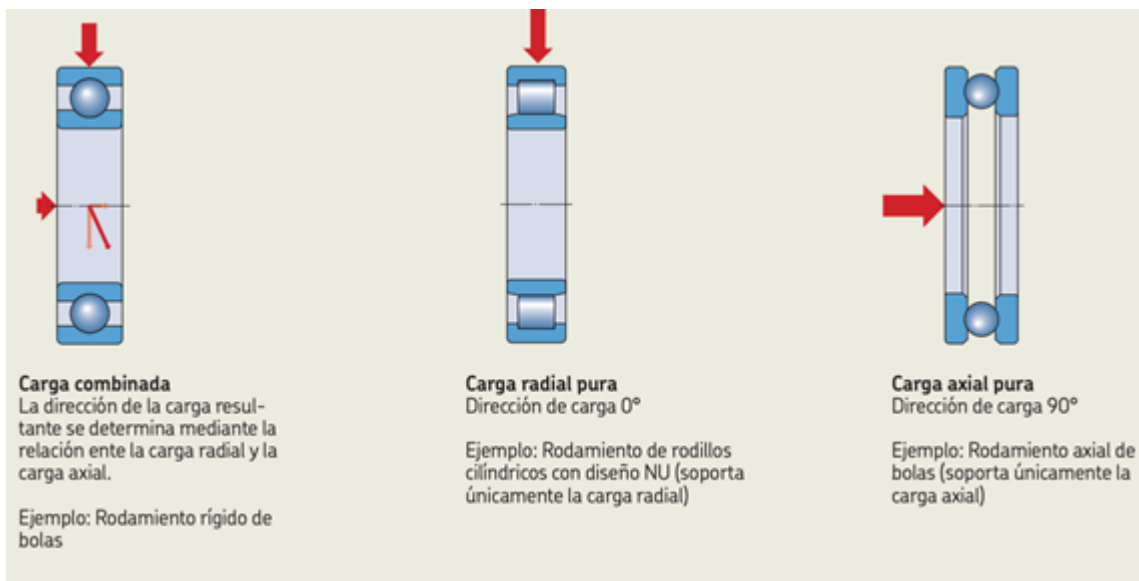
**Figura 68:** Diagramas de cortante-momento-deflexión.

**Fuente:** Autores.

Con las simulaciones realizadas en el ANSYS en un ambiente mas realístico, se puede decir con certeza que el eje diseñado para realizar el trabajo de movimiento de las levas está dentro de los parámetros requeridos, cumpliendo con el objetivo de simulación de la maquina para comprobar su funcionalidad.

### 6.7. Selección de rodamientos

Para la selección de los rodamientos se hará uso del catálogo SKF [28], al examinar la Figura 69 se observa la recomendación que, para cargas radiales, la mejor opción es los rodamientos de rodillos cilíndricos con diseño NU.



**Figura 69:** Dirección de la carga.

**Fuente:** Grupo SKF. [28]

Por lo tanto, se hará uso la tabla de productos del Anexo 9, que facilita SKF. El diámetro del eje donde van a ser colocados los rodamientos es de 45mm y que las cargas radiales son de 1.3 kN, entonces:

Del catalogo de SKF se identifica que la selección ideal sería la opción NU 1009 ECP ya que cumple con el diámetro interior necesario y con respecto a la capacidad de carga que tiene el rodamiento es suficiente pues solo se aplicaran 1.3 kN.

Una vez que se ha establecido el rodamiento a utilizar, como siguiente paso se calcula el tiempo de vida que tendrá el rodamiento.

La vida nominal básica según la norma ISO 281 se da por:

$$L_{10} = \left( \frac{C}{P} \right)^p \quad (11)$$

Y la nominal expresada en horas se da por:

$$L_{10h} = \left( \frac{10^6}{60n} \right) L_{10} \quad (12)$$

Donde:

$L_{10}$  = vida nominal básica (con una confiabilidad del 90 %) [millones de revoluciones]

$L_{10h}$  = vida nominal básica (con una confiabilidad del 90 %) [horas de funcionamiento]

$C$  = capacidad de carga dinámica básica [kN]

$P$  = carga dinámica equivalente del rodamiento [kN]

$n$  = velocidad de giro [r. p. m.]

$p$  = exponente de la ecuación de la vida (3 para los rodamientos de bolas ) (10/3 para los rodamientos de rodillos)

Se inicia el análisis calculando la vida normal básica:

$$L_{10} = \left( \frac{84,2kN}{13,2kN} \right)^{10/3}$$

$$L_{10} = 478,38 \text{ millones de revoluciones}$$

Al obtener la vida nominal básica con 90 % de confiabilidad podemos sacar la misma, pero en horas:

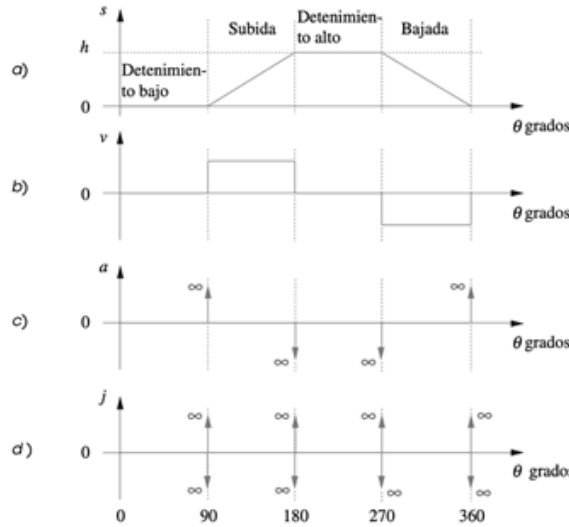
$$L_{10h} = \left( \frac{10^6}{60(4300rpm)} \right) 478,38$$

$$L_{10h} = 3332,7 \text{ horas}$$

La vida nominal básica en horas indica las horas de funcionamiento que tiene el rodamiento de rodillos cilíndricos. Como la maquina esta prevista que trabaje los 335 días del año durante 8 horas cada día lo que significa que la maquina trabajaría 2680 horas. Por lo tanto, los rodillos deben ser cambiados cada 5 meses para mantener en buen estado el funcionamiento de la maquina.

## 6.8. Cálculo de levas

Para diseñar una leva es crucial cumplir con la ley fundamental de diseño de levas, lo cual nos indica que en cualquier leva el movimiento no se puede definir por una sola función matemática, deberán ser expresadas por varias funciones donde tienen que ser de tercer grado. Esto para evitar que en las funciones de desplazamiento, velocidad y aceleración sean discontinuas. En la figura 70 se puede observar el mal diseño de una leva al utilizar funciones que al derivar existan discontinuidades.



**Figura 70:** Análisis leva mal diseñada

**Fuente:** J. E. Shigley. [20]

Dicho esto, existen varias maneras de obtener las funciones de comportamiento de las levas, se hará uso de las funciones polinomiales ya que son las más versátiles y pueden adaptarse a muchas especificaciones de diseño. La forma general de una función polinomial es:

$$S = C_0 + C_1x + C_2x^2 + C_3x^3 + C_4x^4 + C_5x^5 + C_6x^6 + \dots\dots\dots C_nx^n \quad (13)$$

Donde:

s = desplazamiento del seguidor.

x = es la variable independiente en este caso es  $\frac{\theta}{\beta}$

$C_n$  = incógnitas a determinar en el desarrollo de la ecuación.

El grado del polinomio depende de las CF (condiciones de frontera) que se determinaran para el diseño de la leva. Es decir  $n = k - 1$ .

### 6.8.1. Leva 1

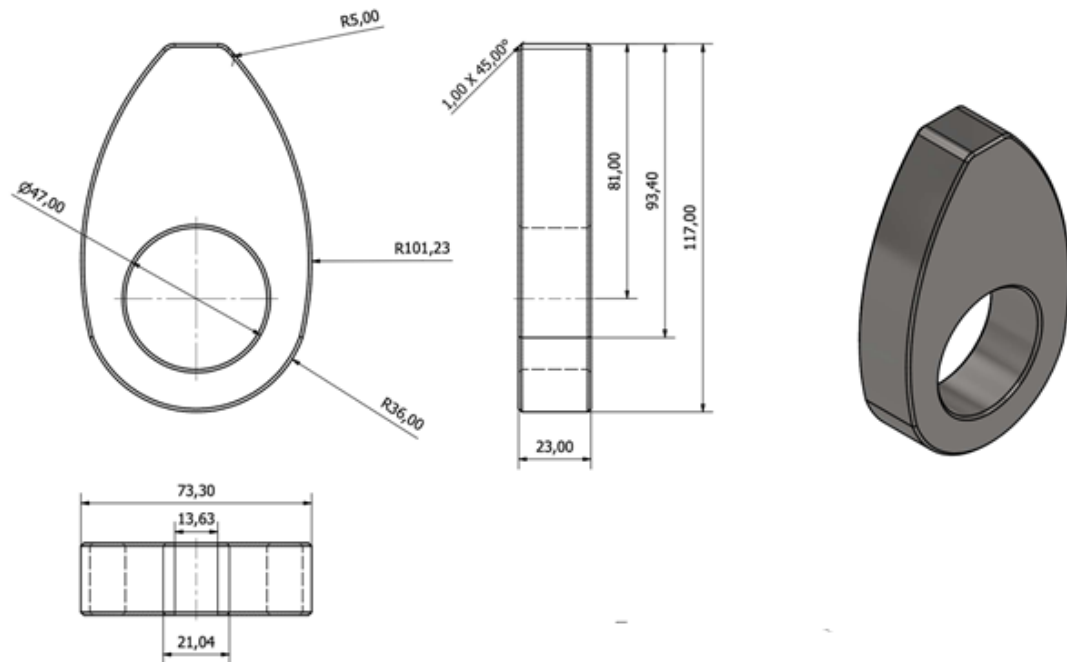
Para entender bien el comportamiento de la leva que sera calculada, tomamos en consideración el comportamiento de la leva existente en la máquina Peter Koch. Esto para poder determinar los ángulos y desplazamientos necesarios para que la máquina que será diseñada haga los movimientos requeridos para posteriormente formar la cadena. El primer paso para determinar en la leva ya diseñada son las CEP (posiciones extremas críticas):

**Detenimiento** en desplazamiento cero durante  $140^{\circ}$  (detenimiento bajo)

**Subida** 45mm en  $102.5^{\circ}$

**Detenimiento** en 45mm durante  $15^{\circ}$  (detenimiento alto)

**Bajada** 45mm en  $102.5^{\circ}$



**Figura 71:** Leva 1

**Fuente:** Autores.

Se determina las condiciones de frontera, como tenemos de requisito tener continuidad hasta la aceleración, esto hace que se tenga como mínimo seis condiciones de frontera para el segmento de subida y seis mas para la bajada, por lo tanto se obtiene un polinomio de grado 5.

- Subida

Cuando  $\theta = 0 \therefore s = 0 ; v = 0 ; a = 0$   
 Cuando  $\theta = \beta \therefore s = h ; v = 0 ; a = 0$

■ Bajada

Cuando  $\theta = 0 \therefore s = h ; v = 0 ; a = 0$   
 Cuando  $\theta = \beta \therefore s = 0 ; v = 0 ; a = 0$

Se reemplaza las condiciones de frontera en las ecuaciones polinomiales, las cuales son:

$$s = C_o + C_1\left(\frac{\theta}{\beta}\right) + C_2\left(\frac{\theta}{\beta}\right)^2 + C_3\left(\frac{\theta}{\beta}\right)^3 + C_4\left(\frac{\theta}{\beta}\right)^4 + C_5\left(\frac{\theta}{\beta}\right)^5 \quad (14)$$

$$v = \frac{1}{\beta} \left[ C_1 + 2C_2\left(\frac{\theta}{\beta}\right) + 3C_3\left(\frac{\theta}{\beta}\right)^2 + 4C_4\left(\frac{\theta}{\beta}\right)^3 + 5C_5\left(\frac{\theta}{\beta}\right)^4 \right] \quad (15)$$

$$a = \frac{1}{\beta^2} \left[ 2C_2 + 6C_3\left(\frac{\theta}{\beta}\right) + 12C_4\left(\frac{\theta}{\beta}\right)^2 + 20C_5\left(\frac{\theta}{\beta}\right)^3 \right] \quad (16)$$

Sustituir  $\theta = 0, s = 0$  en la ecuación 14.

$$\begin{aligned} 0 &= C_o + C_1\left(\frac{0}{\beta}\right) + C_2\left(\frac{0}{\beta}\right)^2 + C_3\left(\frac{0}{\beta}\right)^3 + C_4\left(\frac{0}{\beta}\right)^4 + C_5\left(\frac{0}{\beta}\right)^5 \\ 0 &= C_o + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 \\ C_o &= 0 \end{aligned}$$

Sustituir  $\theta = 0, v = 0$  en la ecuación 15;

$$\begin{aligned} 0 &= \frac{1}{\beta} \left[ C_1 + 2C_2\left(\frac{0}{\beta}\right) + 3C_3\left(\frac{0}{\beta}\right)^2 + 4C_4\left(\frac{0}{\beta}\right)^3 + 5C_5\left(\frac{0}{\beta}\right)^4 \right] \\ 0 &= C_1 + 0 + 0 + 0 + 0 \\ C_1 &= 0 \end{aligned}$$

Sustituir  $\theta = 0, a = 0$  en la ecuación 16;

$$\begin{aligned} 0 &= \frac{1}{\beta^2} \left[ 2C_2 + 6C_3\left(\frac{0}{\beta}\right) + 12C_4\left(\frac{0}{\beta}\right)^2 + 20C_5\left(\frac{0}{\beta}\right)^3 \right] \\ C_2 &= 0 \end{aligned}$$

Sustituir  $\theta = \beta, s = h$  en la ecuación 14;

$$\begin{aligned} h &= C_o + C_1\left(\frac{\beta}{\beta}\right) + C_2\left(\frac{\beta}{\beta}\right)^2 + C_3\left(\frac{\beta}{\beta}\right)^3 + C_4\left(\frac{\beta}{\beta}\right)^4 + C_5\left(\frac{\beta}{\beta}\right)^5 \\ h &= 0 + 0 + 0 + C_3\left(\frac{\beta}{\beta}\right)^3 + C_4\left(\frac{\beta}{\beta}\right)^4 + C_5\left(\frac{\beta}{\beta}\right)^5 \end{aligned}$$

$$h = C_3 + C_4 + C_5$$

Sustituir  $\theta = \beta$ ,  $v = 0$  en la ecuación 15;

$$0 = \frac{1}{\beta} \left[ C_1 + 2C_2\left(\frac{\beta}{\beta}\right) + 3C_3\left(\frac{\beta}{\beta}\right)^2 + 4C_4\left(\frac{\beta}{\beta}\right)^3 + 5C_5\left(\frac{\beta}{\beta}\right)^4 \right]$$

$$0 = \frac{1}{\beta} [3C_3 + 4C_4 + 5C_5]$$

Sustituir  $\theta = \beta$  y  $a = 0$  en la ecuación 16;

$$0 = \frac{1}{\beta^2} \left[ 2C_2 + 6C_3\left(\frac{\beta}{\beta}\right) + 12C_4\left(\frac{\beta}{\beta}\right)^2 + 20C_5\left(\frac{\beta}{\beta}\right)^3 \right]$$

$$0 = \frac{1}{\beta^2} [6C_3 + 12C_4 + 20C_5]$$

En este se tienen 3 ecuaciones con 3 incógnitas por lo tanto lo tanto se procede a resolver mediante un sistema de ecuaciones

$$\begin{aligned} h = C_3 + C_4 + C_5 & \longrightarrow C_3 = 10h \\ 0 = 3C_3 + 4C_4 + 5C_5 & \longrightarrow C_4 = -15h \\ 0 = 6C_3 + 12C_4 + 20C_5 & \longrightarrow C_5 = 6h \end{aligned}$$

Al determinar todas las incógnitas, se reemplaza en la ecuación 14 para obtener una nueva ecuación;

$$s = h + \left[ 10\left(\frac{\theta}{\beta}\right)^3 - 15\left(\frac{\theta}{\beta}\right)^4 + 6\left(\frac{\theta}{\beta}\right)^5 \right] \quad (17)$$

Con la ecuación 5 se obtiene las ecuaciones de velocidad, aceleración y golpeo derivando la ecuación de desplazamiento que se obtuvo.

$$v = \frac{30h}{\beta} \left[ \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^2 - 2\left(\frac{\theta}{\beta}\right)^3 + \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^4 \right] \quad (18)$$

$$a = \frac{30h}{\beta^2} \left[ 2\left(\frac{\theta}{\beta}\right) - 6\left(\frac{\theta}{\beta}\right)^2 + 4\left(\frac{\theta}{\beta}\right)^3 \right] \quad (19)$$

$$j = \frac{30h}{\beta^3} \left[ 2 - 12\left(\frac{\theta}{\beta}\right) + 12\left(\frac{\theta}{\beta}\right)^2 \right] \quad (20)$$

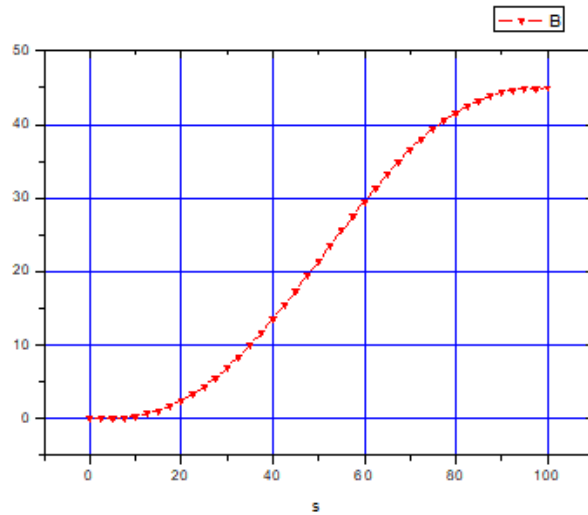
Por último, con las ecuaciones 6, 7 y 8, se puede obtener las gráficas de comportamiento del seguidor, los datos que se pueden apreciar en la tabla 6.8.1 se ingresaron en una hoja de Excel y se obtuvieron las siguientes gráficas:

$\theta$	$\frac{\theta}{\beta}$	s	v	a	j
0	0	0	0	0	0.00250722
2.5	0.02439024	0.00629267	0.00745752	0.00581687	0.00214926
5	0.04878049	0.04848631	0.02835722	0.0107612	0.00180919
7.5	0.07317073	0.15750633	0.06057371	0.01487775	0.00148703
10	0.09756098	0.35910447	0.10209346	0.01821127	0.00118276
12.5	0.12195122	0.6741385	0.15101479	0.02080648	0.00089639
15	0.14634146	1.11885181	0.20554791	0.02270815	0.00062792
17.5	0.17073171	1.70515314	0.26401487	0.02396101	0.00037735
20	0.19512195	2.44089619	0.3248496	0.02460982	0.00014468
22.5	0.2195122	3.3301593	0.38659787	0.02469931	-7.01E-05
25	0.24390244	4.37352507	0.44791733	0.02427423	-0.000267
27.5	0.26829268	5.56836008	0.50757749	0.02337933	-0.000446
30	0.29268293	6.90909449	0.56445973	0.02205935	-0.000607
32.5	0.31707317	8.38750172	0.61755728	0.02035903	-0.0007502
35	0.34146341	9.99297811	0.66597523	0.01832313	-0.0008755
37.5	0.36585366	11.7128226	0.70893055	0.01599638	-0.0009829
40	0.3902439	13.5325162	0.74575206	0.01342354	-0.0010724
42.5	0.41463415	15.4360021	0.77588044	0.01064934	-0.001144
45	0.43902439	17.4059648	0.79886825	0.00771853	-0.0011977
47.5	0.46341463	19.4241101	0.81437989	0.00467587	-0.0012335
50	0.48780488	21.4714446	0.82219164	0.00156608	-0.0012514
52.5	0.51219512	23.5285554	0.82219164	-0.0015661	-0.0012514
55	0.53658537	25.5758899	0.81437989	-0.0046759	-0.0012335
57.5	0.56097561	27.5940352	0.79886825	-0.0077185	-0.0011977
60	0.58536585	29.5639979	0.77588044	-0.0106493	-0.001144
62.5	0.6097561	31.4674838	0.74575206	-0.0134235	-0.0010724
65	0.63414634	33.2871774	0.70893055	-0.0159964	-0.0009829
67.5	0.65853659	35.0070219	0.66597523	-0.0183231	-0.0008755
70	0.68292683	36.6124983	0.61755728	-0.020359	-0.0007502
72.5	0.70731707	38.0909055	0.56445973	-0.0220593	-0.000607
75	0.73170732	39.4316399	0.50757749	-0.0233793	-0.000446
77.5	0.75609756	40.6264749	0.44791733	-0.0242742	-0.000267
80	0.7804878	41.6698407	0.38659787	-0.0246993	-7.01E-05
82.5	0.80487805	42.5591038	0.3248496	-0.0246098	0.00014468
85	0.82926829	43.2948469	0.26401487	-0.023961	0.00037735
87.5	0.85365854	43.8811482	0.20554791	-0.0227082	0.00062792
90	0.87804878	44.3258615	0.15101479	-0.0208065	0.00089639
92.5	0.90243902	44.6408955	0.10209346	-0.0182113	0.00118276
95	0.92682927	44.8424937	0.06057371	-0.0148778	0.00148703
97.5	0.95121951	44.9515137	0.02835722	-0.0107612	0.00180919
100	0.97560976	44.9937073	0.00745752	-0.0058169	0.00214926
102.5	1	45	0	0	0.00250722

**Tabla** 14: Seguidor en el perfil de Leva Subida

**Fuente:** Autores.

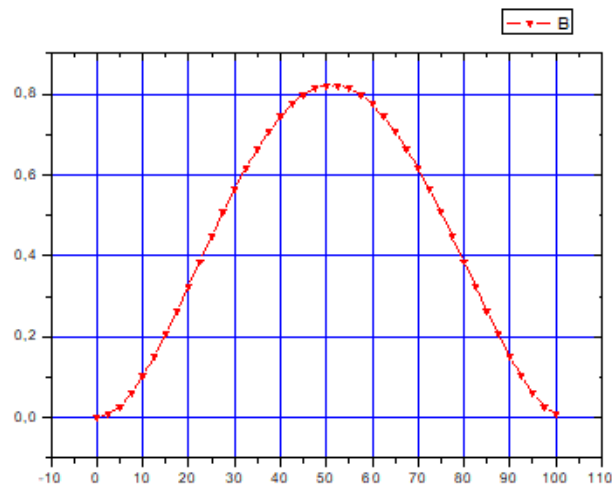
- Gráfica de subida en el desplazamiento De la tabla 6.8.1 los valores dados en la columna “s” permiten determinar los valores de desplazamiento que realiza la leva, como se puede observar en la Figura 72 el desplazamiento máximo que realiza la leva es de 45mm.



**Figura 72:** Desplazamiento seguidor subida

**Fuente:** Autores.

- Gráfica subida en la velocidad De la misma forma con la Tabla 6.8.1 los datos de la columna “v” se determina que la velocidad máxima en la que realiza la leva al momento de subir es de 0,81 mm/º, como se aprecia en la Figura 73.



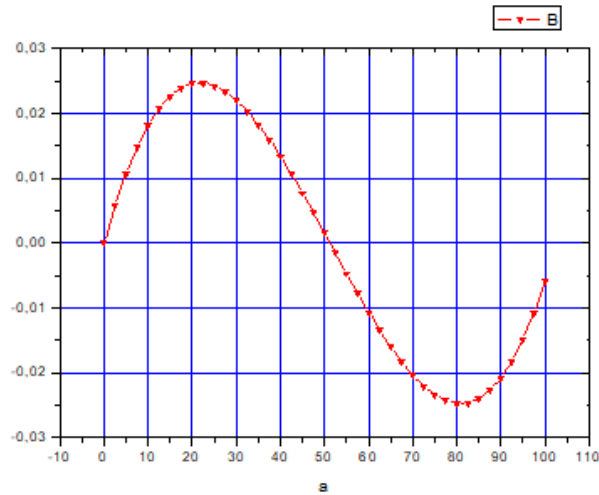
**Figura 73:** Velocidad seguidor subida

**Fuente:** Autores.

- Gráfica subida en la aceleración Con los datos de la columna “a” en la Tabla 6.8.1 se determina que la aceleración máxima que realiza la leva al momento de subir es de



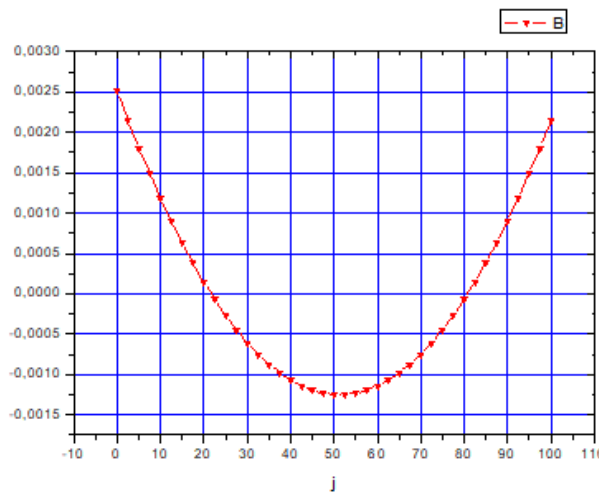
0,024  $mm/s^2$ , en la Figura 74 verificamos que esta correctamente diseñada la leva ya que en los extremos del intervalo no existen discontinuidades.



**Figura 74:** Aceleración seguidor subida  
**Fuente:** Autores.

- Gráfica subida del golpeteo

De la columna “j” Tabla 6.8.1 el golpeteo máximo que existe en la leva al momento de subir es de 0,0025  $mm/s^3$  se confirma que esta correctamente diseñada la leva ya que en los extremos del intervalo no existen discontinuidades.



**Figura 75:** Golpeteo seguidor subida  
**Fuente:** Autores.

Para obtener las gráficas de bajada se realiza el siguiente procedimiento:

$$S_b = h - S_s$$

$S_b$ = Desplazamiento de bajada.

$S_s$ = Desplazamiento de subida.

$h$ = Longitud de desplazamiento.

$$S_b = h - h \left[ 10 \left( \frac{\theta}{\beta} \right)^3 - 15 \left( \frac{\theta}{\beta} \right)^4 + 6 \left( \frac{\theta}{\beta} \right)^5 \right]$$

$$S_b = h \left[ 1 - 10 \left( \frac{\theta}{\beta} \right)^3 + 15 \left( \frac{\theta}{\beta} \right)^4 - 6 \left( \frac{\theta}{\beta} \right)^5 \right] \quad (21)$$

$$v = -\frac{30h}{\beta} \left[ \left( \frac{\theta}{\beta} \right)^2 - 2 \left( \frac{\theta}{\beta} \right)^3 + \left( \frac{\theta}{\beta} \right)^4 \right] \quad (22)$$

$$a = -\frac{30h}{\beta^2} \left[ 2 \left( \frac{\theta}{\beta} \right) - 6 \left( \frac{\theta}{\beta} \right)^2 + 4 \left( \frac{\theta}{\beta} \right)^3 \right] \quad (23)$$

$$j = -\frac{30h}{\beta^3} \left[ 1 - 12 \left( \frac{\theta}{\beta} \right) + 12 \left( \frac{\theta}{\beta} \right)^2 \right] \quad (24)$$

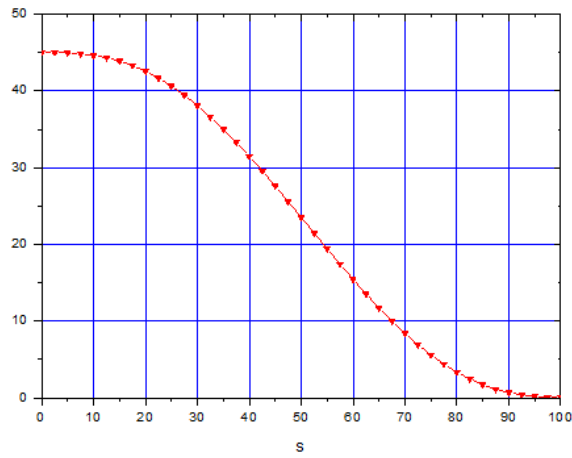
Con estas nuevas ecuaciones podemos obtener el comportamiento de seguidor en la bajada ingresando los datos que se pueden ver en la tabla 6.8.1 .

$\theta$	$\frac{\theta}{\beta}$	s	v	a	j
0	0	45	0	0	-0.0012536
2.5	0.02439024	44.9937073	-0.0074575	-0.0058169	-0.0008956
5	0.04878049	44.9515137	-0.0283572	-0.0107612	-0.0005556
7.5	0.07317073	44.8424937	-0.0605737	-0.0148778	-0.0002334
10	0.09756098	44.6408955	-0.1020935	-0.0182113	7.08E-05
12.5	0.12195122	44.3258615	-0.1510148	-0.0208065	0.00035722
15	0.14634146	43.8811482	-0.2055479	-0.0227082	0.00062569
17.5	0.17073171	43.2948469	-0.2640149	-0.023961	0.00087626
20	0.19512195	42.5591038	-0.3248496	-0.0246098	0.00110893
22.5	0.2195122	41.6698407	-0.3865979	-0.0246993	0.00132371
25	0.24390244	40.6264749	-0.4479173	-0.0242742	0.00152059
27.5	0.26829268	39.4316399	-0.5075775	-0.0233793	0.00169957
30	0.29268293	38.0909055	-0.5644597	-0.0220593	0.00186065
32.5	0.31707317	36.6124983	-0.6175573	-0.020359	0.00200384
35	0.34146341	35.0070219	-0.6659752	-0.0183231	0.00212912
37.5	0.36585366	33.2871774	-0.7089305	-0.0159964	0.00223651
40	0.3902439	31.4674838	-0.7457521	-0.0134235	0.002326
42.5	0.41463415	29.5639979	-0.7758804	-0.0106493	0.00239759
45	0.43902439	27.5940352	-0.7988682	-0.0077185	0.00245129
47.5	0.46341463	25.5758899	-0.8143799	-0.0046759	0.00248708
50	0.48780488	23.5285554	-0.8221916	-0.0015661	0.00250498
52.5	0.51219512	21.4714446	-0.8221916	0.00156608	0.00250498
55	0.53658537	19.4241101	-0.8143799	0.00467587	0.00248708
57.5	0.56097561	17.4059648	-0.7988682	0.00771853	0.00245129
60	0.58536585	15.4360021	-0.7758804	0.01064934	0.00239759
62.5	0.6097561	13.5325162	-0.7457521	0.01342354	0.002326
65	0.63414634	11.7128226	-0.7089305	0.01599638	0.00223651
67.5	0.65853659	9.99297811	-0.6659752	0.01832313	0.00212912
70	0.68292683	8.38750172	-0.6175573	0.02035903	0.00200384
72.5	0.70731707	6.90909449	-0.5644597	0.02205935	0.00186065
75	0.73170732	5.56836008	-0.5075775	0.02337933	0.00169957
77.5	0.75609756	4.37352507	-0.4479173	0.02427423	0.00152059
80	0.7804878	3.3301593	-0.3865979	0.02469931	0.00132371
82.5	0.80487805	2.44089619	-0.3248496	0.02460982	0.00110893
85	0.82926829	1.70515314	-0.2640149	0.02396101	0.00087626
87.5	0.85365854	1.11885181	-0.2055479	0.02270815	0.00062569
90	0.87804878	0.6741385	-0.1510148	0.02080648	0.00035722
92.5	0.90243902	0.35910447	-0.1020935	0.01821127	7.08E-05
95	0.92682927	0.15750633	-0.0605737	0.01487775	-0.0002334
97.5	0.95121951	0.04848631	-0.0283572	0.0107612	-0.0005556
100	0.97560976	0.00629267	-0.0074575	0.00581687	-0.0008956
102.5	1	0	0	0	-0.0012536

**Tabla 15:** Seguidor en el perfil de Leva Bajada

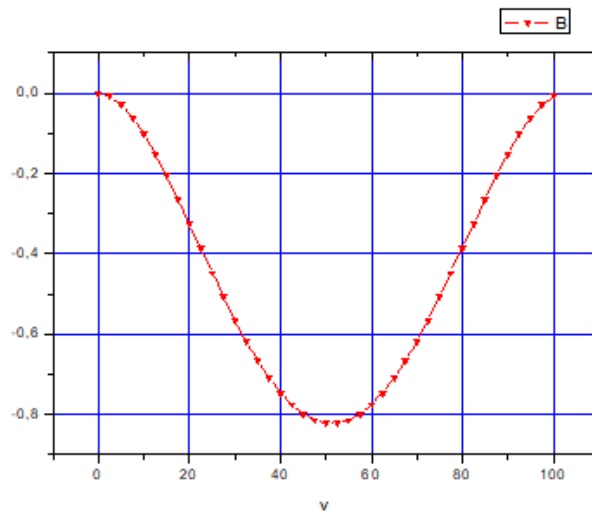
**Fuente:** Autores.

- Gráfica de bajada en el desplazamiento



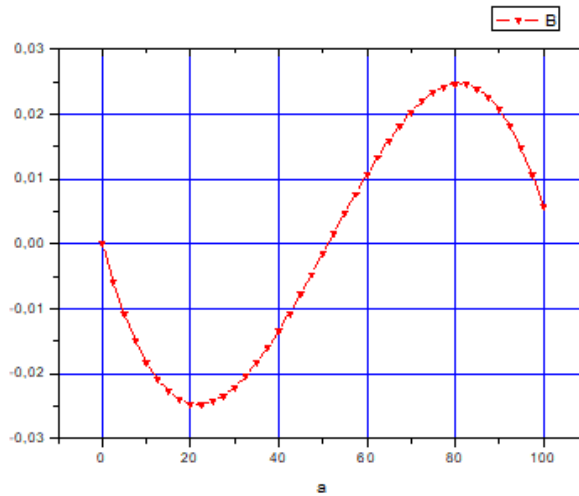
**Figura 76:** Desplazamiento seguidor bajada  
**Fuente:** Autores.

- Gráfica de bajada velocidad



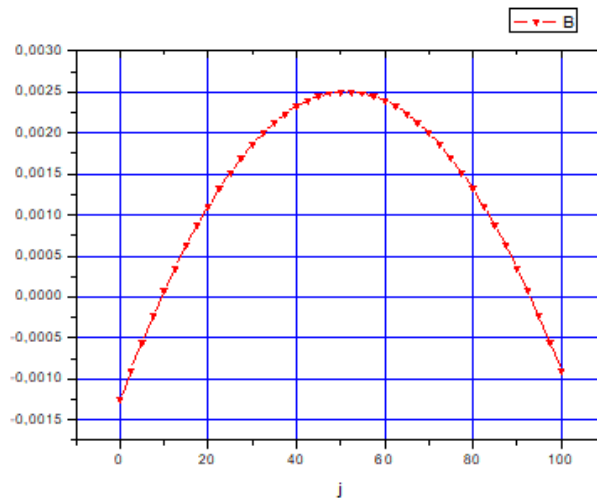
**Figura 77:** Velocidad seguidor bajada  
**Fuente:** Autores.

- Gráfica de bajada aceleración



**Figura 78:** Aceleración seguidor bajada  
**Fuente:** Autores.

- Gráfica de bajada golpeteo

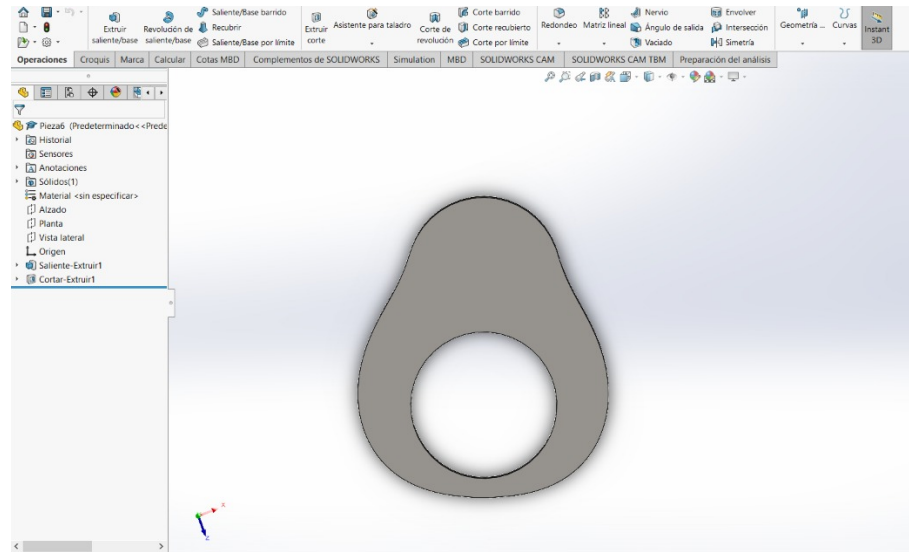


**Figura 79:** Golpeteo seguidor bajada  
**Fuente:** Autores.

Con respecto a las gráficas de las levas, se observa el correcto diseño, ya que no existen infinitos en los intervalos de desplazamiento, velocidad, aceleración y golpeteo. Si se realiza una comparación de las gráficas tanto de ascenso como de bajada con la imagen 70 se analiza y confirma que la leva está correctamente diseñada utilizando el método polinomial 4-5-6. Este método se utilizó para todas las levas diseñadas en la máquina.

Se ha comprobado por método analítico que la leva funcionará correctamente ya que las

curvas de comportamiento tanto de desplazamiento, velocidad, aceleración y golpeteo muestran ser eficientes con las condiciones de frontera impuestas para el diseño de la leva. Por lo tanto, para conocer la forma que tendrán las levas, se utiliza un software que con los parámetros ya obtenidos del método analítico muestra el diseño de la leva requerida. La Figura 80 muestra la leva que se obtuvo ingresando los parámetros y datos pertinentes al comportamiento de la leva. Este proceso se realizó para todas las levas en la máquina.



**Figura 80:** Leva dimensionada en SolidWorks

**Fuente:** Autores.

## 6.9. Cálculo engranaje

Se debe considerar que la calibración de la máquina se lo hace manera manual y que la máquina debe tener un incremento en torque, esto para incrementar la carga pesada que debe cumplir la máquina para realizar el tejido de la cadena gruesa. Por lo tanto, para esto se tiene que sea una relación 2:1.

Datos de engranaje:

- Diámetro primitivo: 160mm
- Número de dientes: 80

Datos del piñón:

- Diámetro primitivo: 80mm
- Número de dientes: 40

Con los datos del engranaje y del piñón, se comienza calculando la razón del engranaje con la Ecuación 25:

$$m_G = \frac{N_g}{N_p} \quad (25)$$

Donde: Datos del piñón:

- Ng: Número de dientes del engranaje
- Np: Número de dientes del piñón

$$m_G = \frac{80}{40} = 2$$

El valor obtenido permite conocer la relación de reducción que se dará con los engranajes. Ahora se procede a determinar el paso diametral, como en este caso se está trabajando en unidades del SI se utilizará la Ecuación 26 para determinar el modulo, luego se tendrá que convertir a pulgadas haciendo uso de la Tabla 16.

$$m = \frac{d}{N} \quad (26)$$

Donde:

- d: diámetro de paso
- N: número de dientes

$$m = \frac{160mm}{80} = 2mm$$
$$m = \frac{160mm}{80} = 2mm$$

Módulo métrico (mm)	Equivalente Pd ( $in^{-1}$ )
0.3	84.67
0.4	63.50
0.5	50.80
0.8	31.75
1	25.40
1.25	20.32
1.5	16.93
2	12.70
3	8.47
4	6.35
5	5.08
6	4.23
8	3.18
10	2.54
12	2.12
16	1.59
20	1.27
25	1.02

**Tabla 16:** Módulos métricos estándares.

**Fuente:** Robert L. Norton.[29]

Como se obtuvo un modulo de 2 mm, con la Tabla 16 se lograría transformar a un paso diametral de  $12,7 in^{-1}$ . Con el uso de la Ecuación 27 podremos convertir el resultado a un valor estándar americano:

$$m = \frac{25,4}{p_d} \quad (27)$$

Por lo tanto, tenemos que:

$$m = \frac{25,4}{12,7in^{-1}} = 2in$$

Con el valor obtenido de 2in se da uso a la Tabla ?? para determinar las escenificaciones AGMA del engranaje.

Para determinar los diámetros y radios de paso, se debe primero calcular el paso circular (pc) que se obtiene utilizando la Ecuación 28 y el paso base (pb) con la Ecuación 28, el ángulo de presión es de  $20^0$  como se muestra en la Tabla ??.

$$p_C = \frac{\pi}{p_d} = \frac{\pi}{2in} = 1,57in \quad (28)$$

$$p_b = p_c \cdot \cos(\varnothing) = 1,57 \cdot \cos(20) = 1,47in \quad (29)$$



Parámetro	Paso grueso ( $p_d < 20$ )	Paso fino ( $p_d \geq 20$ )
Ángulo de presión $\phi$	20° o 25°	20°
Adéndum $a$	1.000 / $p_d$	1.000 / $p_d$
Dedéndum $b$	1.250 / $p_d$	1.250 / $p_d$
Profundidad de trabajo	2.000 / $p_d$	2.000 / $p_d$
Profundidad total	2.250 / $p_d$	2.200 / $p_d$ + 0.002 in
Espesor circular del diente	1.571 / $p_d$	1.571 / $p_d$
Radio de filete: cremallera básica	0.300 / $p_d$	no estandarizado
Holgura básica mínima	0.250 / $p_d$	0.200 / $p_d$ + 0.002 in
Ancho mínimo del borde superior	0.250 / $p_d$	no estandarizado
Holgura (dientes esmerilados o pulidos)	0.350 / $p_d$	0.350 / $p_d$ + 0.002 in

**Tabla 17:** Especificaciones de la AGMA para dientes de engrane de profundidad total.

**Fuente:** Robert L. Norton.[29]

Por lo tanto, los diámetros y radios de paso son:

$$d_p = \frac{N_p}{p_d} = \frac{40}{2} = 20in$$

$$r_p = \frac{d_p}{2} = \frac{20}{2} = 10in$$

$$d_g = \frac{N_g}{p_d} = \frac{80}{2} = 40in$$

$$r_g = \frac{d_g}{2} = \frac{40}{2} = 20in$$

Es importante realizar el cálculo de razón de contacto (mp) que se describe en la Ecuación 30 para que, con este valor, se pueda determinar los esfuerzos existentes en los engranajes:

$$m_p = \frac{Z}{pb} \quad (30)$$

Se necesita obtener Z que representa la longitud de acción representada en la ecuación 31, los valores que pide la ecuación se pueden sacar de la tabla ?? con el uso del paso diametral:

$$Z = \sqrt{(r_p + a_p)^2 - (r_p \cos \phi)^2} + \sqrt{(r_g + a_g)^2 - (r_g \cos \phi)^2} - C \sin \phi \quad (31)$$

$$Z = \sqrt{(10 + 0,5)^2 - (10 \cos 20)^2} + \sqrt{(20 + 0,5)^2 - (20 \cos 20)^2} - 30 \sin 20$$

$$Z = 2,61in$$

Por lo tanto, la razón de contacto es:

$$m_p = \frac{2,61}{1,47}$$

Se realizará un análisis de carga en los engranajes rectos, por lo cual el piñón transmite 4HP a 1200rpm, con la ecuación 8 se determinará el torque sobre le eje piñón:

$$T_P = \frac{P}{w_p} \quad (32)$$

Donde:

- P: es la potencia del motor (HP)
- Wp: revoluciones por minuto (rpm)

$$T_p = \frac{4HP \cdot (6600 \frac{in \cdot lb}{seg} / HP)}{1200rpm \cdot (\frac{2\pi}{60} \cdot \frac{rad}{seg} / rpm)}$$

$$T_P = 204,08lb \cdot in$$

El torque de salida es:

$$T_g = m_G T_p = 2(204,08in) = 409,6lb \cdot in$$

La carga transmitida se calcula a partir del torque y del radio de cualquiera de los engranes:

$$W_t = \frac{T_p}{d_p/2} = \frac{204,08lb \cdot in}{20in/2} = 20,48lb$$

La componente radial es:

$$W_r = W_t \cdot \tan\varnothing = 20,48lb$$

La carga total es:

$$W = \frac{W_t}{\cos\varnothing} = \frac{20,48}{\cos(20)} = 21,79lb$$

### 6.9.1. Esfuerzos de flexión

Para el cálculo del esfuerzo existente en dientes rectos se hará uso de la ecuación de esfuerzo de flexión AGMA. La ecuación AGMA debe tener los siguientes supuestos:

1. La razón de contacto se encuentra entre 1 y 2.
2. No hay interferencia entre las puntas y los filetes de la raíz de los dientes acoplados ni rebaja del diente arriba del inicio teórico del perfil activo.

Dientes en el engrane	Dientes en el piñón															
	12		14		17		21		26		35		55		135	
	P	G	P	G	P	G	P	G	P	G	P	G	P	G	P	G
12	U	U														
14	U	U	U	U												
17	U	U	U	U	U	U										
21	U	U	U	U	U	U	0.24	0.24								
26	U	U	U	U	U	U	0.24	0.25	0.25	0.25						
35	U	U	U	U	U	U	0.24	0.26	0.25	0.26	0.26	0.26				
55	U	U	U	U	U	U	0.24	0.28	0.25	0.28	0.26	0.28	0.28	0.28		
135	U	U	U	U	U	U	0.24	0.29	0.25	0.29	0.26	0.29	0.28	0.29	0.29	0.29

**Tabla 18:** Factor geométrico J para flexión de la AGMA, para 20, y dientes de profundidad total con carga en la punta.

**Fuente:**Robert L. Norton.[29]

3. Ningún diente es puntiagudo.
4. Existe holgura distinta de cero.
5. Los filetes de la raíz son estándares, se suponen lisos y están fabricados mediante un proceso de generación.
6. Las fuerzas de fricción son despreciables.

Cumpliendo con todos los supuestos propuestos por la AGMA se procede a utilizar la ecuación 33 la cual representa el esfuerzo, pero en unidades del sistema ingles:

$$\sigma_b = \frac{W_t \cdot p_d}{FJ} \cdot \frac{K_a K_m}{K_v} K_s K_B K_I \quad (33)$$

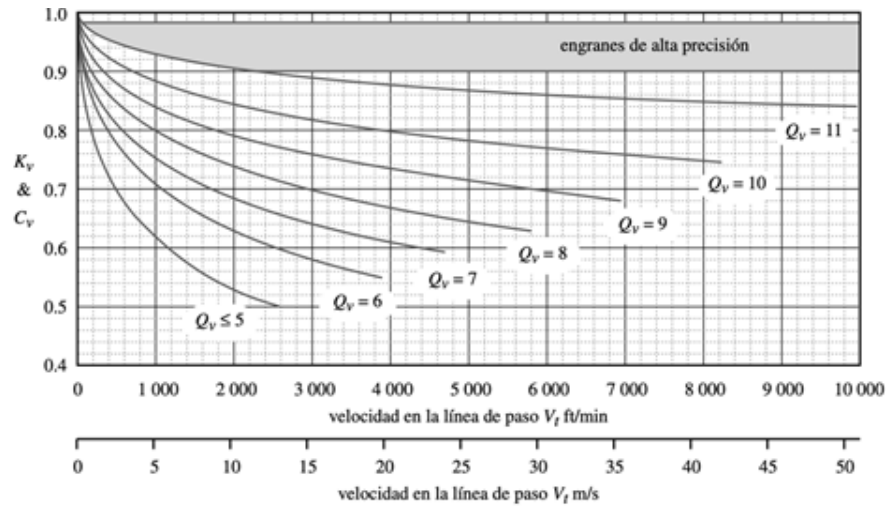
Para el factor geométrico J, tomando en cuenta que el número de dientes de engranaje es de 80 y el número de dientes es de 40, hacemos uso de la tabla 18 para determinar los factores J tanto del piñón como del engranaje. No es necesario realizar una interpolacion de valores ya que los valor dados en la tabla son muy cercanos, por lo tanto para el piñón nuestro factor será de 0,27 y para el engranaje un factor de 0,28.

Para el factor Kv se comienza determinando la velocidad en la línea del paso que se demuestra en la ecuación 34, con ese valor determinamos el índice de calidad Qv con el uso de la tabla ??

$$V_t = \frac{d_p}{2} \cdot w_p \quad (34)$$

$$V_t = \frac{20in}{2(12)} \cdot (1200mm)(2 \cdot \pi) = 6283,18ft/min$$

Con la velocidad en la línea del paso ya determinada obtenemos un Qv=8, con este valor se procede a calcular los factores A y B cuyos valores son los siguiente:



**Tabla 19:** Factores dinámicos Kv y Cv de la AGMA.  
**Fuente:** Robert L. Norton.[29]

$$B = \frac{(12 - Q_v)^{2/3}}{4} = \frac{(12 - 8)^{2/3}}{4} = 0,62$$

$$A = 50 + 56(1 - B) = 50 + 56(1 - 0,62) = 71,28$$

Con todos estos valores determinados hacemos uso de la ecuación 11 para determinar nuestros Kv:

$$K_v = \left( \frac{A}{A + \sqrt{V_t}} \right)^B \tag{35}$$

$$K_v = \left( \frac{71,28}{71,28 + \sqrt{6283,18}} \right)^{0,62}$$

$$K_v = 0,62$$

Se puede hacer una primera aproximación del ancho de la cara, en función del paso diametral. Se toma el centro del intervalo de factores del ancho de la cara recomendados  $8/p_d < F < 16/p_d$ :

$$F = \frac{12}{p_d} = \frac{12}{2} = 6in$$

Con la tabla 20 y con el valor del ancho de cara (F) se determina el factor Km, lo cual indica ser un valor de 1,7.

Ancho de cara in (mm)	K <sub>m</sub>
≤ 2 (50)	1.6
6 (150)	1.7
9 (250) <sup>0</sup>	1.8
≥ 20 (500)	2.0

**Tabla 20:** Factores Km de distribución de carga.

**Fuente:**Robert L. Norton.[29]

Para el factor Ka, se hace uso de la tabla 21, donde según el funcionamiento de la maquina. La maquina que se esta diseñando tiene un motor de un solo cilindro donde existe un impacto moderado por lo cual el valor será de 1,25.

Máquina impulsora	Máquina impulsada		
	Uniforme	Impacto moderado	Impacto fuerte
Uniforme (motor eléctrico, turbina)	1.00	1.25	1.75 o mayor
Impacto suave (motor de varios cilindros)	1.25	1.50	2.00 o mayor
Impacto medio (motor de un solo cilindro)	1.50	1.75	2.25 o mayor

**Tabla 21:** Aplicación de factores Ka.

**Fuente:**Robert L. Norton.[29]

La AGMA no establece aun estándares para el factor de tamaño Ks por lo cual recomienda que se utilice un valor de 1.

El factor KB es utilizado cuando existen aros y brazos radiales. Para el diseño que se esta realizando no existen aros y brazos radiales por lo cual la AGMA recomienda utilizar un valor de 1 ya que es un disco solido.

El factor KI representa a un engranaje loco, por lo cual no es el caso de nuestro diseño por lo tanto el valor será igualmente de 1.

Con todos los factores ya establecidos se puede calcular el esfuerzo de flexión para el piñón y el engranaje:

$$\sigma_b = \frac{W_t \cdot p_d}{FJ} \cdot \frac{K_a K_m}{K_v} K_s K_B K_I$$

$$\sigma_b p = \frac{20,48(2)}{(6)(0,27)} \cdot \frac{1,25 \cdot 1,7}{0,62} 1 \cdot 1 \cdot 1$$

$$\sigma_b p = 86,65psi \rightarrow \text{pion}$$

$$\sigma_{bp} = \frac{20,48(2)}{(6)(0,28)} \cdot \frac{1,25 \cdot 1,7}{0,62} 1 \cdot 1 \cdot 1$$

$$\sigma_{bp} = 83,56psi \rightarrow \text{engranaje}$$

### 6.9.2. Esfuerzo superficiales

Para el cálculo de esfuerzo de superficies la AGMA emplea la ecuación 36 para la formula de resistencia contra el picado:

$$\sigma_c = C_p \cdot \sqrt{\frac{W_t}{F l d} \cdot \frac{C_a \cdot C_m}{C_p} C_s \cdot C_f} \quad (36)$$

Donde:

- $W_t$ : fuerza tangencial sobre el diente
- $d$ : diámetro de paso del mas pequeño de los dos engranes acoplados
- $F$ : el ancho de la cara
- $C_p$ : es el coeficiente elástico

Los factores  $C_a$ ,  $C_m$ ,  $C_v$  y  $C_s$  son iguales, respectivamente  $K_a$ ,  $K_m$ ,  $K_v$  y  $K_s$ .

El factor geométrico superficial  $I$  que se demuestra en la ecuación 37, considera los radios de la curvatura de los dientes tanto del engranaje como el ángulo de presión:

$$I = \frac{\cos\theta}{\left(\frac{1}{\rho_p} \pm \frac{1}{\rho_g}\right) d_p} \quad (37)$$

Donde:

- $\rho_p$  y  $\rho_g$  son los radios de curvatura de los dientes del piñón y engranaje
- $\alpha$ : es el ángulo de presión
- $d_p$ : diametro e paso del piñon.

Para determinar los radios de curvatura de los dientes del piñón y engranaje se hará uso de la ecuación 38 y 39:

$$\rho_p = \sqrt{\left(r_p + \frac{1+x_p}{p_d}\right)^2 - (r_p \cos\alpha)^2} - \frac{\pi}{p_d} \cos\alpha \quad (38)$$

$$\rho_g = C_s \operatorname{sen}\alpha \pm \rho_g \quad (39)$$

Para la ecuación 38 el factor  $x_p$  será igual a cero ya que ese es el valor dado para dientes estándares de profundidad completa.

$$\rho_p = \sqrt{\left(10 + \frac{1+0}{2}\right)^2 - (10\cos 20)^2} - \frac{\pi}{2}\cos 20$$

$$\rho_p = 3,208in$$

Para la ecuación 39, como tenemos un engranaje externo, entonces el signo a usar es el menos.

$$\rho_g = C\text{sen}\alpha - \rho_p$$

$$\rho_g = 30\text{sen}20 - 3,208 = 24,18in$$

Con los valores de radio de curvatura ya establecidos, se realiza el cálculo para el factor de geometría superficial:

$$I = \frac{\cos 20}{\left(\frac{1}{3,208} + \frac{1}{24,18}\right)20}$$

$$I = 0,057$$

El coeficiente elástico  $C_p$  como se muestra en la ecuación 40, toma en cuenta la diferencia en los materiales de los dientes:

$$C_p = \sqrt{\frac{1}{\pi \left(\frac{1 - V_p^2}{E_p} + \frac{1 - V_g^2}{E_g}\right)}} \quad (40)$$

Los valores  $E_p$  y  $E_g$  tomados de la tabla 22 puesto que se trabajará con acero:

Material del piñón	$E_p$ psi (MPa)	Material del engrane					
		Acero	Hierro maleable	Hierro nodular	Hierro fundido	Bronce al aluminio	Bronce al estaño
Acero	30E6 (2E5)	2 300 (191)	2 180 (181)	2 160 (179)	2 100 (174)	1 950 (162)	1 900 (158)
Hierro maleable	25E6 (1.7E5)	2 180 (181)	2 090 (174)	2 070 (172)	2 020 (168)	1 900 (158)	1 850 (154)
Hierro nodular	24E6 (1.7E5)	2 160 (179)	2 070 (172)	2 050 (170)	2 000 (166)	1 880 (156)	1 830 (152)
Hierro fundido	22E6 (1.5E5)	2 100 (174)	2 020 (168)	2 000 (166)	1 960 (163)	1 850 (154)	1 800 (149)
Bronce al aluminio	17.5E6 (1.2E5)	1 950 (162)	1 900 (158)	1 880 (156)	1 850 (154)	1 750 (145)	1 700 (141)
Bronce al estaño	16E6 (1.1E5)	1 900 (158)	1 850 (154)	1 830 (152)	1 800 (149)	1 700 (141)	1 650 (137)

**Tabla 22:** Coeficiente elástico  $C_p$  de la AGMA.

**Fuente:** Robert L. Norton.[29]

Por ultimo los valores  $V_p$  y  $V_g$  se refieren a el número de Poisson que para el acero es un valor de 0,28. Por lo tanto:

$$C_p = \sqrt{\frac{1}{\pi \left( \frac{1 - 0,28^2}{30 \times 10^6} + \frac{1 - 1,028^2}{30 \times 10^6} \right)}}$$

$$C_p = 2276 \text{ psi}$$

El factor de acabado superficial  $C_f$  será igual a 1 ya que la AGMA no ha establecido estándares para los factores de acabado superficial.

Ya se tienen los valores de todos los factores necesarios para determinar el esfuerzo superficial:

$$\sigma_c = 2276 \sqrt{\frac{20,48}{6 \cdot 0,057 \cdot 20} \cdot \frac{1,25 \cdot 1,7}{0,62} \cdot 1 \cdot 1}$$

$$\sigma_c = 7291,1 \text{ psi}$$

Se determina si los engranajes están correctamente diseñados haciendo uso de la ecuación 41, esto determina el factor de seguridad contra la falla de flexión del engranaje y piñón, también con la ayuda de la tabla 23 que nos proporciona los datos del material a utilizar que en nuestro diseño será un AISI 4340, por lo tanto:

$$N_b = \frac{S_f b}{\sigma_b} \quad (41)$$

$$N_{b \text{ pion}} = \frac{S_f b}{\sigma_{b \text{ pion}}} = \frac{36 \times 10^3}{86,65} = 415$$

$$N_{b \text{ engranaje}} = \frac{S_f b}{\sigma_{b \text{ engranaje}}} = \frac{36 \times 10^3}{83,56} = 430$$

Material	Clase AGMA	Designación del material	Tratamiento térmico	Dureza superficial mínima	Resistencia a la fatiga por tensión	
					psi x 10 <sup>3</sup>	MPa
Acero	A1-A5		Endurecido totalmente	≤ 180 HB	25-33	170-230
			Endurecido totalmente	240 HB	31-41	210-280
			Endurecido totalmente	300 HB	36-47	250-325
			Endurecido totalmente	360 HB	40-52	280-360
			Endurecido totalmente	400 HB	42-56	290-390
			Endurecido por llama o por inducción	Patrón tipo A 50-54 HRC	45-55	310-380
			Endurecido por llama o por inducción	Patrón tipo B	22	150
		Carburado y recubrimiento endurecido	55-64 HRC	55-75	380-520	
		AISI 4140	Nitrurado	84.6 HR15N <sup>†</sup>	34-45	230-310
		AISI 4340	Nitrurado	83.5 HR15N	36-47	250-325
		Nitroaleación 135M	Nitrurado	90.0 HR15N	38-48	260-330
		Nitroaleación N	Nitrurado	90.0 HR15N	40-50	280-345
		Cromo al 2.5%	Nitrurado	87.5-90.0 15N	55-65	380-450

**Tabla 23:** Resistencias de fatiga por flexión de la AGMA.

**Fuente:** Robert L. Norton.[29]



Por ultimo, haciendo uso de la ecuación 42, se determina el factor de seguridad contra la falla superficial del engranaje y piñón, también con la ayuda de la tabla 24 que nos proporciona los datos del material a utilizar que en nuestro diseño será un AISI 4340, por lo tanto:

$$N_c = \left( \frac{S_{fc}}{\sigma_c} \right)^2 \quad (42)$$

$$N_{bpion} = \left( \frac{S_{fc}}{\sigma_{cpion}} \right)^2 = \left( \frac{150 \times 10^3}{7291,1} \right)^2 = 423$$

Material	Clase AGMA	Denominación del material	Tratamiento térmico	Dureza superficial mínima	Resistencia superficial a la fatiga		
					psi x 10 <sup>3</sup>	MPa	
Acero	A1-A5		Endurecido totalmente	≤ 180 HB	85-95	590-660	
			Endurecido totalmente	240 HB	105-115	720-790	
			Endurecido totalmente	300 HB	120-135	830-930	
			Endurecido totalmente	360 HB	145-160	1000-1100	
			Endurecido totalmente	400 HB	155-170	1100-1200	
			Endurecido por llama o por inducción	50 HRC	170-190	1200-1300	
			Endurecido por llama o por inducción	54 HRC	175-195	1200-1300	
			Carburado y recubrimiento endurecido	55-64 HRC	180-225	1250-1300	
			AISI 4140	Nitrurado	84.6 HR15N <sup>†</sup>	155-180	1100-1250
			AISI 4340	Nitrurado	83.5 HR15N	150-175	1050-1200
			Nitroaleación 135M	Nitrurado	90.0 HR15N	170-195	1170-1350
			Nitroaleación N	Nitrurado	90.0 HR15N	195-205	1340-1410
			Cromo al 2.5%	Nitrurado	87.5 HR15N	155-172	1100-1200
			Cromo al 2.5%	Nitrurado	90.0 HR15N	192-216	1300-1500

**Tabla 24:** Resistencias de la AGMA por fatiga superficial.

**Fuente:** Robert L. Norton.[29]

Con los datos obtenidos de factor de seguridad contra la falla tanto superficial como de flexión son altos, lo que indica que el diseño realizado de los engranajes son seguros, ya que deberían tener un 99 % de probabilidad de que duren durante mas de 5 años.

### 6.9.3. Análisis dimensional de engranajes

Los cálculos requeridos para determinar las medidas de los dientes de los engranajes para poder mecanizarlos. Estos con los datos proporcionados en los planos de la maquina.

Formulas para generar un engranaje y datos necesarios:

**Formulas:**

- Diámetro primitivo  $DP = Z \cdot M$
- Paso circular  $PC = \pi \cdot M$
- Cabeza del diente  $A = M$

- Espesor del diente  $S = PC \left( \frac{19}{40} \right)$
- Pie del diente  $PD = 1,25 \cdot M$
- Radio del entalle  $R = \frac{PC}{12}$
- Ángulo del espesor  $AS = \frac{360 \cdot S}{2\pi \left( \frac{DP}{2} \right)}$

El primer engranaje presentado en la Figura 81 representa la rueda dentada utilizada para el movimiento de la cremallera existente en el sistema de distribución.

### Rueda dentada Hilo

- $DP = 46 \text{ mm}$
- $M = 2 \text{ mm} \therefore A$
- $Z = 30$

### Paso Circular

$$PC = \pi \cdot 2$$

$$PC = 6,283185307 \text{ mm}$$

### Espesor del diente

$$S = (6,28 \text{ mm}) \left( \frac{19}{40} \right)$$

$$S = 2,98 \text{ mm}$$

### Pie del diente

$$PD = 1,25 \cdot 2$$

$$PD = 2,5 \text{ mm}$$

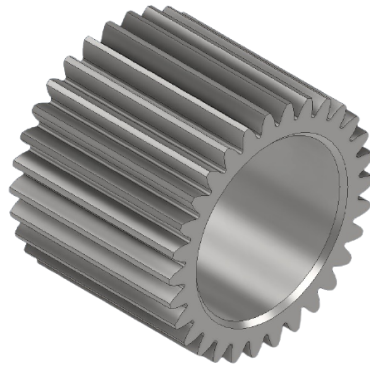
### Radio de entalle

$$R = \frac{6,28 \text{ mm}}{12}$$

$$R = 0,52 \text{ mm}$$

### Ángulo del espesor

$$AS = \frac{360 \cdot 2,98mm}{2\pi \left(\frac{46mm}{2}\right)}$$
$$AS = 7,43$$



**Figura 81:** Engranaje cremallera  
**Fuente:** Autores.

Los engranajes de que se muestran en las Figuras 82 83 y 84 forman parte del movimiento del volante Figura 85, estos para facilitar dicho movimiento ya que si se coloca el volante directamente al eje principal, seria muy difícil realizar la transmisión de movimiento, el movimiento es necesario para la calibración de ciertas piezas de la maquina que ayuda a obtener una cadena con mejor calidad.

### Engranaje 1

$$DP = 120 \text{ mm}$$

$$M = 2 \text{ mm} \therefore A$$

$$Z = 60$$

### Paso Circular

$$PC = \pi \cdot 2$$

$$PC = 6,283185307mm$$

### Espesor del diente

$$S = (6,28mm) \left(\frac{19}{40}\right)$$

$$S = 2,98mm$$

**Pie del diente**

$$PD = 1,25 \cdot 2$$

$$PD = 2,5mm$$

**Radio de entalle**

$$R = \frac{6,28mm}{12}$$

$$R = 0,52mm$$

**Ángulo del espesor**

$$AS = \frac{360 \cdot 2,98mm}{2\pi \left( \frac{120mm}{2} \right)}$$

$$AS = 2,85$$



**Figura 82:** Rueda dentada hilo

**Fuente:** Autores.

**Engranaje 2**

$$DP = 160 \text{ mm}$$

$$M = 2 \text{ mm } \therefore A$$

$$Z = 80$$

**Paso Circular**

$$PC = \pi \cdot 2$$

$$PC = 6,283185307mm$$

**Espesor del diente**

$$S = (6,28mm) \left( \frac{19}{40} \right)$$

$$S = 2,98mm$$

**Pie del diente**

$$PD = 1,25 \cdot 2$$

$$PD = 2,5mm$$

**Radio de entalle**

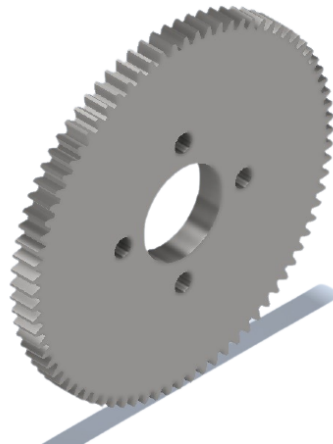
$$R = \frac{6,28mm}{12}$$

$$R = 0,52mm$$

**Ángulo del espesor**

$$AS = \frac{360 \cdot 2,98mm}{2\pi \left( \frac{160mm}{2} \right)}$$

$$AS = 2,14$$



**Figura 83:** Engranaje 1

**Fuente:** Autores.

### Engranaje 3

$$DP = 120 \text{ mm}$$

$$M = 2 \text{ mm} \therefore A$$

$$Z = 60$$

### Paso Circular

$$PC = \pi \cdot 2$$

$$PC = 6,283185307mm$$

### Espesor del diente

$$S = (6,28mm) \left( \frac{19}{40} \right)$$

$$S = 2,98mm$$

### Pie del diente

$$PD = 1,25 \cdot 2$$

$$PD = 2,5mm$$

### Radio de entalle

$$R = \frac{6,28mm}{12}$$

$$R = 0,52mm$$

### Ángulo del espesor

$$AS = \frac{360 \cdot 2,98mm}{2\pi \left( \frac{120mm}{2} \right)}$$

$$AS = 2,85$$



**Figura 84:** Engranaje 2  
**Fuente:** Autores.

**Engranaje con volante**

$$DP = 80 \text{ mm}$$

$$M = 2 \text{ mm} \therefore A$$

$$Z = 40$$

**Paso Circular**

$$PC = \pi \cdot 2$$

$$PC = 6,28mm$$

**Espesor del diente**

$$S = (6,28mm) \left( \frac{19}{40} \right)$$

$$S = 2,98mm$$

**Pie del diente**

$$PD = 1,25 \cdot 2$$

$$PD = 2,5mm$$

**Radio de entalle**

$$R = \frac{6,28mm}{12}$$

$$R = 1,04mm$$

### Ángulo del espesor

$$AS = \frac{360 \cdot 2,98mm}{2\pi \left(\frac{80mm}{2}\right)}$$
$$AS = 4,275$$



**Figura 85:** Engranaje con volante  
**Fuente:** Autores.

### Engranaje de torsión

$$DP = 33 \text{ mm}$$

$$M = 1,65 \text{ mm} \therefore A$$

$$Z = 20$$

### Paso Circular

$$PC = \pi \cdot 1,65$$

$$PC = 5,18mm$$

### Espesor del diente

$$S = (5,18mm) \left(\frac{19}{40}\right)$$

$$S = 2,46mm$$



**Pie del diente**

$$PD = 1,25 \cdot 1,65$$

$$PD = 2,06mm$$

**Radio de entalle**

$$R = \frac{5,18mm}{12}$$

$$R = 1,04mm$$

**Ángulo del espesor**

$$AS = \frac{360 \cdot 2,46mm}{2\pi \left(\frac{33mm}{2}\right)}$$

$$AS = 8,55$$

## 6.10. Potencia del motor

Para obtener la potencia necesaria para que el árbol de levas se mueva, se determina el torque existente en el eje. Ya se determino cual es la posición en donde existe la mayor aplicación de fuerzas sobre el eje, por lo tanto, se tiene que determinar los radios de las levas, multiplicando eso por la fuerza que se aplica sobre la leva, se obtiene el torque.

$$T = F \cdot r \quad (43)$$

Donde:

**T** = Torque existente Nm

**F** = Fuerza aplicada sobre la leva N

**r** = radio de la leva m

Existen tres levas aplicadas, por lo cual se determinan tres torques diferentes, los cuales sus resultados presentados a continuación en la lista, se suma todos los torques obtenidos para conseguir el torque total y obtener la potencia del motor necesario para el sistema.

**Leva 3:** 87.83 N · m

**Leva 4:** 71.98 N · m

**Leva 7:** 87.17 N · m

El torque total en el sistema y la barra de distribución es de **246.98**  $N \cdot m$ . Para calcular la potencia se aplica la siguiente formula:

$$P = T_t \cdot \omega = \frac{(T \cdot n)}{(60/2 \cdot \pi)} \quad (44)$$

Donde:

**P** = Potencia ( )

**Tt** = Torque total (N\*m)

**n** = velocidad (rpm)

Como se observa las especificaciones técnicas de una máquina Sisma para un hilo de 2mm, esta tiene un máximo de 120 links/min lo que el técnico de máquinas indica que es directamente relacionado con los rpm del motor. Por lo tanto, para que la maquina diseñada debería tener entre 30 a 100 rpm, entonces:

$$P = (246,98 \cdot 100)/(60/2 \cdot \pi)$$

$$P = 2697,12W$$

$$1HP = 745,69987W$$

$$P = 2697,12W \cdot \frac{1HP}{745,69987W} / = 3,5HP$$

Los cálculos obtenidos demuestran que se necesita un motor trifásico de 3,5HP, no existir en el mercado con esa característica, se utilizara un motor de 4HP. En el Anexo 9 muestra un catálogo de SIEMENS, se recomienda el modelo 1LE0141-1CC06-4AA4.

## 6.11. Análisis de precios unitarios

Gracias al diseño propuesto en este proyecto de titulación se obtiene información de los elementos que se van a integrar en la máquina, para así tener un valor aproximado del costo, a esto se le suma los costos de fabricación y procesos que se utilicen para ensamblar este sistema mecánico.

**Nombre del oferente:** Joyas MCR

**Item:** 1

**Descripción:** Máquina para tejido de cadenas Cubana.

**Unidad:** U

### 6.11.1. Equipo y herramienta

Se utilizara máquina ría que permita realizar los diversos elementos de la máquina tejedora de cadena, diseñando en su mayoría los elementos de todos los sistemas de la máquina.

Descripción	Costo por hora (A)	Rendimiento horas (B)	Costo Total (D=A*B)
Fresadora	20	120	2400
Torno	20	12	240
Rectificadora	15	80	1200
Soldadora MIG	15	10	150
Sierra continua	5	5	25
<b>PARCIAL M</b>			<b>4015</b>

**Tabla 25:** Equipos y herramientas

**Fuente:** Autores.

### 6.11.2. Materiales

Diversos materiales son parte del sistema mecánico, pues se aprovecha las propiedades de los elementos que lo componen, para tener un mejor rendimiento de las partes del sistema.

ITEM	Medida	Unidad	Cantidad (A)	Costo por unidad (B)	Costo Total (D=A*B)
Plancha negra	1220x2440x10	u	1,5	500	750
Plancha acero DF2	1220X2440X11	u	2	700	1400
Rodamientos	25	u	3	1,88	5,64
Acero DF2 (eje)	60x1200	u	1	30	30
Acero DF2 (eje)	20x100	kg	1	30	30
Plata	-		3000	0,9	2700
<b>PARCIAL N</b>					<b>4915,64</b>

**Tabla 26:** Materiales

**Fuente:** Autores.

### 6.11.3. Transporte

Descripción	Unidad	Cantidad (A)	Tarifa / U (B)	Distancia (C)	Costo Total (D=A*B*C)
Costo DHL	u	4	84,00	1	336,00
<b>PARCIAL O</b>					<b>336,00</b>

*Tabla 27:* Transporte

*Fuente:* Autores.

### 6.11.4. Mano de obra

La mano de obra ha sido enfocada en determinar la supervisor y control de los procesos para diseñar la máquina, a esto el costo de cada personal dependiendo del costo de hora.

Descripción	Cantidad (A)	S.R.H (B)	Rendimiento horas/U (C)	Costo Total (D=A*B*C)
Técnico de maquinas	1	6,86	200	1372,00
Supervisor de planta	1	6,86	200	1372,00
Ingeniero mecánico	1	8,72	200	1744,00
<b>PARCIAL P</b>				<b>4488,00</b>

*Tabla 28:* Mano de obra

*Fuente:* Autores.

### 6.11.5. Total costos directos

<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P)</b>		
INDIRECTOS Y UTILIDAD		13754,64
COSTO TOTAL DEL RUBRO	20%	2750,93
<b>VALOR PROPUESTO</b>		<b>16505,57</b>

*Tabla 29:* Costo total

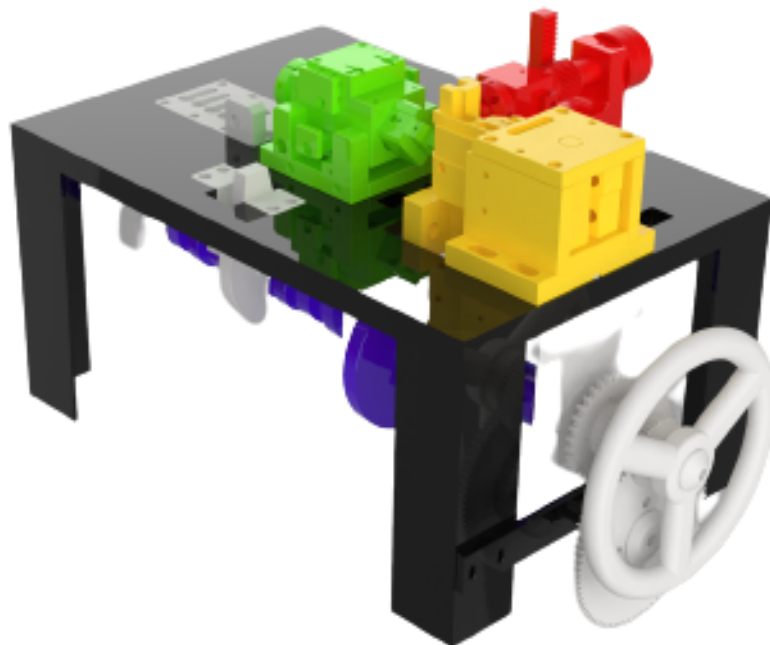
*Fuente:* Autores.

El valor propuesto de la máquina tejedora de cadenas redondea un costo de \$ 16500, este valor dependiendo con la demanda del producto a realizar puede brindar información sobre el tiempo de amortización en el cual se recuperara la inversión de la implementación del sistema, también puede realizarse una comparación con los precios existentes de máquinas de este modelo en el mercado.

## 7. Resultados

### 7.1. Máquina tejedora de cadenas

Se presenta la propuesta de diseño de una maquina tejedora de cadenas que realiza movimientos sincronizados mediante un árbol de levas. Ya que el objetivo es automatizar un proceso que se realiza a mano se debía conocer cuales son los pasos para tejer una cadena, y traducir este proceso manual a una propuesta de proceso automático, se deben consideraron variables para el diseño como la fuerza, desplazamiento, velocidades, etc. En la Figura 86 se aprecia el diseño propuesto para el proceso de tejido. Finalmente se propone una maquina que ocupa un espacio físico de 80cm x 54 cm, sin considerar el espacio de movimiento del operario.



*Figura 86:* Propuesta maquina tejedora de cadenas.

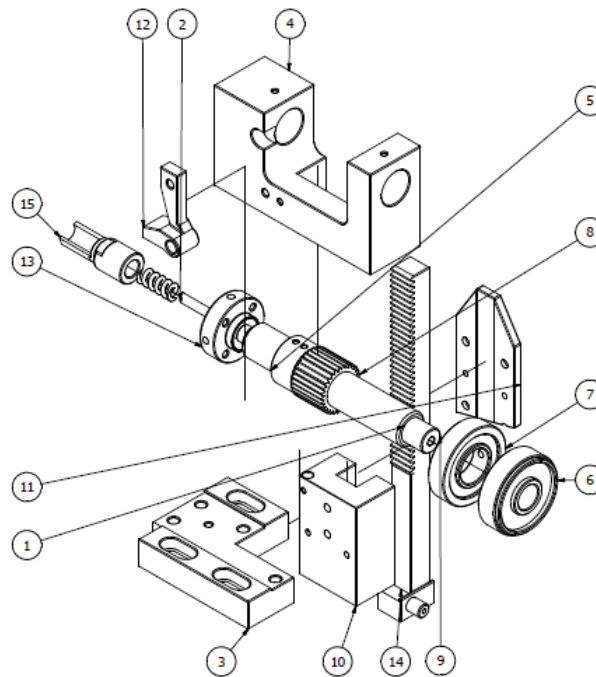
*Fuente:* Autores.

### 7.2. Subsistemas

Dimensionando los pasos a seguir para realizar un tejido de cadenas manual se establecen tres subsistemas que automatizan el proceso, esto con la finalidad de no tener la intervención de un operario y mantener la calidad del producto durante todo el proceso. Los subsistemas se ajustan a las necesidades de los encargados del área pues es importante tener un sistema que permita intercambiar herramientas cuando estas se llegan a deteriorar, los cuales han sido implementados en el diseño de la máquina. Una vez determinado los elementos y el proceso para realizar un sistema automatizado de tejido de cadenas, se puede determinar los subsistemas existentes dentro de la propuesta de diseño de máquina.

### 7.2.1. Sistema de distribución

En este sistema se ubica la espiral Figura 36 herramienta que se empotrara en el bloque de distribución y la espina Figura 37 se encuentra sujeta al eje (indicador 9), la espina realiza giros en su propio eje indicador 8 87 estas rotaciones permiten que el materiales avance a lo largo de la espiral, gracias al sistema de cremallera y a un eje dentado, este giro puede ser controlado para que el avance del material a lo largo de las ranuras de la espiral solo permita que una asa se encuentre en voladizo, cuando este proceso se realiza un tope (indicador 12) permite que el desplazamiento del eje se ubique nuevamente en su posición inicial.



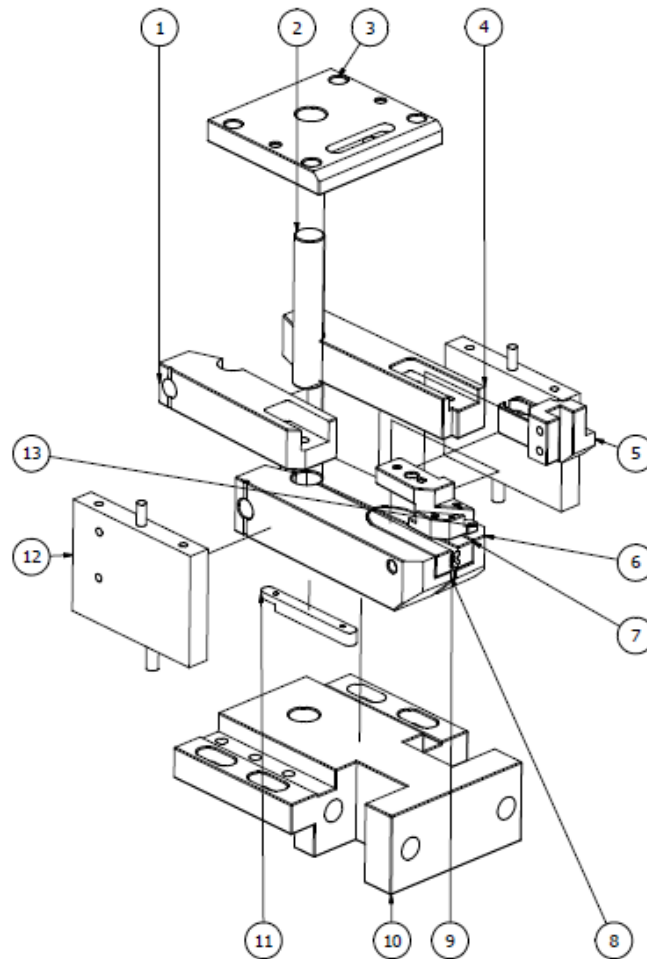
**Figura 87:** Subsistema de distribución

**Fuente:** Autores.

- |                              |                                  |
|------------------------------|----------------------------------|
| 1. Eje Principal             | 9. Eje sujetador de espina       |
| 2. Espina                    | 10. Bloque guía de cremallera    |
| 3. Base                      | 11. Tapa lateral para cremallera |
| 4. Cuerpo sujetador de eje   | 12. Tope                         |
| 5. Tope de rueda dentada     | 13. Sujetador de Espiral         |
| 6. Rueda para giro de espina | 14. Base guía para brazo de leva |
| 7. Rueda para giro de espina | 15. Espiral                      |
| 8. Rueda dentada             |                                  |

### 7.2.2. Sistema de prensado

En esta sección se ubican los fazones para que permitan que la cadena se ubique en su ranura la cual corresponde al 30 % de la cadena a tejer para realizar el proceso de deformado (indicador 7 y 8) Figura 88. Debido a que todas las herramientas pueden sufrir desgaste se diseña una sujeta cuchilla (indicador 1 y 4) Figura 88. Cuando el asa se encuentra en voladizo la cuchilla realiza un avance que permite el corte del material. En los fazones el asa que se dirige a este sistema se ubica en las ranuras, y estas permaneces cerradas mientras el sistema de sujeción deforma su geometría.



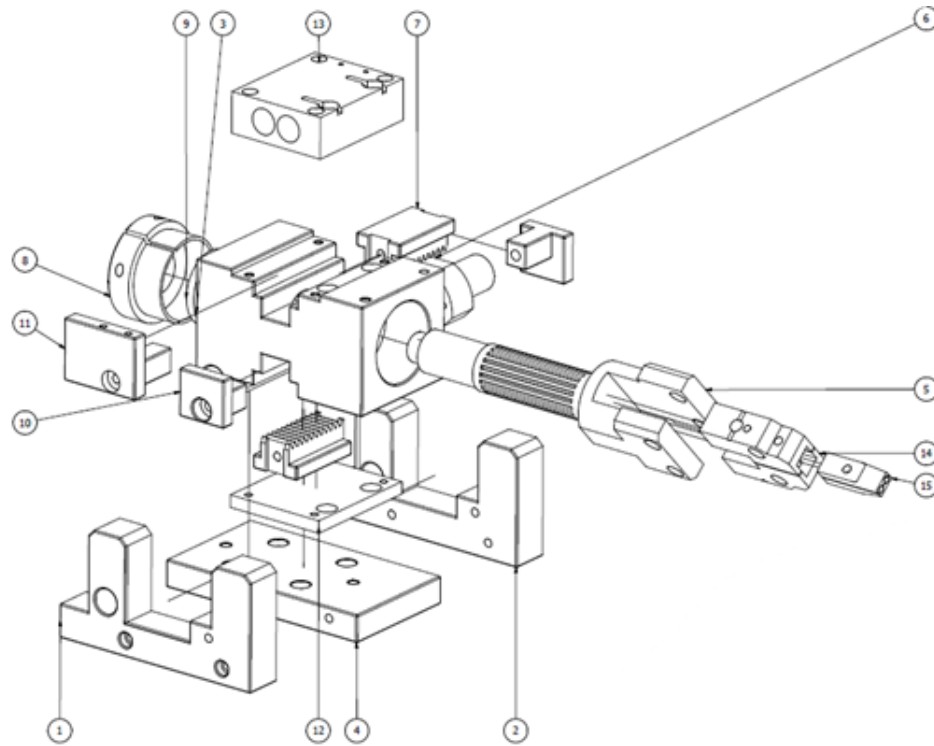
**Figura 88:** Subsistema de prensado

**Fuente:** Autores.

- |                              |                                 |
|------------------------------|---------------------------------|
| 1. Sujeta cuchilla izquierda | 6. Sujetador de fazon izquierdo |
| 2. Eje guía                  | 7. Fazon izquierdo              |
| 3. Tapa Superior             | 8. Sujetador de fazon derecho   |
| 4. Sujeta cuchilla derecha   | 9. Fazon derecho                |
| 5. Acople cuchilla izquierda | 10. Base                        |

### 7.2.3. Sistema de rotación y ensamble

Este sistema permite la sujeción de los eslabones mediante las pinzas Figura 42 esta herramienta necesita realizar un proceso de rotación gracias a un eje dentado (indicador 5) de la Figura 89 y una cremallera (indicador 7) Figura 89. Cuando el asa se encuentra en voladizo las pinzas realizan un desplazamiento, ubicación y cierres de sus elementos para sostener al asa, mientras que la cuchilla realiza el proceso de corte, al finalizar esta secuencia las pinzas trasladan al eslabón al área de prensado, al final del proceso las pinzas ubican al eslabón deformado en la nueva asa que se encuentra en voladizo del sistema de distribución para repetir el procedimiento.



**Figura 89:** Subsistema de rotación y ensamble

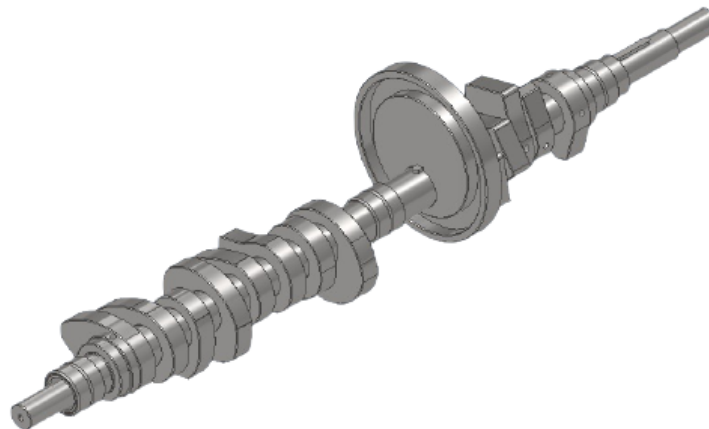
**Fuente:** Autores.



- |                            |  |
|----------------------------|--|
| 1. Lateral derecho         | 9. Arandela                            |
| 2. Lateral izquierdo       | 10. Acople cremallera derecho inferior |
| 3. Bloque sujetador de eje | 11. Acople cremallera derecho superior |
| 4. Placa base              | 12. Tapa inferior del bloque           |
| 5. Eje rotatorio           | 13. Tapa superior del bloque           |
| 6. Tope izquierdo          | 14. Sujeta pinzas                      |
| 7. Cremallera              | 15. Pinzas                             |
| 8. Volante giratorio       |  |

### 7.3. Sistema de transmisión por levas

En este sistema se aplicó un árbol de levas indicado en la figura 90 compuesto de 14 unidades, con de 3 tipos de geometría que ejercen diversos procesos, el diseño de las levas se realizó mediante una simulación gracias al software SolidWorks y un análisis de rendimiento gracias a la ley fundamental del diseño de levas y obtener el comportamiento de las mismas mediante el uso de funciones polinomiales.



**Figura 90:** Sistema de transformación de movimiento por levas.

**Fuente:** Autores.

Al elegir este sistema es más factible para los operarios de la empresa realizar procesos de ajuste, sincronización o mantenimiento, pues ya están familiarizados con estos mecanismos dado que todas las máquinas de tejido de cadenas están compuestas por un árbol de levas, independientemente del modelo o de la marca.

1. Empuje del eje para que las pinzas realicen la sujeción de la espiral antes del corte del hilo (abre las pinzas).
2. Realiza la abertura de las pinzas para liberar el asa.

3. Mantiene el cierre las pinzas para sostener el asa y dar la unión con la nueva asa por cortar.
4. Empuje adicional para el cierre correcto del asa cuando termina la torsión en el área de los fazones.
5. Se encarga de sostener el asa en las pinzas (cierre de pinzas).
6. Acciona la torsión, para dar la forma de curva a él asa (entre 45-60<sup>o</sup>).
7. Leva adicional que puede ser activada para realizar asas sin torsión.
8. Mantiene las pinzas inclinadas hacia arriba para el enganche del asa.
9. Descenso de las pinzas para realizar la torsión gracias a los fazones.
10. Giro del conjunto de salida de material (formado por la espiral y espina).
11. Retorno del conjunto de salida de material.
12. Acciona movimiento de cuchillas para el corte del asa.
13. Acciona el cierre del fazón derecho.
14. Acciona el cierre de los fazón izquierdo.

En el aspecto económico actualmente las maquinas tejedoras de cadenas de 2mm de hilo redondean los \$ 40200, sin considerar las tasas de importación y transporte. En la propuesta de diseño el valor por el análisis de precios unitarios es de \$ 16500, para la empresa es necesaria una toma de decisión para elegir el sistema mecánico que más se ajuste a sus expectativas.

Determinando el instante en el cual el eje soporta la mayor carga del proceso se dimensionó para evitar en un futuro deformaciones que inclinen a detener la producción. Colateralmente, gracias a la fuerza y avance ejercido por las levas se realiza el cálculo para la deformación y corte del material en este caso se tomó mayor atención al Oro por sus propiedades físicas obteniendo así una fuerza de punzonado y de deformación.

Es esencial comenzar determinando las fuerzas necesarias para realizar los dobleces y cortes al hilo de oro, tomando en cuenta el diámetro del mismo. Al momento de conocer las fuerzas se pasó a realizar un análisis estático con respecto a los brazos, los cuales se encargan de transmitir los movimientos necesarios para llevar a cabo los cortes y doblados. Esto con el fin de conocer las fuerzas aplicadas sobre el eje.

Se realizó un análisis de la posición donde existe la mayor cantidad de fuerzas aplicadas sobre el eje, con el fin de determinar la deformación máxima existente en el eje. Para esto se determinó un acero que sea utilizado para la construcción de árbol de levas, el acero utilizado fue el AISI-4340. Con las propiedades mecánicas del material se logró determinar el

diámetro necesario con las ecuaciones ED-ASME Elíptica para que el eje trabaje en buenas condiciones, tomando en cuenta un factor de seguridad de 1,5. El resultado del diámetro del eje dio un valor de 92,5 mm.

Por medio de un análisis de deformaciones del eje mediante el método de superposición, mediante uso de software se logró establecer que la deformación existente en el eje es de  $-2,5 \times 10^{-5} \text{m}$ , con esto se entiende de que el eje está correctamente diseñado.

Para los rodamientos era necesario conocer el diámetro que se utilizaría y las fuerzas existentes sobre el eje (determinado mediante el análisis de deformación), ya que con esos datos se lleva a cabo la elección del rodamiento que para el caso, como existen cargas radiales, el mejor tipo de rodamiento es el cilíndrico.

Por último, se determinó el momento y el torque máximo, lo cual nos brinda una oportunidad para calcular el motor necesario para que el eje opere en las mejores condiciones. Se estableció que se necesitara un motor SIEMENS de 4HP.

Las simulaciones realizadas nos ayudan a comprender como los elementos diseñados se comportarán al ser ejercidos por fuerzas y si es que estas resisten. Se simularon los elementos más críticos de la tejedora de cadenas, está siendo el eje de transmisión, donde van colocadas todas las levas, los brazos que realizan el trabajo de movimiento de cada subconjunto para la elaboración de la cadena como también la soldadura existente en los brazos. Dados los resultados demostrados de momentos y deformaciones, tanto el eje de transmisión como los brazos y la soldadura existente en los brazos, estos demuestran estar correctamente diseñados, ya que los elementos resisten las fuerzas aplicadas sobre ellos y existe una deformación mínima en cada uno de los elementos estos siendo de  $1,68 \times 10^{-3} \text{mm}$  para el eje de transmisión y  $6,72 \times 10^{-3} \text{mm}$  del brazo, por último, se detalló que el esfuerzo máximo existente en el cordón de soldadura es de 127,75 MPa lo cual nos indica que el cordón aplicado tiene los parámetros de diseño correctos ya que el electrodo utilizado tiene una resistencia máxima de 424 MPa.

En los anexos de este documento se encuentran los elementos que serán usados para la construcción de la Máquina Tejedora de Cadenas.

## 8. Conclusiones

El diseño de una maquina tejedora de cadenas a ser implementado en la línea de ensamble de la cadena tipo Cubana, aumenta el flujo de producción y disminuye los tiempos de fabricación, pues resuelve la problemática de reemplazar un proceso manual por uno automatizado, compuesto por un sistema mecánico accionado por el movimiento de 14 levas situadas en un eje de acero AISI-4340. El constante movimiento de este permite el accionamiento de 3 subsistemas en los cuales están ubicados equipos y herramientas que permiten dar el corte, prensado y deformado de cada una de las azas para ofrecer un producto de calidad. Cuando un proceso es realizado manualmente intervienen varios factores que influyen directamente en la calidad del producto, se presenta una máquina que permite a la empresa mantener la misma calidad de producto en todo el proceso de tejido, sin intervención de un operario.

El sistema está integrado con portaherramientas, ya que se tiene presente que las herramientas como fazones, pinzas, espinas y espirales son objetos que están en contacto directo con el material a tejer y se llegan a desgastar, así con estos sistemas intercambiables se evitan complicaciones en la calidad del producto o tiempos de producción.

La implementación de esta máquina aumentaría el flujo de producción de cadenas a 10 kg por día, esto debido a la demanda actual del producto amortizaría la inversión del proyecto en un año.

Por requerimiento de la empresa Joyas Casa Real Montero en este documento no se está presentado algunos detalles de varios elementos diseñados para la maquina tejedora de cadenas para diámetros de 3mm a 5mm, como son: dimensiones de las levas, brazos de transmisión y elementos de activación del sistemas de rotación y ensamble.

## 9. Recomendaciones

Al seleccionar los materiales para la construcción de la máquina es importante considerar los acabados superficiales, el periodo de mantenimiento y la lubricación, dado que muchos elementos van a estar sometidos a mayor desgaste por rozamiento, caso contrario este factor puede ser una amenaza y afectar directamente a la calidad del producto.

Las dimensiones de la máquina y sus elementos deben ser considerados según el área en la cual va a ser implementado pues en la propuesta de diseño, el tamaño del producto de la máquina ocupa mas espacio.

Establecer una guía o protocolo para la sincronización de las levas en el árbol es importante, ya que cuando se extraen sus elementos para mantenimiento la sincronización los movimientos puede provocar tiempos muertos muy altos.

## Referencias

- [1] A. O. Tonón Ordoñez, Carvallo Coellar, “Estudio socio-económico del sector orfebre en la ciudad de Cuenca en la Actualidad,” Ph.D. dissertation, Universidad del Azuay, 2005.
- [2] M. P. Groover, *Fundamentos de manufactura moderna: materiales, procesos y sistemas*. Pearson Educación, 1997.
- [3] A. J. González *et al.*, “Ingeniería de software,” *es, pág*, vol. 32, 2010.
- [4] Y. J. Carbajal Alayo, “Propuesta de un modelo de estandarización de producción para una línea de fabricación de cadenas de oro.”
- [5] P. F. Ostwald and J. Munoz, *Manufacturing processes and systems*. John Wiley & Sons, 2008.
- [6] A. Oliveros, “Diseño y fabricación artesana de joyas,,” Ph.D. dissertation, Universidad del Azuay, 2014.
- [7] D. Spitler, J. Lantrip, J. G. Nee, and D. A. Smith, *Fundamentals of tool design*. Society of Manufacturing Engineers, 2003.
- [8] C. Wick, J. T. Benedict, and R. F. Veilleux, “Tool and manufacturing engineers handbook, vol. ii.—forming.” *Society of Manufacturing Engineers, 1984,*, p. 955, 1984.
- [9] Cooksongold, “Hilo para joyería,” 2020. [Online]. Available: <https://www.cooksongold.es/blog/hilo-para-joyeria-un-basico-en-el-taller/>
- [10] J. Casabó, *Joyería*. Editorial Albatros, 2010.
- [11] S. H. Avner, J. L. E. Haen, and G. B. Mejía, *Introducción a la metalurgia física*. McGraw-Hill México;, 1979, no. TN690. A96 1988.
- [12] C. L. Lydia Arbaiza and A. R. Rivas, Carmen Palomino, *Modelo de seguridad y salud ocupacional para los sectores joyería y bisutería*, lima, dici ed. Lima - Peru: Cecosami Prerensa e Impresión Digital S. A.
- [13] J. T. Black and R. A. Kohser, *DeGarmo’s materials and processes in manufacturing*. John Wiley & Sons, 2020.
- [14] R. C. Droghetti, “Orfebrería orfebrería orfebrería orfebrería.”
- [15] L. V. V. Useche and V. VENEGAS, “Diseño de elementos de máquinas,” *Colombia, Editorial utp*, 2018.
- [16] M. MORO VALLINA, *Tecnología industrial I. 1º Bachillerato LOMCE*. Ediciones Paraninfo, SA, 2016.

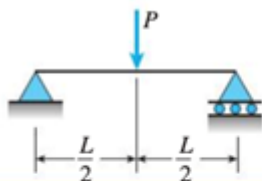
- [17] Ó. Juncá Fernández, “Modelo numérico de un árbol de levas,” B.S. thesis, 2017.
- [18] F. Sánchez-Elías Burstein *et al.*, “Análisis, diseño y fabricación de una leva industrial mediante técnicas avanzadas de manufactura,” 2012.
- [19] R. L. Norton, *Diseño de maquinaria*, 2016.
- [20] J. E. Shigley, C. R. Mischke, F. P. Bocanegra, and C. O. Correa, “Diseño en ingeniería mecánica,” 1990.
- [21] Sisma, “SGM/TA,” 2002.
- [22] Fasti, “General technical information,” 2002.
- [23] ———, “Universal médium curb and cable,” 2000.
- [24] L. E. B. Hernández, “Las fallas en los engranajes,” *Ingeniería e investigación*, no. 12, pp. 40–52, 1985.
- [25] M. Rossi, *Estampado en frío de la chapa*. Editorial Científico-Médica, 1971.
- [26] F. P. Beer, E. R. Johnston, J. T. DeWolf, and D. F. Mazurek, “Mecánica de materiales,” McGraw-Hill México, DF-México, Tech. Rep., 2010.
- [27] I. Bohman, “Catálogo de productos,” *Quito, Pichincha, Ecuador*, 2016.
- [28] G. S. 2019, “Rodamientos pub bu/p1 17000/1 es,” 2019.
- [29] R. L. Norton, A. E. Brito, S. S. Sánchez, Á. H. Fernández, and M. A. Alvarado, *Diseño de máquinas: un enfoque integrado*. Pearson Educación, 2011.

# Anexos

## Anexo A

### Formulas de deflexión Timoshenko

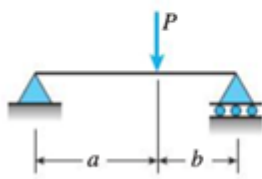
4



$$v = -\frac{Px}{48EI}(3L^2 - 4x^2) \quad v' = -\frac{P}{16EI}(L^2 - 4x^2) \quad \left(0 \leq x \leq \frac{L}{2}\right)$$

$$\delta_C = \delta_{\text{máx}} = \frac{PL^3}{48EI} \quad \theta_A = \theta_B = \frac{PL^2}{16EI}$$

5



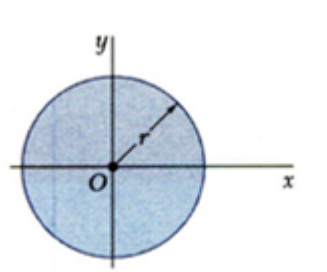
$$v = -\frac{Pbx}{6LEI}(L^2 - b^2 - x^2) \quad v' = -\frac{Pb}{6LEI}(L^2 - b^2 - 3x^2) \quad (0 \leq x \leq a)$$

$$\theta_A = \frac{Pab(L+b)}{6LEI} \quad \theta_B = \frac{Pab(L+a)}{6LEI}$$

$$\text{Si } a \geq b, \quad \delta_C = \frac{Pb(3L^2 - 4b^2)}{48EI} \quad \text{Si } a \leq b, \quad \delta_C = \frac{Pa(3L^2 - 4a^2)}{48EI}$$

### Fórmula de inercia de un círculo

Circle



$$\bar{I}_x = \bar{I}_y = \frac{1}{4} \pi r^4$$

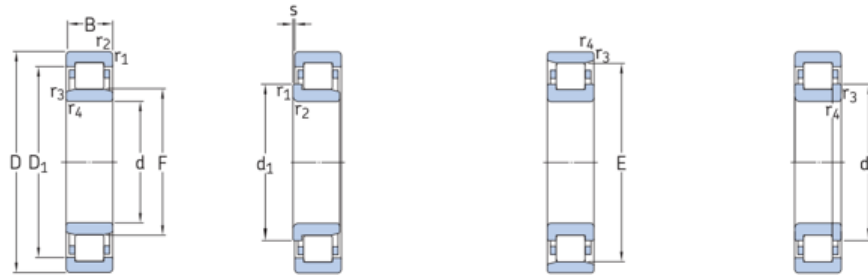
$$J_O = \frac{1}{2} \pi r^4$$



## Anexo B

### Rodamientos de una hilera de rodillos cilíndricos

d 35 – 45 mm



NU

NJ

N

NUP

Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga $P_u$	Velocidades nominales		Masa	Designaciones	
d	D	B	dinámica C	estática $C_0$		Velocidad de referencia	Velocidad límite		Rodamiento con jaula estándar	Jaula estándar alternativa <sup>1)</sup>
mm			kN		kN	r. p. m.		kg	-	
95	145	24	84,2	110	13,2	5 300	8 000	1,45	▶ NJ 1019 ML	-
	170	32	255	265	32,5	4 300	4 800	2,85	▶ N 219 ECP	-
	170	32	255	265	32,5	4 300	4 800	2,85	▶ NJ 219 ECP	J, M, ML
	170	32	255	265	32,5	4 300	4 800	2,9	▶ NJ 219 ECP	J, M, ML
	170	32	255	265	32,5	4 300	4 800	2,9	▶ NJP 219 ECP	J, M, ML
	170	43	325	375	45,5	4 300	4 800	3,8	▶ NJ 2219 ECP	J, ML

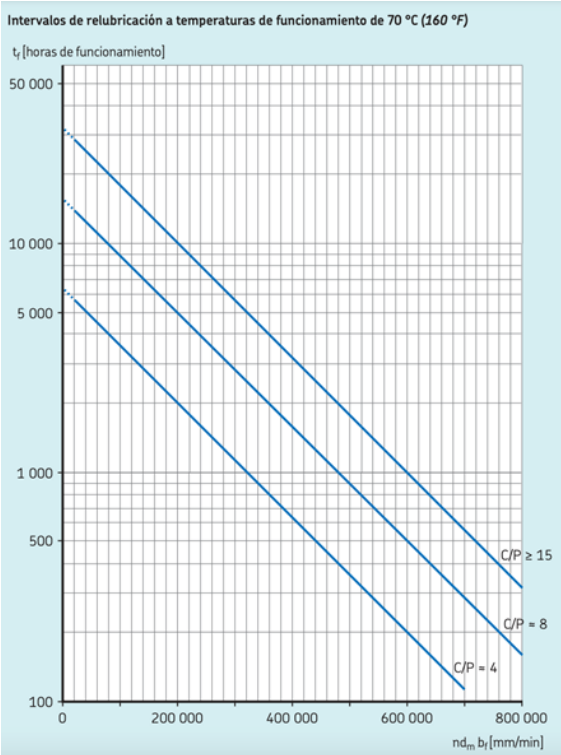
## Anexo C

### Factores de los rodamientos y límites recomendados para $nd_m$

Tipo de rodamiento <sup>1)</sup>	Factor del rodamiento $b_f$	Límites recomendados de $nd_m$ para relación de carga		
		$C/P \geq 15$	$C/P = 8$	$C/P = 4$
–	–	mm/min		
<b>Rodamientos rígidos de bolas</b>	1	500 000	400 000	300 000
<b>Rodamientos de bolas de contacto angular</b>	1	500 000	400 000	300 000
<b>Rodamientos de bolas a rótula</b>	1	500 000	400 000	300 000
<b>Rodamientos de rodillos cilíndricos</b>				
– rodamiento libre	1,5	450 000	300 000	150 000
– rodamiento fijo, sin cargas axiales externas o con cargas axiales ligeras pero alternantes	2	300 000	200 000	100 000
– rodamiento fijo con carga axial ligera en constante movimiento	4	200 000	120 000	60 000
– sin jaula, completamente lleno de rodillos <sup>2)</sup>	4	NA <sup>3)</sup>	NA <sup>3)</sup>	20 000

# Anexo D

## Intervalos de relubricación



## Anexo E

### Propiedades de las grasas

Rangos de temperatura de las grasas				Rangos de carga de las grasas		
Gama		Temperatura		Rango de carga		Relación de carga C/P
		°C	°F			
L	Baja	< 50	< 120	L	Baja	≥ 15
M	Mediana	de 50 a 100	de 120 a 210	M	Mediana	= 8
H	Alta	> 100	> 210	H	Alta	= 4
EH	Extremadamente alta	> 150	> 300	VH	Muy alta	< 2

**Tabla 4**

Rangos de velocidad para rodamientos radiales lubricados con grasa				
Rango de velocidad		Factor de velocidad		
		Rodamientos de bolas	Rodamientos de rodillos a rótula, de rodillos cónicos, de rodillos toroidales CARB	Rodamientos de rodillos cilíndricos
		$nd_m$		
		mm/min		
MB	Muy baja	–	< 30 000	< 30 000
L	Baja	< 100 000	< 75 000	< 75 000
M	Mediana	< 300 000	≤ 210 000	≤ 270 000
H	Alta	< 500 000	> 210 000	> 270 000
VH	Muy alta	≤ 700 000	–	–
EH	Extremadamente alta	> 700 000	–	–

$n$  = velocidad de giro [r. p. m.]  
 $d_m$  = diámetro medio del rodamiento [mm] = 0,5 (d + D)

### Tabla de selección de grasas para los rodamientos SKF

Grasa	Descripción	Ejemplo de aplicación	Rango de temperaturas <sup>II</sup>		Temp.	Velocidad
			LTL	HTPL		
<b>LGMT 2</b>	Uso general industrial y automoción	Rodamientos de rueda de automóviles Cintas transportadoras y ventiladores Motores eléctricos pequeños	-30 °C (-20 °F)	120 °C (250 °F)	M	M
<b>LGMT 3</b>	Uso general industrial y automoción	Rodamientos con d > 100 mm Eje vertical o rotación del aro exterior del rodamiento Rodamientos de rueda para automóviles, camiones y remolques	-30 °C (-20 °F)	120 °C (250 °F)	M	M
<b>LGEP 2</b>	Presión extrema	Sección de conformación y prensado de papeleras Rodamientos de rodillos de trabajo en la industria siderúrgica Maquinaria pesada, cribas vibratorias	-20 °C (-5 °F)	110 °C (230 °F)	M	B a M

## Especificaciones técnicas de las grasas SKF

		LGMT 2	LGMT 3	LGEP 2
<b>Código DIN 51825</b>		K2K-30	K3K-30	KP26-20
<b>Grado de consistencia NLGI</b>		2	3	2
<b>Color</b>		Marrón rojizo	Ámbar	Marrón claro
<b>Espesante</b>		Litio	Litio	Litio
<b>Tipo de aceite base</b>		Mineral	Mineral	Mineral
<b>Rango de temperaturas de funcionamiento</b>	°C °F	-30 a +120 (de -20 a +250)	-30 a +120 (de -20 a +250)	de -20 a +110 (de -5 a +230)
<b>Punto de goteo DIN ISO 2136</b>	°C °F	>180 (>355)	>180 (>355)	>180 (>355)
<b>Viscosidad del aceite base</b>				
40 °C (105 °F)	mm <sup>2</sup> /s	110	125	200
100 °C (210 °F)	mm <sup>2</sup> /s	11	12	16
<b>Penetración DIN ISO 2137</b>				
60 recorridos	50-1 mm	265-295	220-250	265-295
100 000 recorridos	50-1 mm	+50 máx. (325 máx.)	280 máx.	+50 máx. (325 máx.)
<b>Estabilidad mecánica</b> (Estabilidad a la rotadura, 50 h a 80 °C (175 °F))	50-1 mm	+50 máx.	295 máx.	+50 máx.
Prueba V2F		"M"	"M"	"M"
<b>Protección contra la corrosión</b> Eimcor: - norma ISO 11007 - prueba de lavado con agua - prueba con agua salina (100‰ agua de mar)		0-0 0-0 0-1 II	0-0 0-0	0-0 0-0 1-1 II
<b>Resistencia al agua</b> DIN 51 807/1, 3 h a 90 °C (195 °F)		1 máx.	2 máx.	1 máx.
<b>Separación del aceite</b> DIN 51 817, 7 días a 40 °C (105 °F), estática	g	1-6	1-3	2-5
<b>Capacidad de lubricación</b> R2F, prueba de funcionamiento B a 120 °C (250 °F) R2F, prueba de cámara fría, -30 °C (-20 °F), +20 °C (+70 °F)		Aprobada	Aprobada	Aprobada
<b>Corrosión del cobre</b> DIN 51811		2 máx. 150 °C (230 °F)	2 máx. 130 °C (265 °F)	2 máx. 110 °C (230 °F)
<b>Vida útil de la grasa para rodamientos</b> Prueba RCF Vida útil L <sub>10</sub> a 20 000 r. p. m.	h		1 000 mín., 130 °C (265 °F)	
<b>Rendimiento a presión extrema (extreme pressure, EP)</b> Marca de desgaste DIN 51350/5, 1 400 N Prueba de 4 bolas, carga de soldadura DIN 51350/4, N	mm			1,4 máx., 2 800 mín.
<b>Corrosión por contacto</b> Prueba ASTM D4170 FAFNR a +25 °C (75 °F)	mg			5,7 II
<b>Par a baja temperatura</b> IP286, par de arranque IP286, par de funcionamiento	Nmm. II	98, -30 °C (-20 °F) 58, -30 °C (-20 °F)	145, -30 °C (-20 °F) 95, -30 °C (-20 °F)	70, -20 °C (-5 °F) 45, -20 °C (-5 °F)

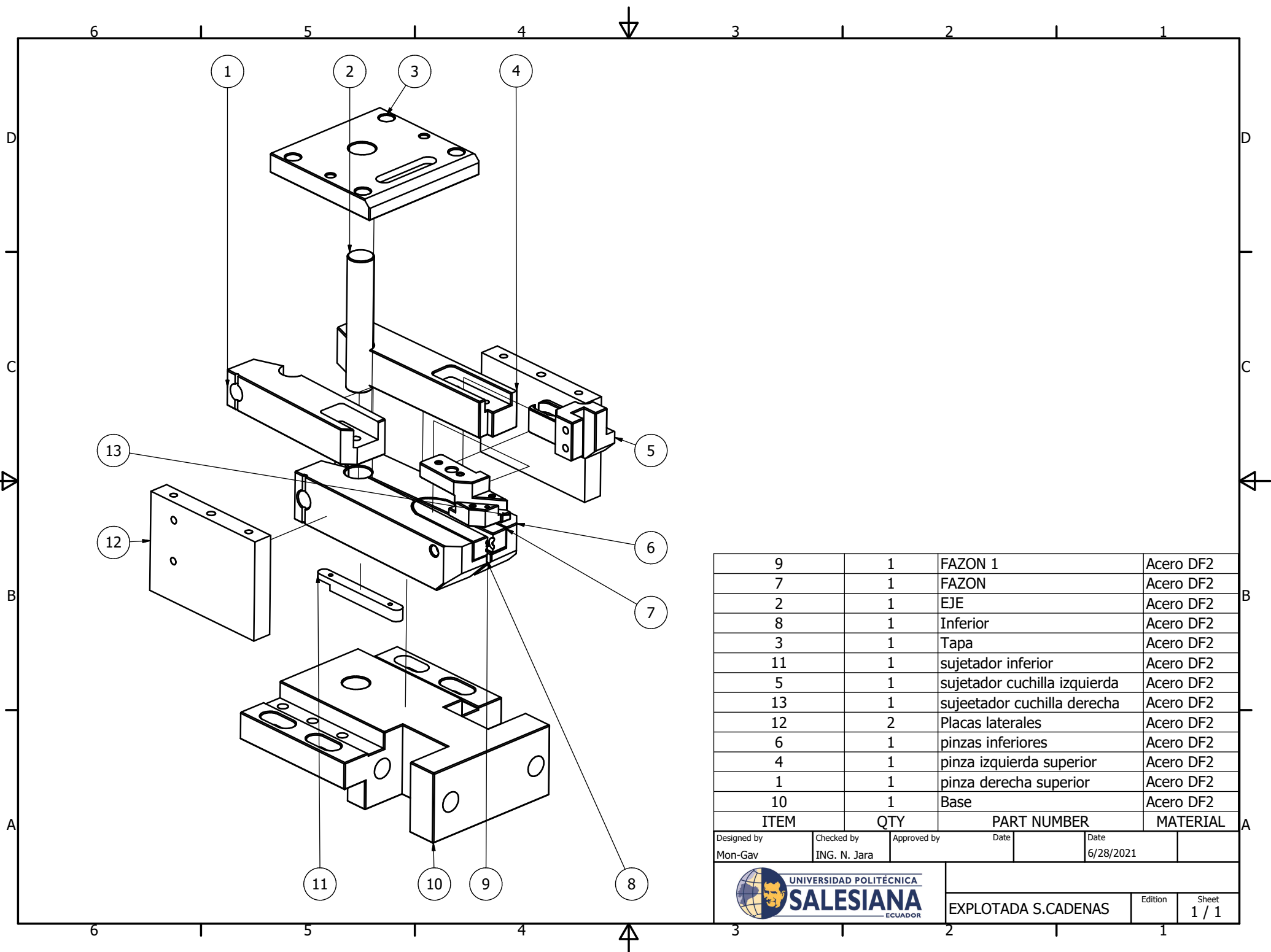
## Anexo F

### Datos eléctricos motores Series 1LE0141 IE2

Potencia		Referencia del motor	Tamaño constructivo	Rated Speed	Eficiencia 100%	Factor de potencia	Corriente nominal			Torque nominal	Datos de arranque			Peso IM B3
kW	HP						220V A	380V A	440V A		Nm	Corriente de arranque x In	Torque de arranque x Tn	
<b>Datos eléctricos motores Serie 1LE0141 IE2 6 Polos 1200 rpm</b>														
0,55	0,75	1LE0141-0DC36-4AA4	80M	1100	68,0	0,72	3	1,74	1,5	4,8	3,5	2	2,4	17,0
0,75	1	1LE0141-0EC06-4AA4	90S	1130	73,0	0,72	3,7	2,15	1,86	6,3	4	2	2,4	22
1,1	1,5	1LE0141-1AC36-4AA4	100L	1160	85,5	0,70	4,9	2,85	2,45	9,1	6	3	3,5	45
1,5	2	1LE0141-1BC16-4AA4	112M	1160	86,5	0,71	6,4	3,7	3,2	12,3	7,5	3	3,5	50
2,2	3	1LE0141-1BC26-4AA4	112M	1160	87,5	0,71	9,5	5,5	4,75	18,1	7,5	3	3,5	55
3	4	1LE0141-1CC06-4AA4	132S	1160	87,5	0,71	12,6	7,3	6,3	24,7	6,5	2,5	3,5	57
3,7	5	1LE0141-1CC26-4AA4	132M	1165	87,5	0,71	15,8	9,1	7,9	30,3	6,5	2,5	3,5	65
5,5	7,5	1LE0141-1CC36-4AA4	132M	1165	89,5	0,75	22	12,7	10,9	45,1	7,5	2,5	3,5	85
7,5	10	1LE0141-1CC86-4AA4	132M	1165	89,5	0,71	31	17,8	15,4	61,5	7,5	2,5	3,5	90
11	15	1LE0141-1DC46-4AA4	160L	1170	90,2	0,76	43	25	21,5	89,8	7,5	2,5	3,5	140
15	20	1LE0141-1DC86-4AA4	160L	1170	90,2	0,73	59	34,5	29,5	122	7,5	2,5	3,5	145
18,5	25	1LE0141-1EC86-4AA4	180L	1180	91,7	0,78	68	39,5	34	150	7,5	2,5	3,5	185
22	30	1LE0141-2AC56-4AA4	200L	1180	91,7	0,80	80	46,5	40	178	7,5	2,4	3	235
30	40	1LE0141-2AC86-4AA4	200L	1182	93,0	0,79	107	62	53	242	7,5	2,4	3	260
37	50	1LE0141-2BC86-4AA4	225M	1182	93,0	0,80	132	76	66	299	8,5	2,6	3,5	340
45	60	1LE0141-2CC86-4AA4	250M	1185	93,6	0,83	151	88	76	363	8,5	2,6	3,5	465
55	75	1LE0141-2CC76-4AA4	250M	1185	93,6	0,83	189	109	94	443	8,5	2,6	3,5	470
75	100	1LE0141-2DC83-3AA4	280M	1185	94,1	0,85			122	604	8,5	2,7	3	565
90	125	1LE0141-2DC73-3AA4	280M	1188	94,1	0,85			153	723	8,5	2,7	3	620
110	150	1LE0141-3AC53-3AA4	315L	1190	95,0	0,84			184	883	8,5	2,4	3	1050
150	200	1LE0141-3AC63-3AA4	315L	1190	95,0	0,85			240	1204	8,5	2,4	3	1060

## Anexo G

### Planos

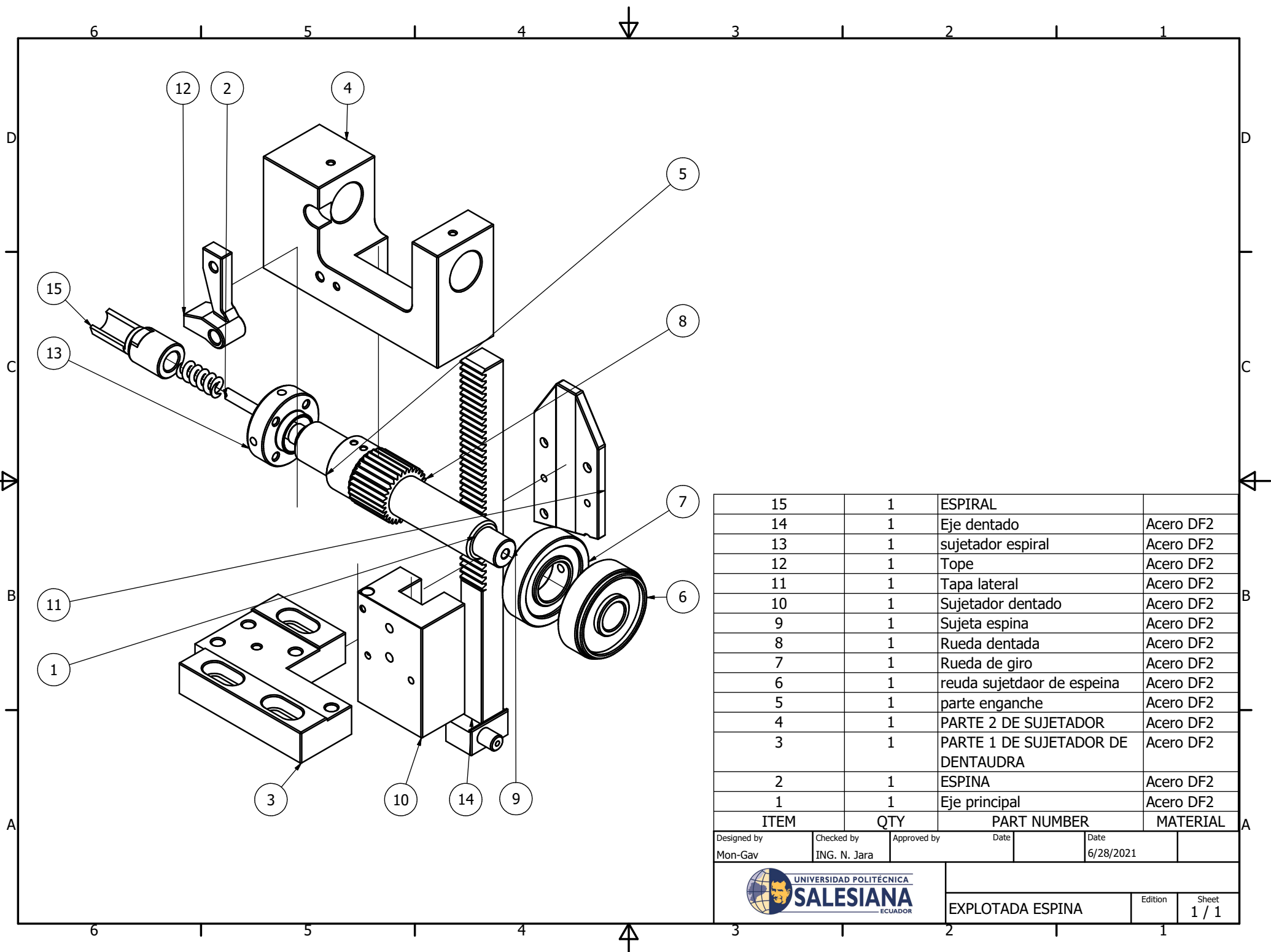


9	1	FAZON 1	Acero DF2
7	1	FAZON	Acero DF2
2	1	EJE	Acero DF2
8	1	Inferior	Acero DF2
3	1	Tapa	Acero DF2
11	1	sujetador inferior	Acero DF2
5	1	sujetador cuchilla izquierda	Acero DF2
13	1	sujeetador cuchilla derecha	Acero DF2
12	2	Placas laterales	Acero DF2
6	1	pinzas inferiores	Acero DF2
4	1	pinza izquierda superior	Acero DF2
1	1	pinza derecha superior	Acero DF2
10	1	Base	Acero DF2
ITEM	QTY	PART NUMBER	MATERIAL

Designed by Mon-Gav	Checked by ING. N. Jara	Approved by	Date	Date 6/28/2021
------------------------	----------------------------	-------------	------	-------------------




EXPLORATA S.CADENAS	Edition	Sheet 1 / 1
---------------------	---------	----------------

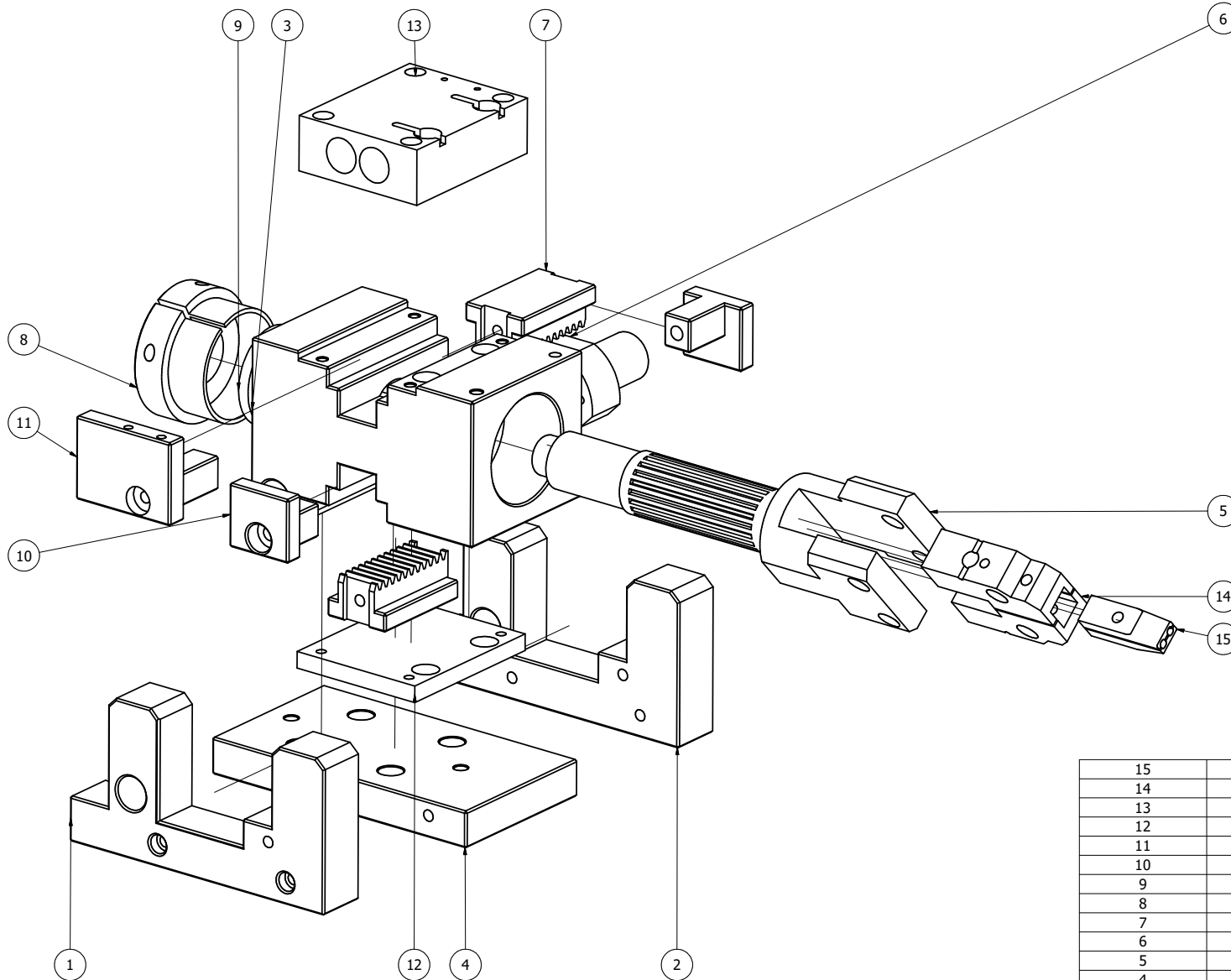


15	1	ESPIRAL	
14	1	Eje dentado	Acero DF2
13	1	sujetador espiral	Acero DF2
12	1	Tope	Acero DF2
11	1	Tapa lateral	Acero DF2
10	1	Sujetador dentado	Acero DF2
9	1	Sujeta espina	Acero DF2
8	1	Rueda dentada	Acero DF2
7	1	Rueda de giro	Acero DF2
6	1	reuda sujetdaor de espina	Acero DF2
5	1	parte enganche	Acero DF2
4	1	PARTE 2 DE SUJETADOR	Acero DF2
3	1	PARTE 1 DE SUJETADOR DE DENTAUDRA	Acero DF2
2	1	ESPINA	Acero DF2
1	1	Eje principal	Acero DF2
ITEM	QTY	PART NUMBER	MATERIAL

Designed by Mon-Gav	Checked by ING. N. Jara	Approved by	Date	Date 6/28/2021
------------------------	----------------------------	-------------	------	-------------------

	EXPLOTADA ESPINA		Edition	Sheet 1 / 1







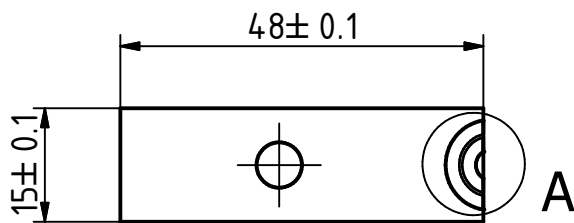
15	2	Pinza 1	Acero DF2
14	2	pimzas	Acero DF2
13	1	TAPA	Acero DF2
12	1	TAPA ABAJO	Acero DF2
11	1	TAPA 2	Acero DF2
10	2	TAPA 1	Acero DF2
9	1	normalizado	Acero DF2
8	1	MANIVELA	Acero DF2
7	2	Cremallera	Acero DF2
6	1	Tope izq	Acero DF2
5	1	IMPLMENTO	Acero DF2
4	1	placa base	Acero DF2
3	1	pieza de acople base	Acero DF2
2	1	lateral izquierdo	Acero DF2
1	1	lateral derecho	Acero DF2
ITEM	QTY	PART NUMBER	MATERIAL

Designed by Mon-Gav	Checked by ING. N. Jara	Approved by	Date 6/28/2021
------------------------	----------------------------	-------------	-------------------

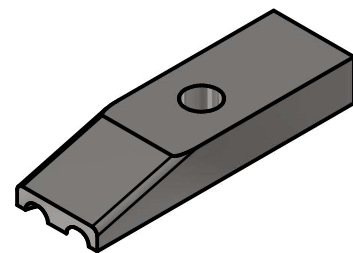
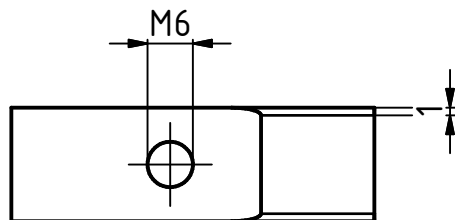
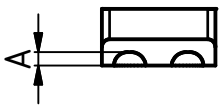
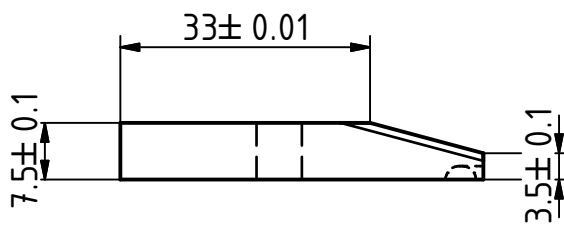
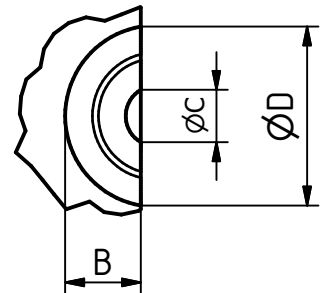


EXPLOTADA TORSION	Edition	Sheet 1 / 1
-------------------	---------	----------------

N8  (N6 )



A (2 : 1)



TABLE

HILO	A	B	C	D
3mm	1.45mm	4.5mm	4.24mm	10.39mm
4mm	1.95mm	6mm	5.66mm	13.86mm
5 mm	2.45mm	7.5mm	7.07mm	17.32mm

Designed by Mon-Gav	Checked by Ing.N.Jara	Approved by	Date	Date 29/6/2021
------------------------	--------------------------	-------------	------	-------------------



PINZA

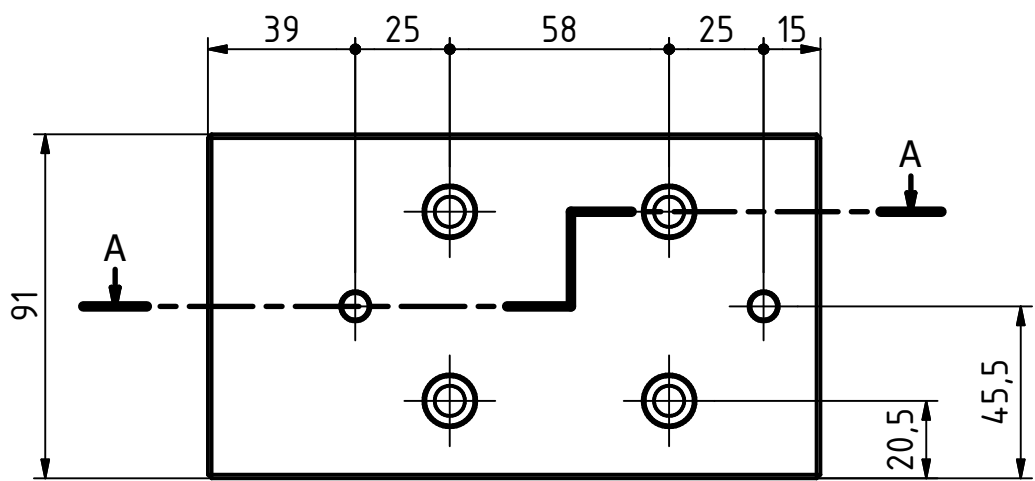
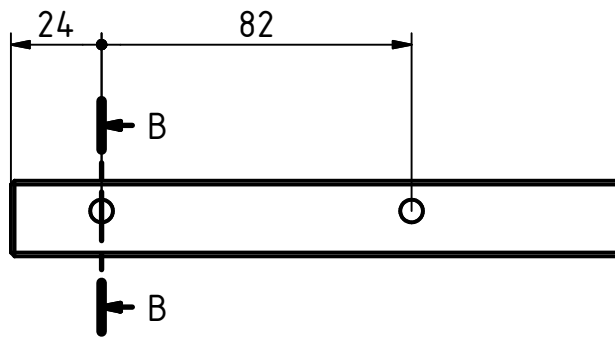
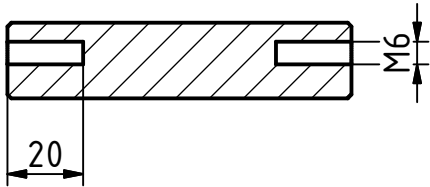
Edition

Sheet

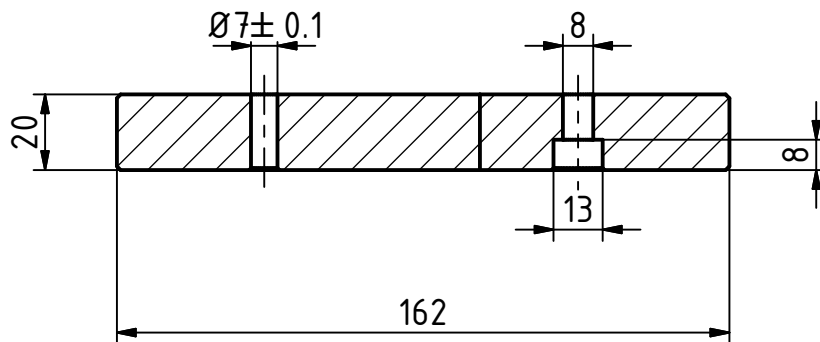
1 / 41



B-B ( 1 : 2 )



A-A ( 1 : 2 )



Nota: Todos los chaflanes son de 1mm.

N8

Designed by Mon.-Gav.	Checked by Ing.N.Jara	Approved by	Date	Date 29/6/2021
--------------------------	--------------------------	-------------	------	-------------------



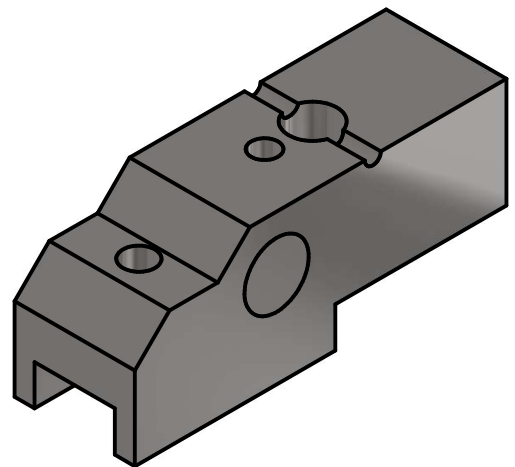
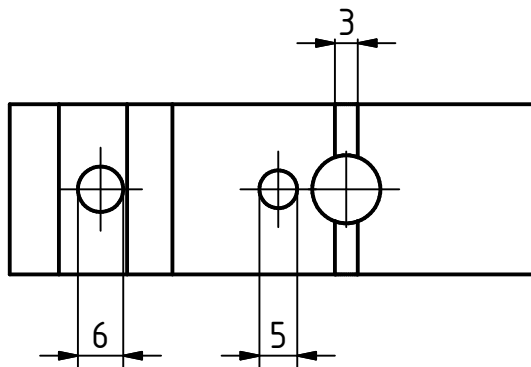
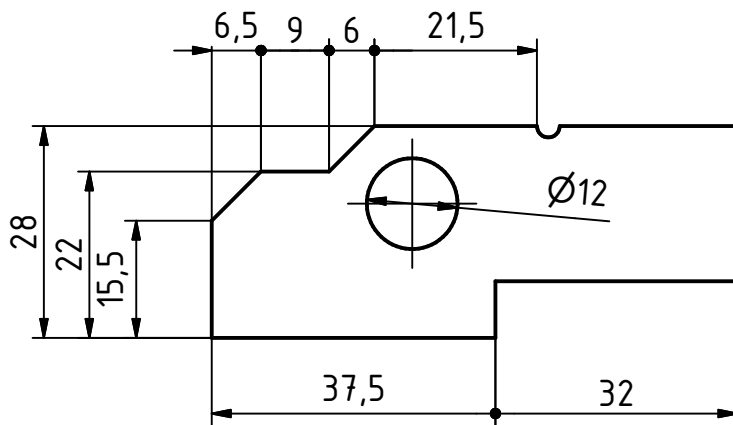
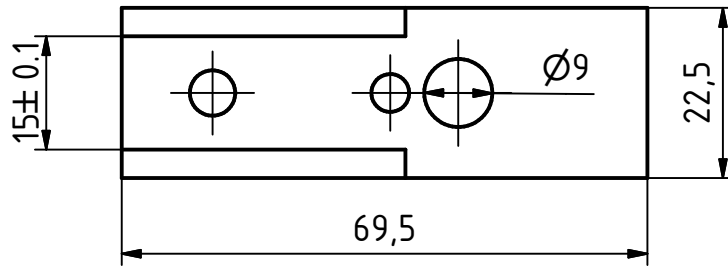
Base torsión

Edition

Sheet

3 / 41

N8



Designed by Mon.-Gav.	Checked by Ing.N.Jara	Approved by	Date	Date 29/6/2021
--------------------------	--------------------------	-------------	------	-------------------



Sujetador de Pinzas

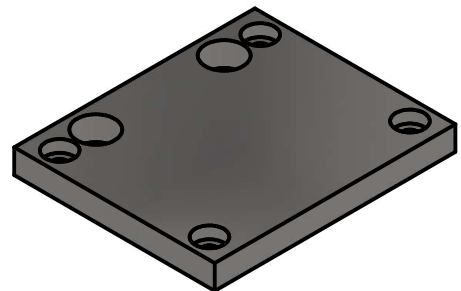
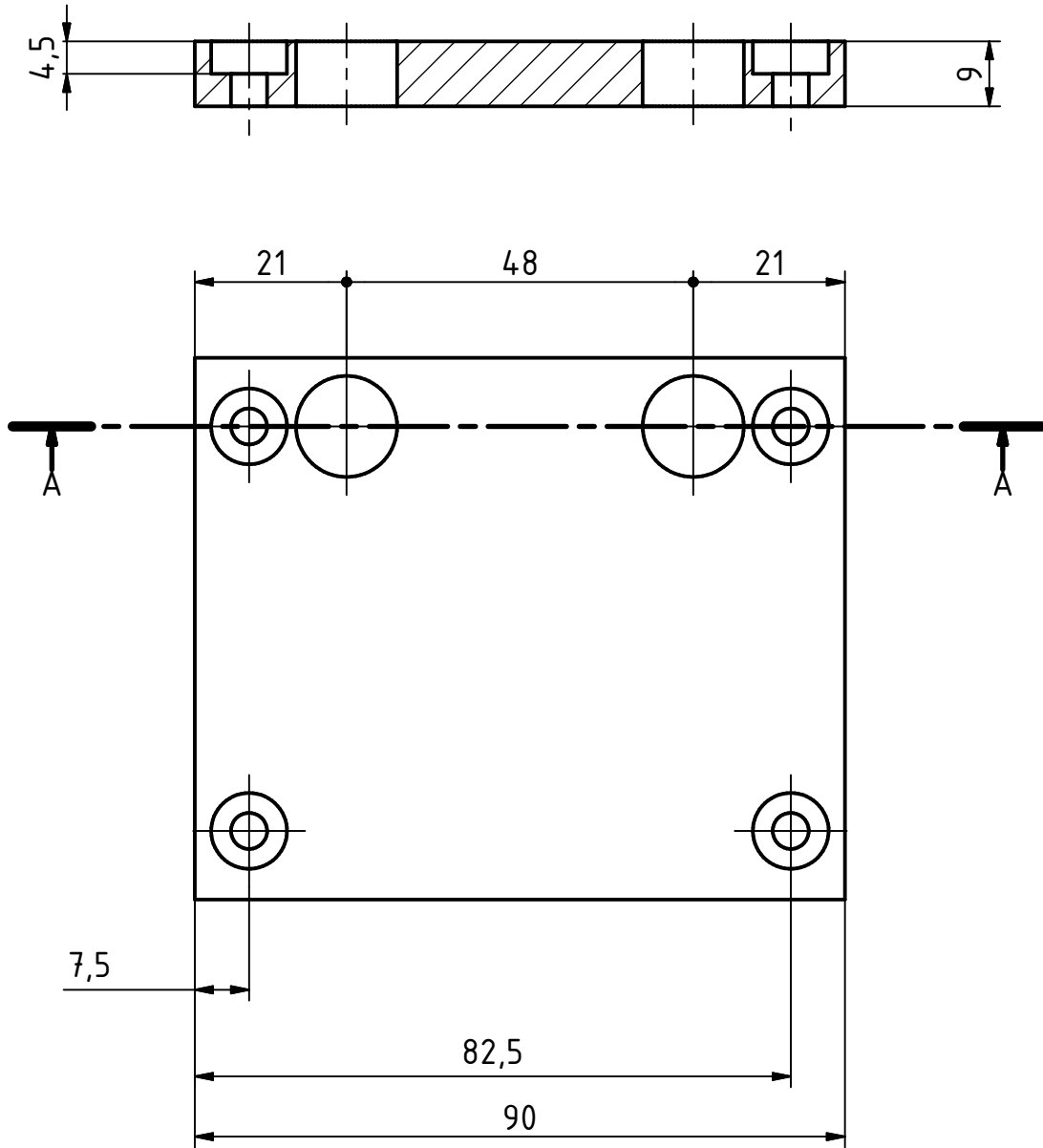
Edition

Sheet

4 / 41

N8

# A-A ( 1 : 1 )



Designed by Mon.-Gav.	Checked by Ing.N.Jara	Approved by	Date	Date 29/6/2021	
--------------------------	--------------------------	-------------	------	-------------------	--



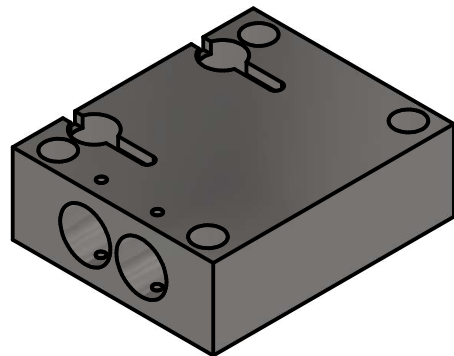
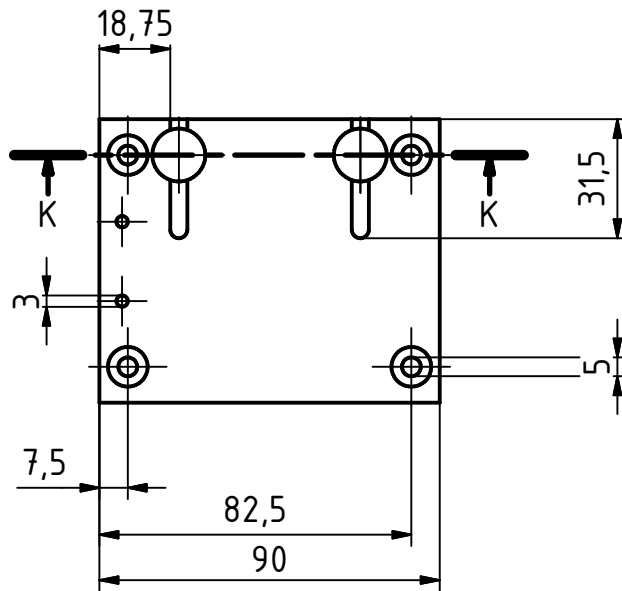
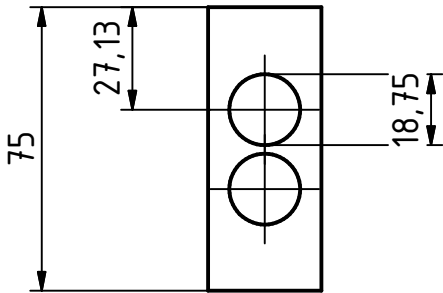
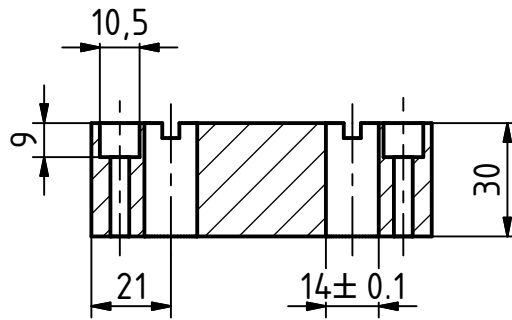
Tapa de abajo torsión

Edition

Sheet

5 / 41

### K-K ( 1 : 2 )



N8

Designed by Mon.-Gav.	Checked by Ing.N.Jara	Approved by	Date	Date 29/6/2021
--------------------------	--------------------------	-------------	------	-------------------

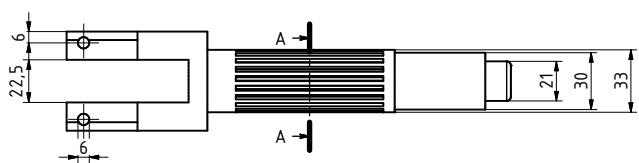


Tapa superior torsión

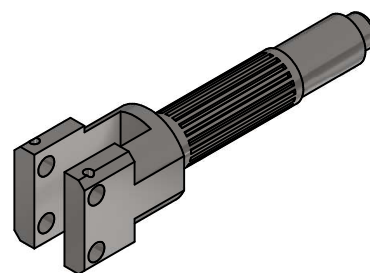
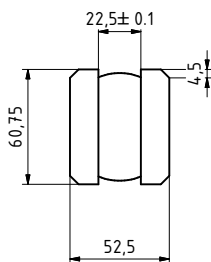
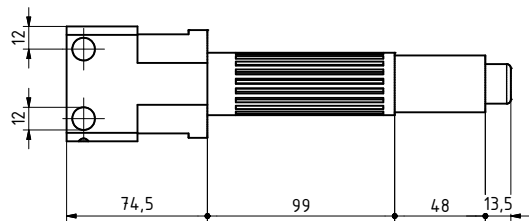
Edition

Sheet


6 / 41



A-A ( 1 : 2 )

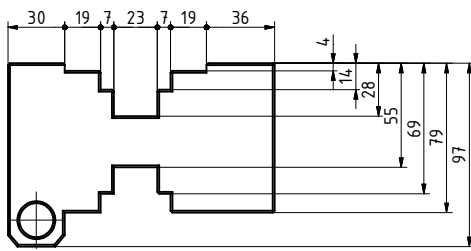
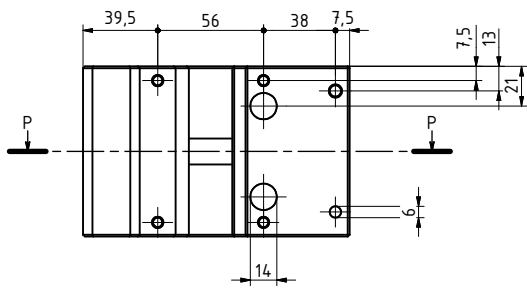


N8

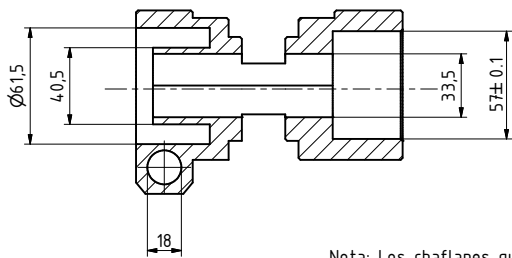
Designed by Mon.-Gav.	Checked by Ing.N.Jara	Approved by	Date	Date 29/6/2021
			Eje principal sujeta pinzas	Edition 7 / 41



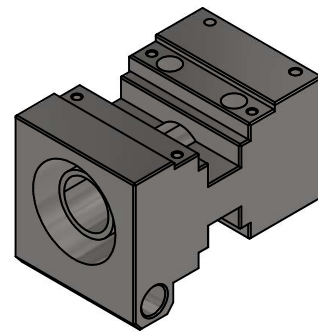





P-P ( 1 : 2 )

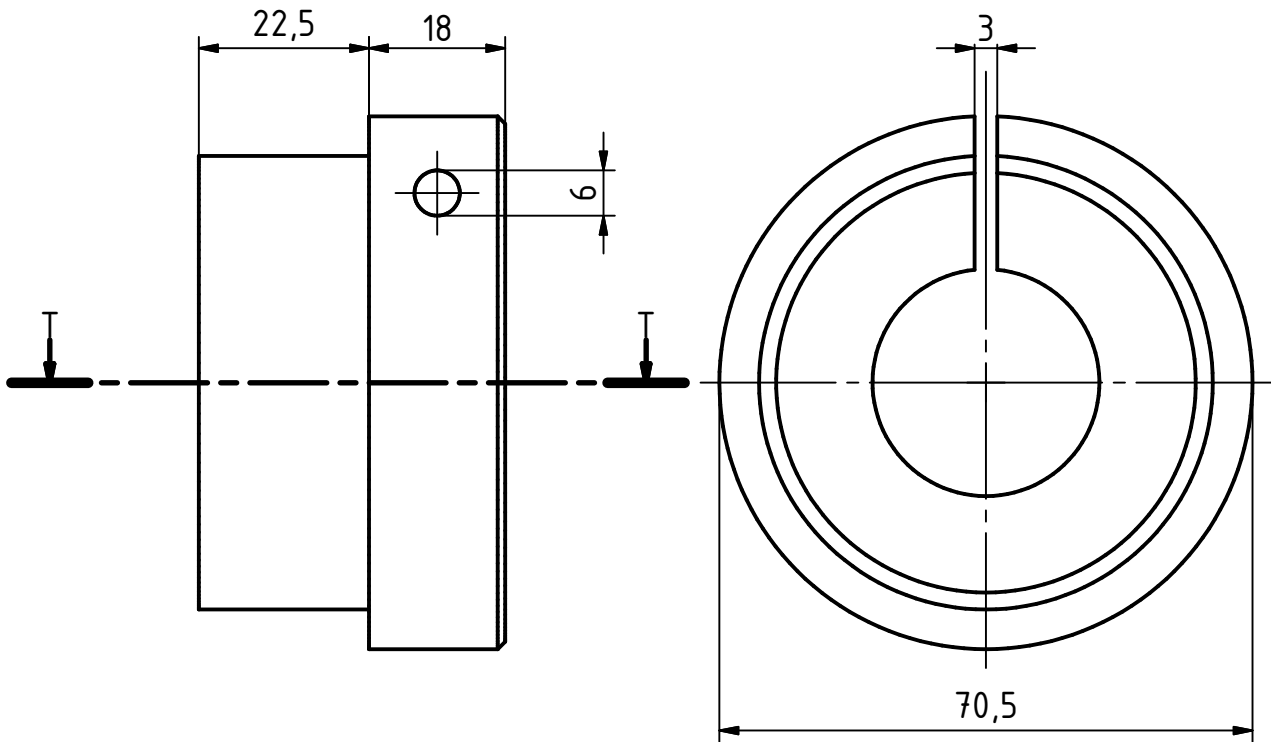


Nota: Los chaflanes que se encuentran en la figura son de 1mm.

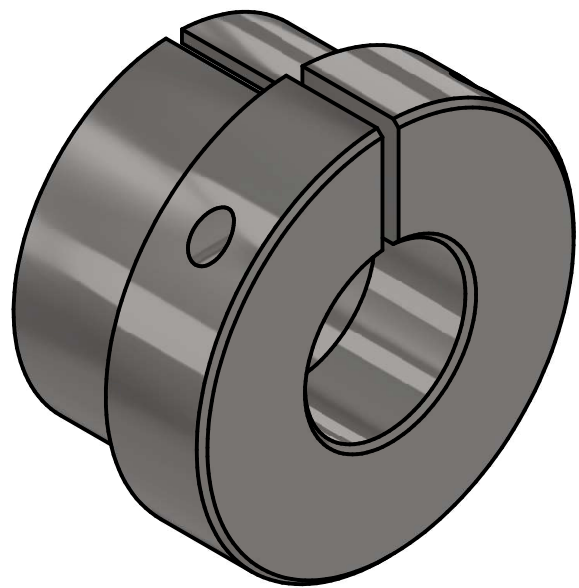
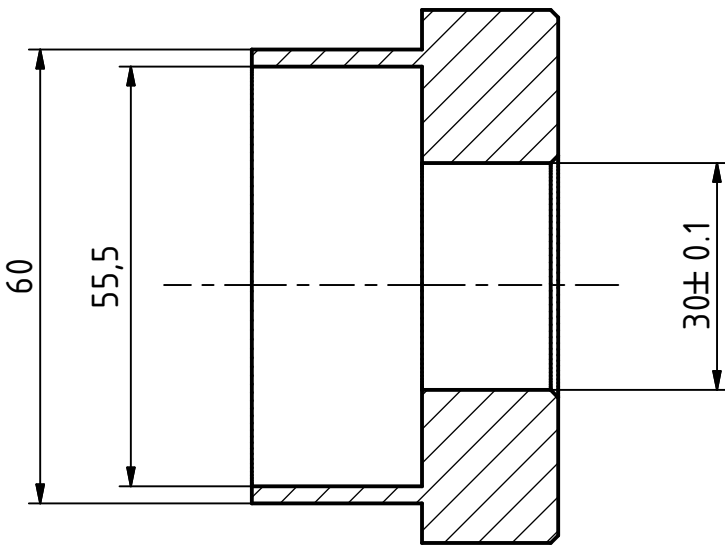


N8 ✓

Designed by Mon.-Gav.	Checked by Ing.N.Jara	Approved by	Date	Date 29/6/2021
			Bloque principal torsión	Edition 8 / 41



T-T (1 : 1)



N8

Designed by Mon-Gav	Checked by Ing.N.Jara	Approved by	Date	Date 29/6/2021
------------------------	--------------------------	-------------	------	-------------------




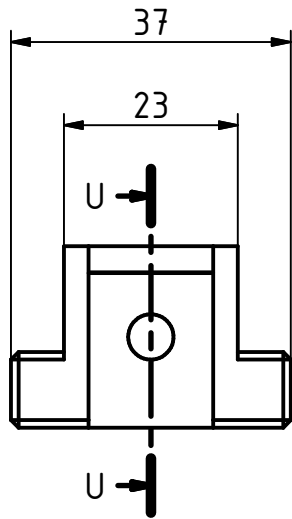
Manija Bloque Sujeción

Edition

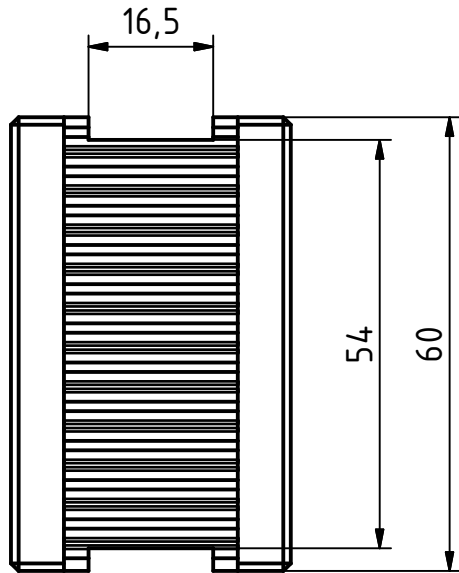
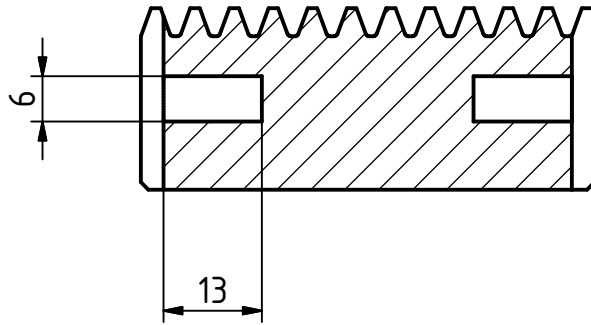
Sheet

9 / 41

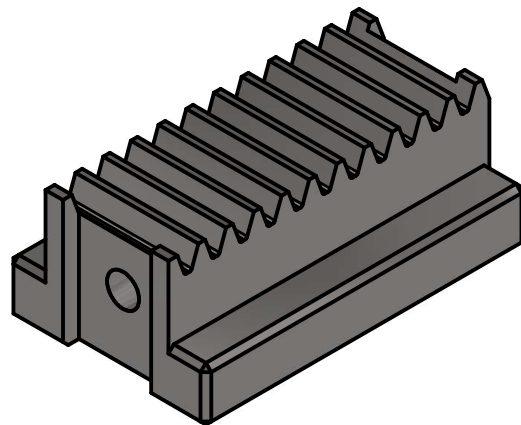
N8 




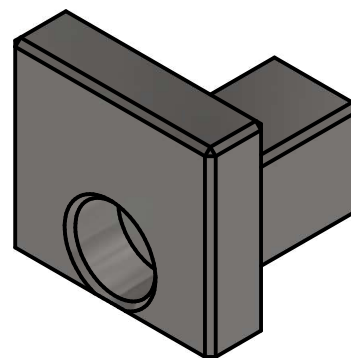
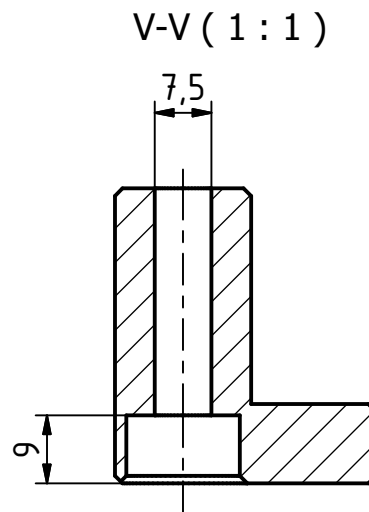
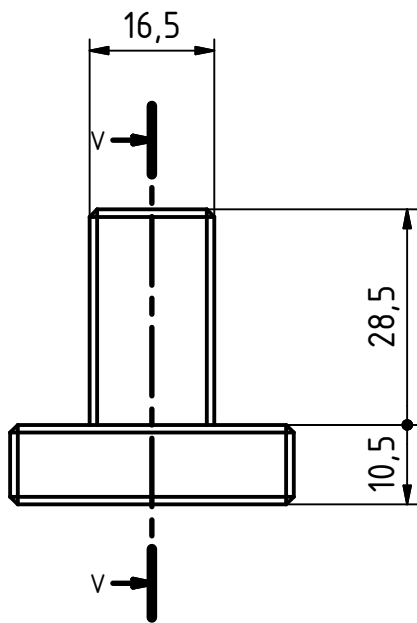
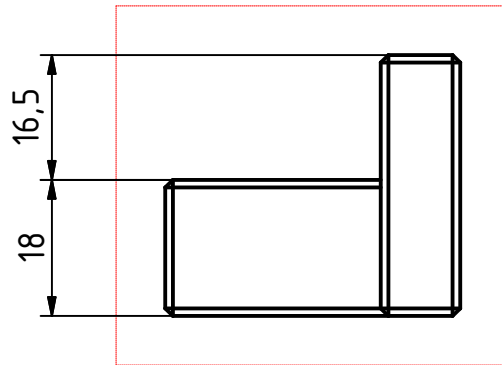
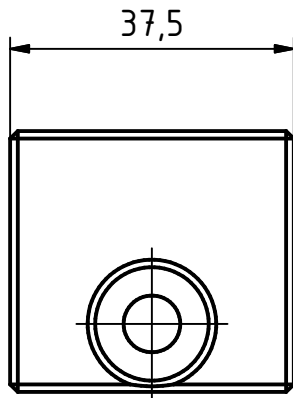
U-U ( 1 : 1 )



Nota: Los chaflanes que se encuentran en la figura son de 1mm.



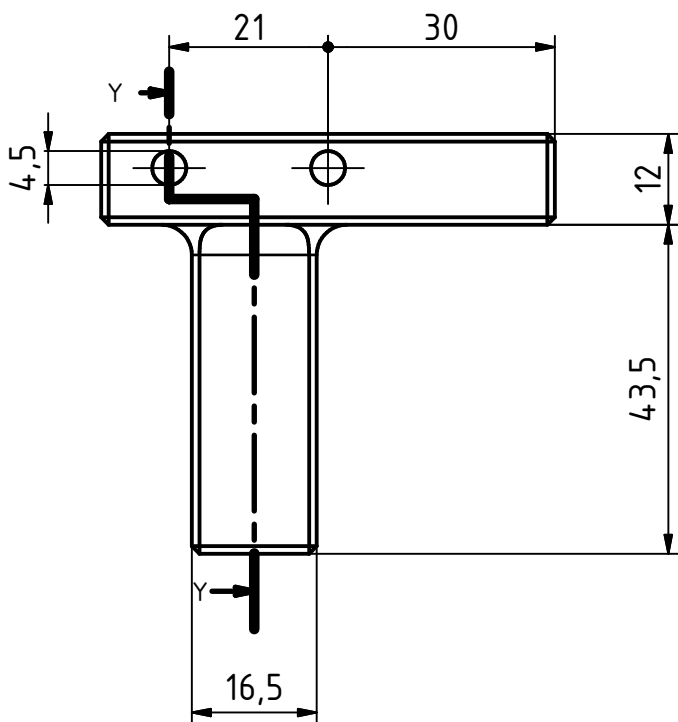
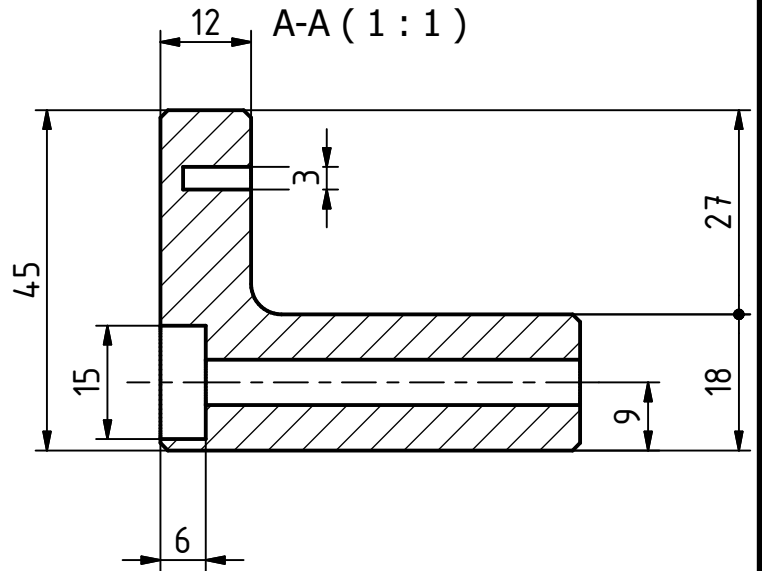
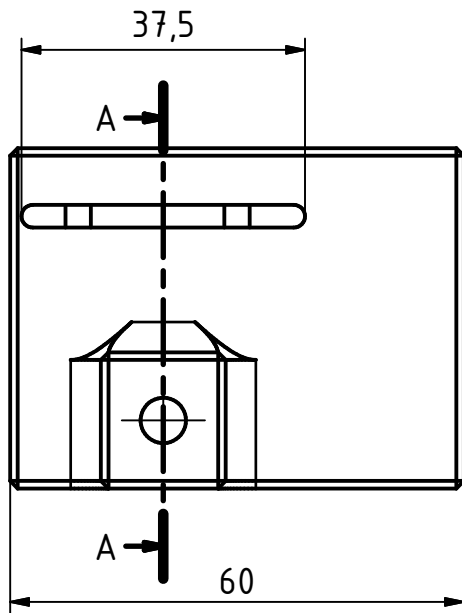
Designed by Mon-Gav	Checked by Ing.N.Jara	Approved by	Date	Date 29/6/2021	
		Cremallera eje torsión		Edition	Sheet 10 / 41



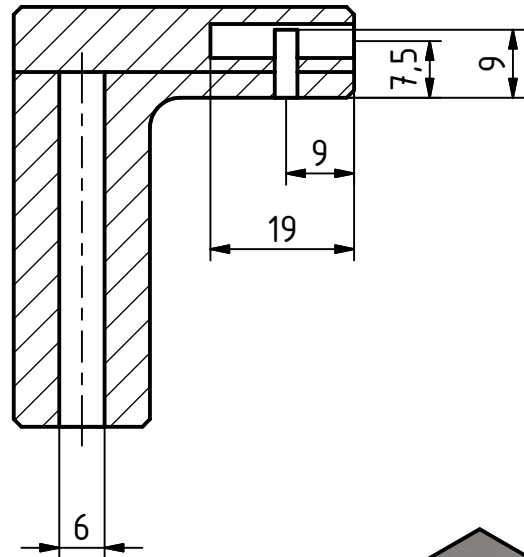
Nota: Los chaflanes que se encuentran en la figura son de 1mm.

N8

Designed by Mon-Gav	Checked by Ing.N.Jara	Approved by	Date	Date 29/6/2021	
		Acople cremallera torsión		Edition	Sheet 11 / 41

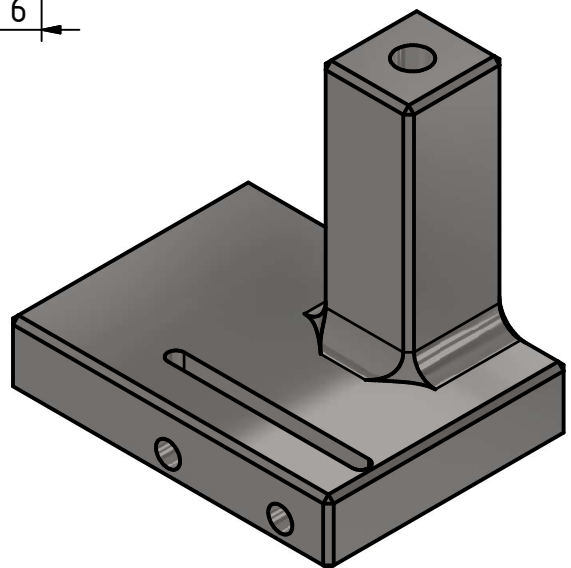


Y-Y (1:1)



Nota: Los chaflanes que se encuentran en la figura son de 1mm.

N8



Designed by Mon-Gav	Checked by Ing.N.Jara	Approved by	Date	Date 29/6/2021
------------------------	--------------------------	-------------	------	-------------------

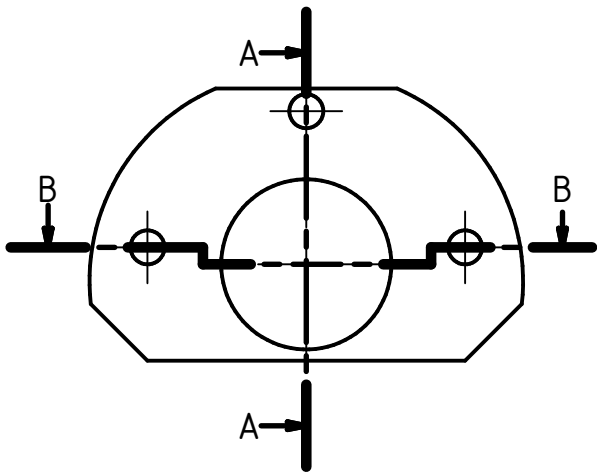


Acople cremallera 2

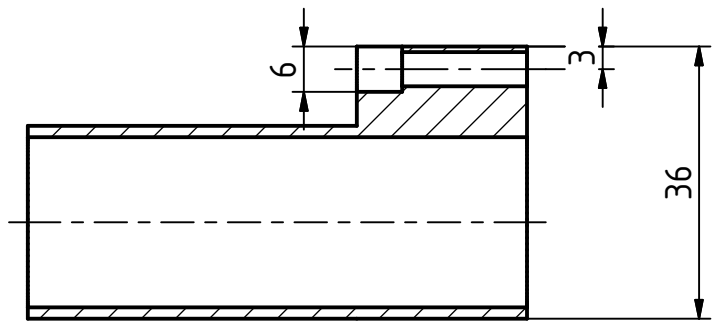
Edition

Sheet

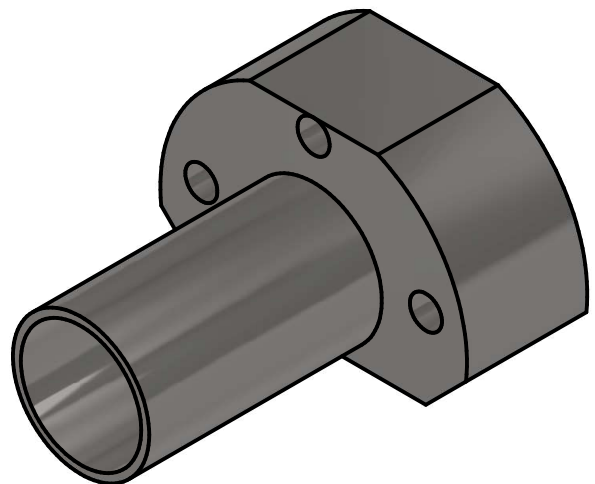
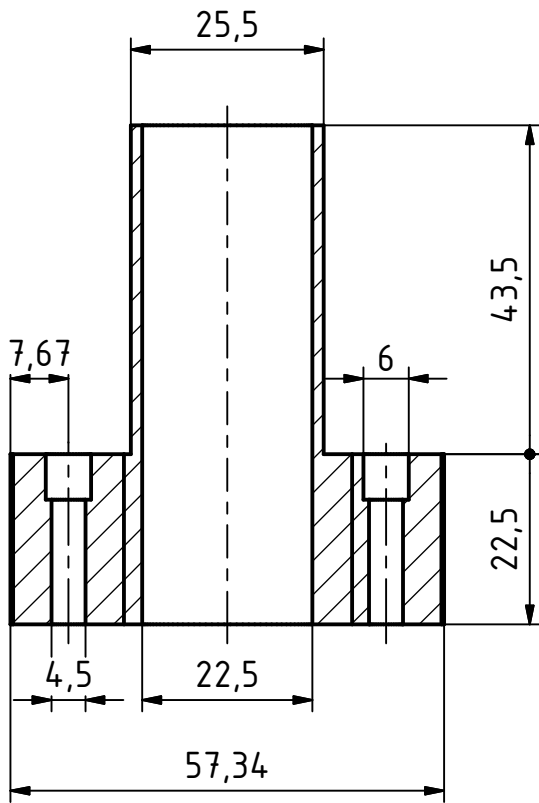
12 / 41



A-A (1 : 1)

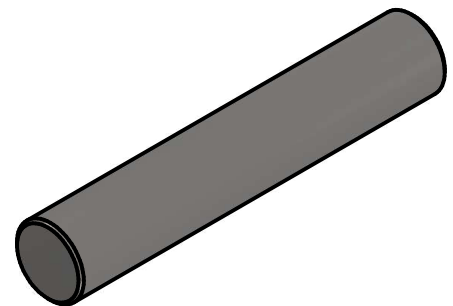
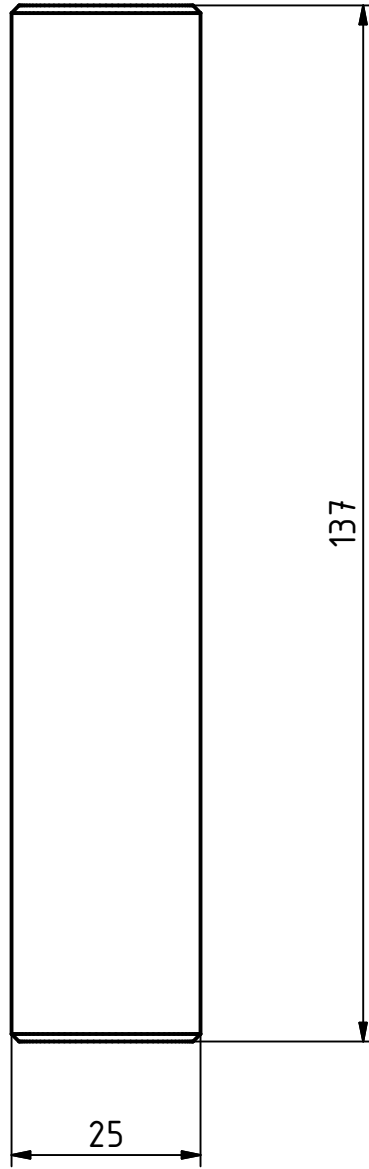


B-B (1 : 1)



N8

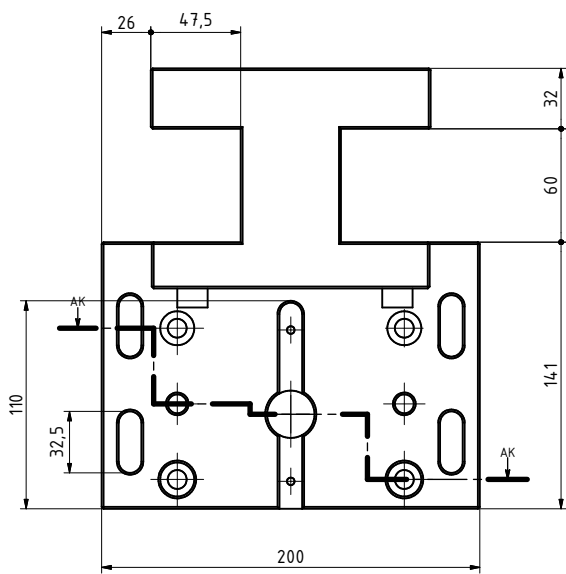
Designed by Mon-Gav	Checked by Ing.N.Jara	Approved by	Date	Date 29/6/2021	
			Tope lateral izquierdo		Edition
					Sheet 13 / 41



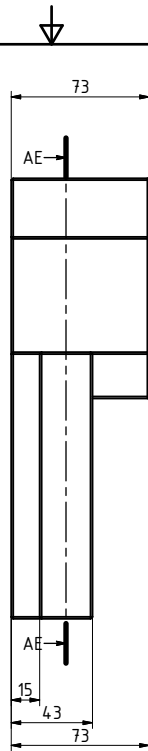
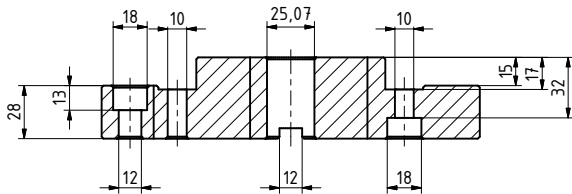
N8

Nota: Los chaflanes que se encuentran en la figura son de 1mm.

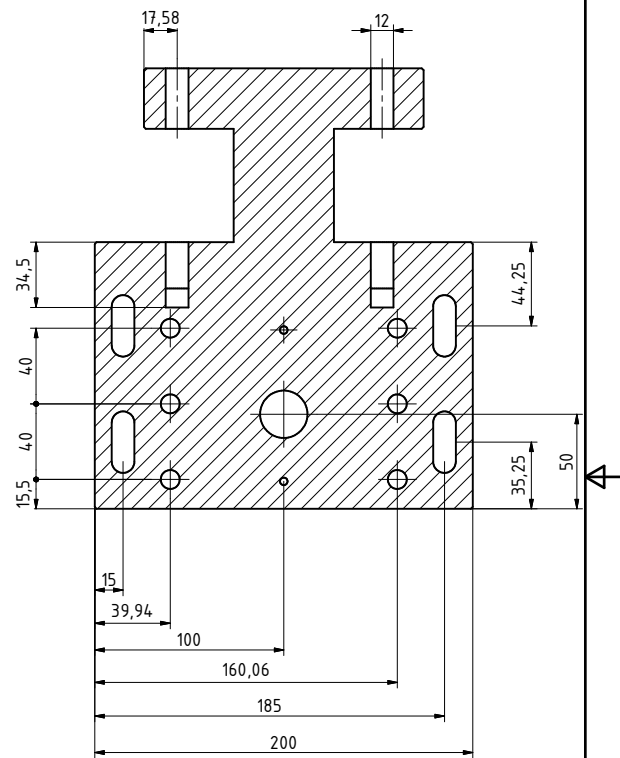
Designed by Mon-Gav	Checked by Ing.N.Jara	Approved by	Date	Date 29/6/2021	
			Edition	Sheet 15 / 41	



AK-AK ( 1 : 2 )




AE-AE ( 1 : 2 )

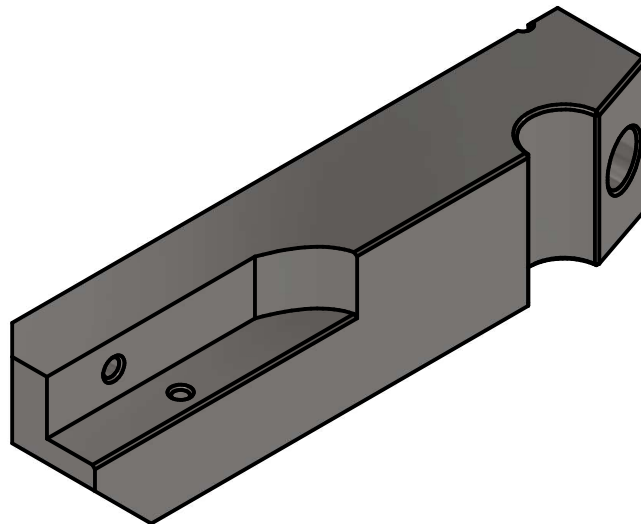
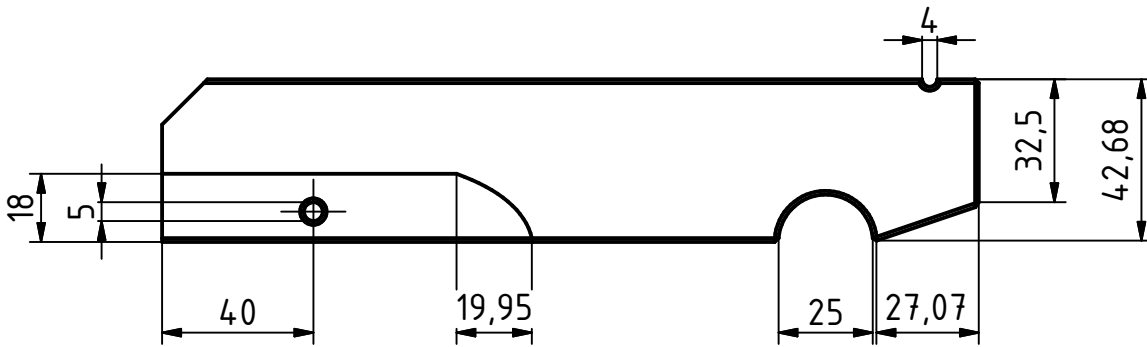
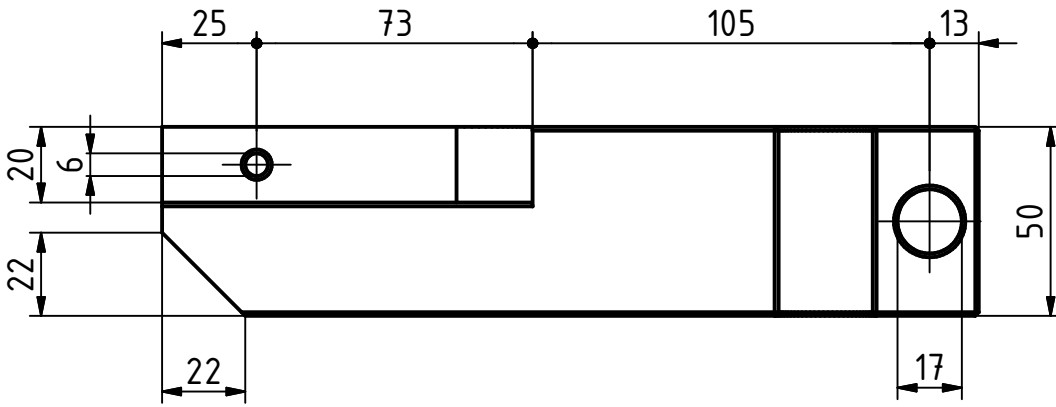


Nota: Los chaflanes que se encuentran en la figura son de 1mm.

N8 ✓

Designed by Mon-Gav	Checked by Ing.N.Jara	Approved by	Date	Date 29/6/2021
			Bloque corte y sujeción	
			Edition	Sheet 16 / 41

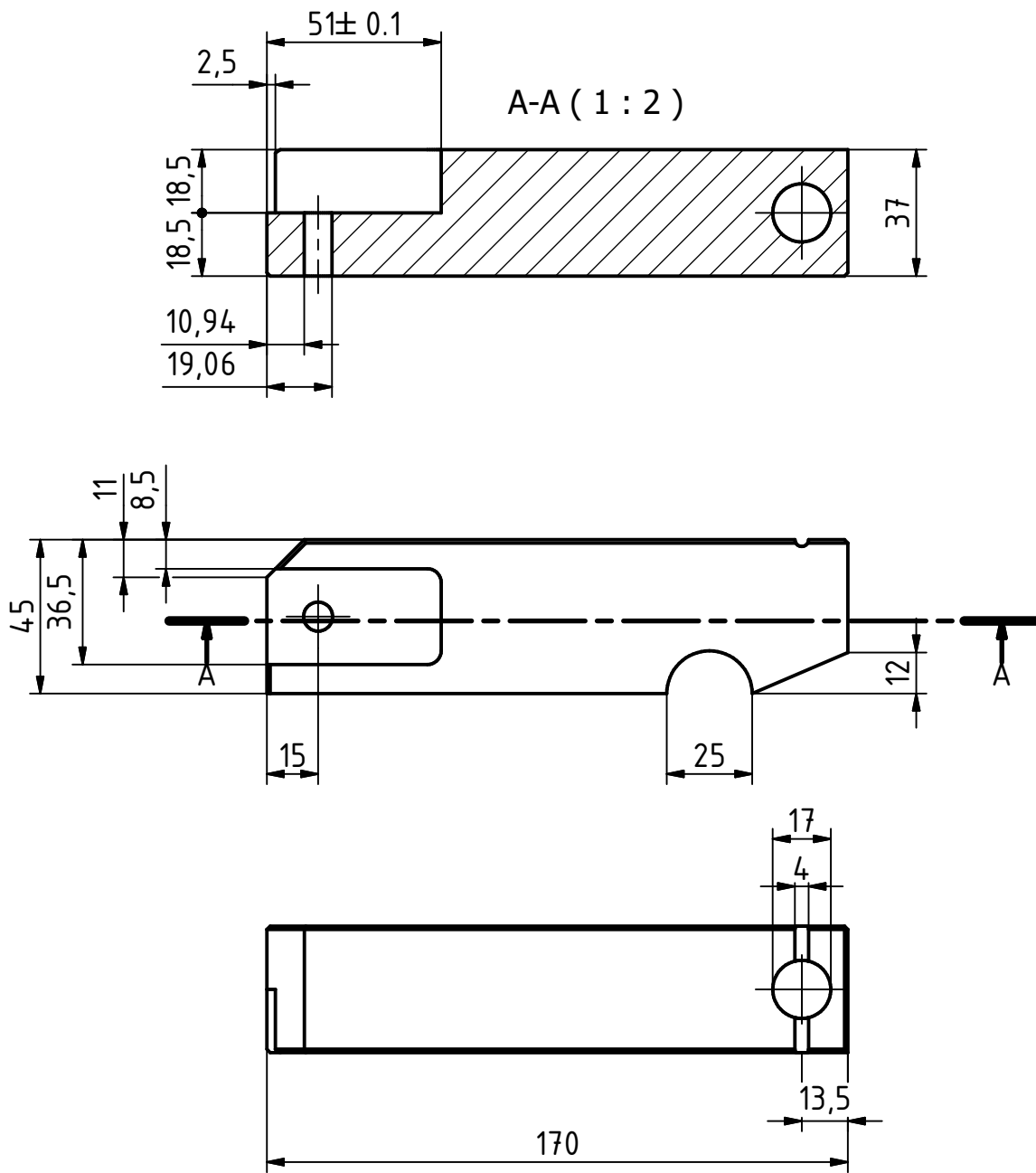




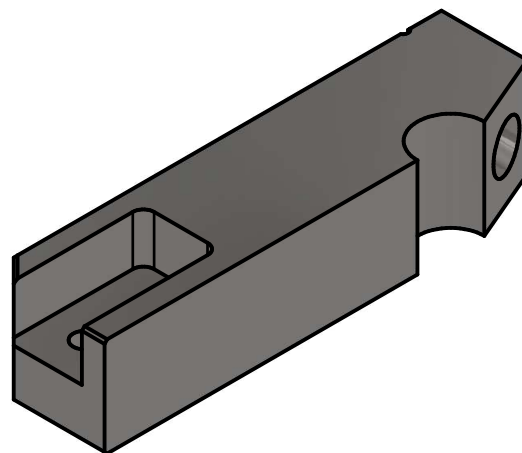
Nota: Los chaflanes que se encuentran en la figura son de 1mm.

N8


Designed by Mon-Gav	Checked by Ing.N.Jara	Approved by	Date	Date 29/6/2021	
		Sujetador de Fazón Der.		Edition	Sheet 17 / 41



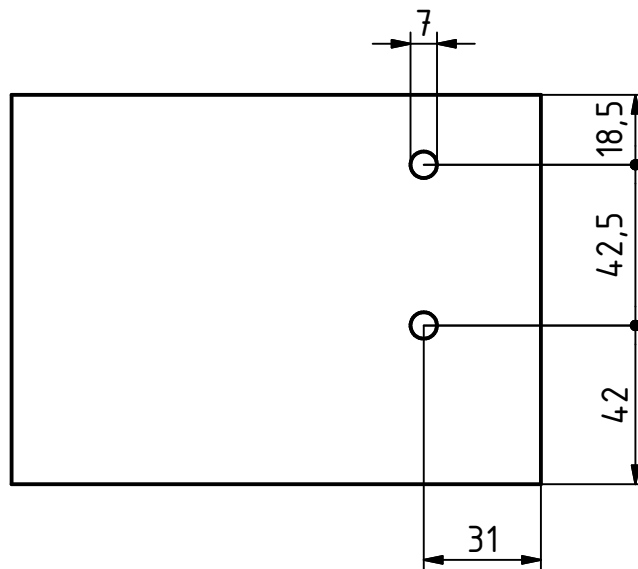
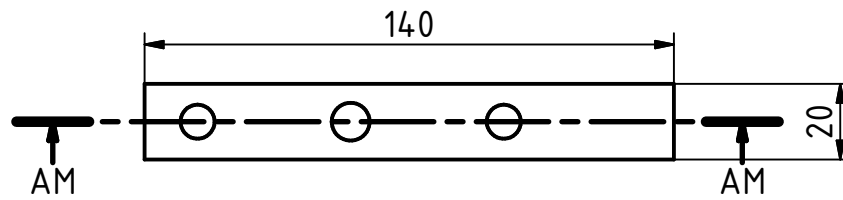
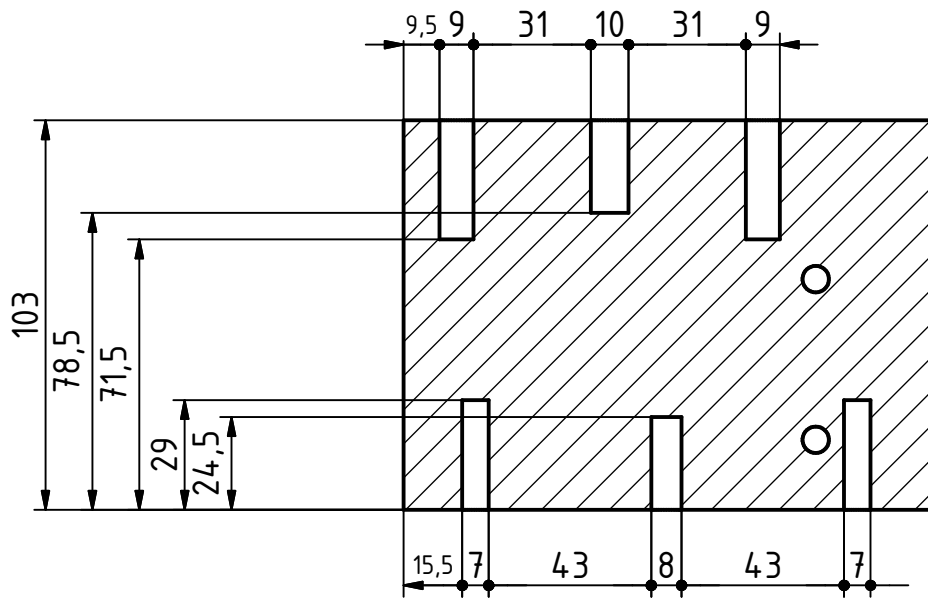
Nota: Los chaflanes que se encuentran en la figura son de 1mm.



N8

Designed by Mon-Gav	Checked by Ing.N.Jara	Approved by	Date	Date 29/6/2021	
		Sujeta cuchilla derecho		Edition	Sheet 18 / 41

AM-AM ( 1 : 2 )



N8

Designed by Mon-Gav	Checked by Ing.N.Jara	Approved by	Date	Date 29/6/2021
------------------------	--------------------------	-------------	------	-------------------

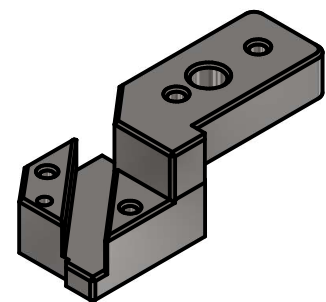
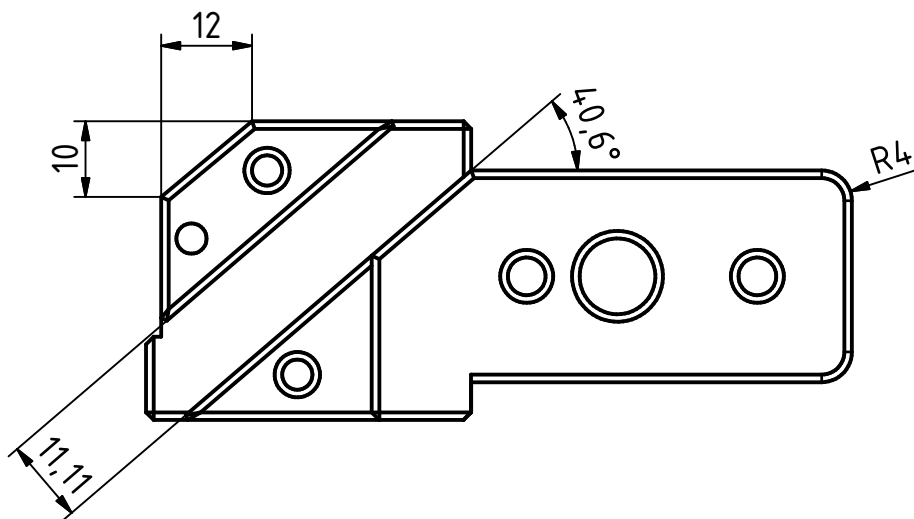
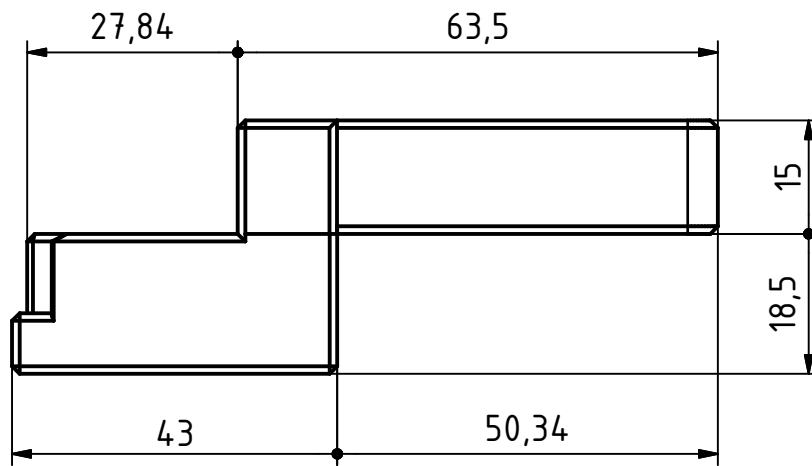
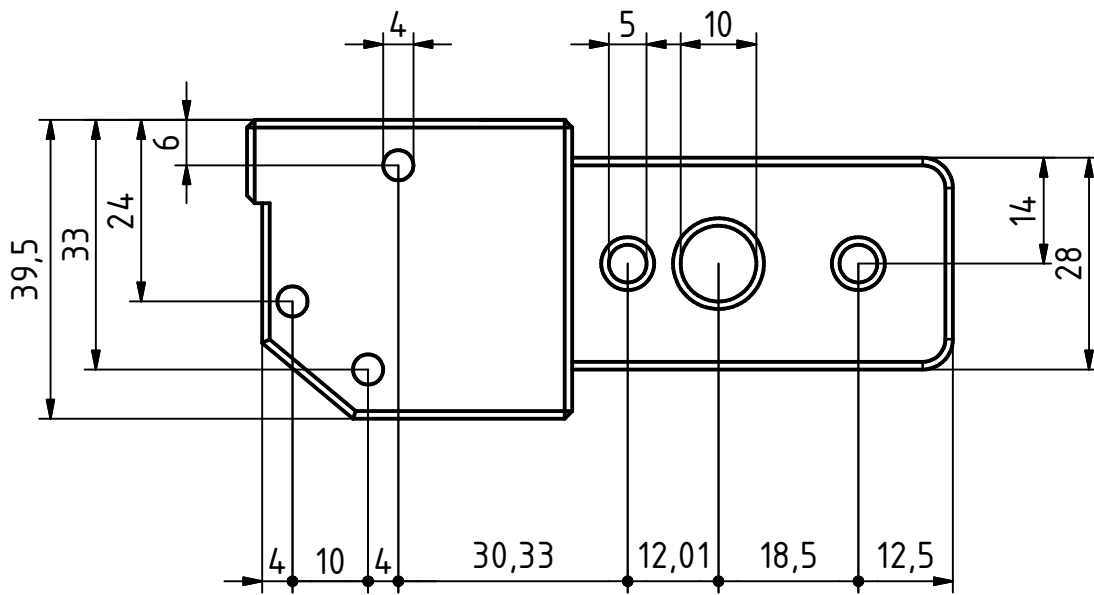


Laterales bloque corte

Edition

Sheet

19 / 41

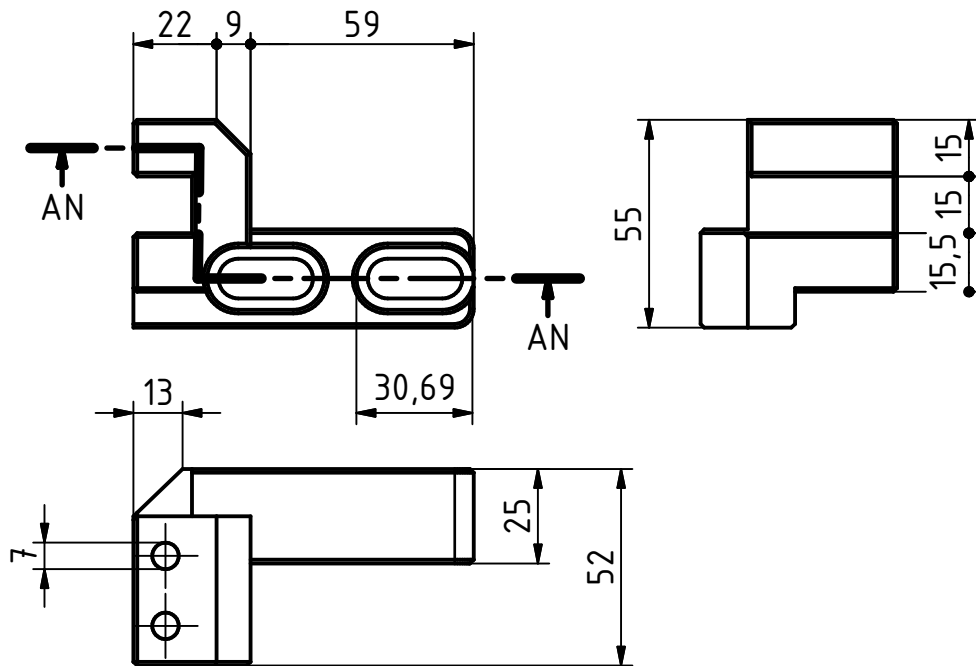
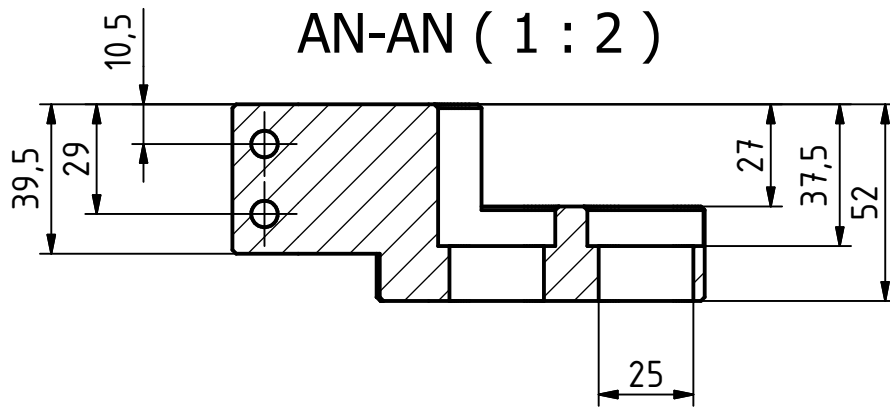


Nota: Los chaflanes que se encuentran en la figura son de 1mm.

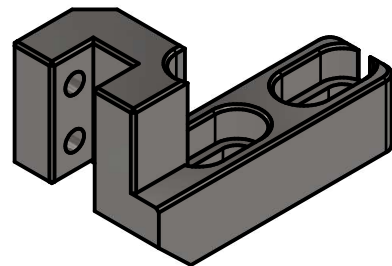
N8

Designed by Mon-Gav	Checked by Ing.N.Jara	Approved by	Date	Date 29/6/2021	
		Acople de sujeta cuchilla der.		Edition	Sheet 20 / 41


# AN-AN ( 1 : 2 )



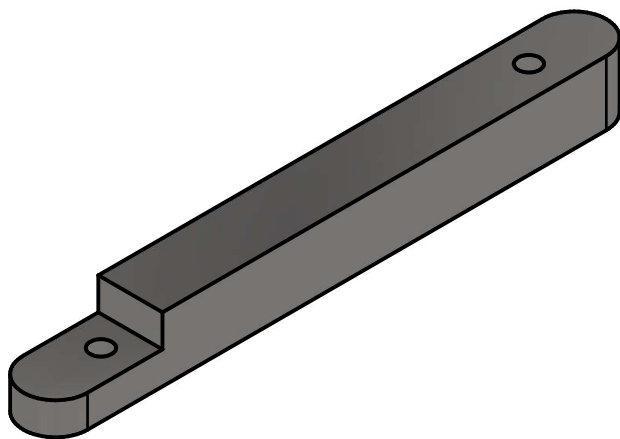
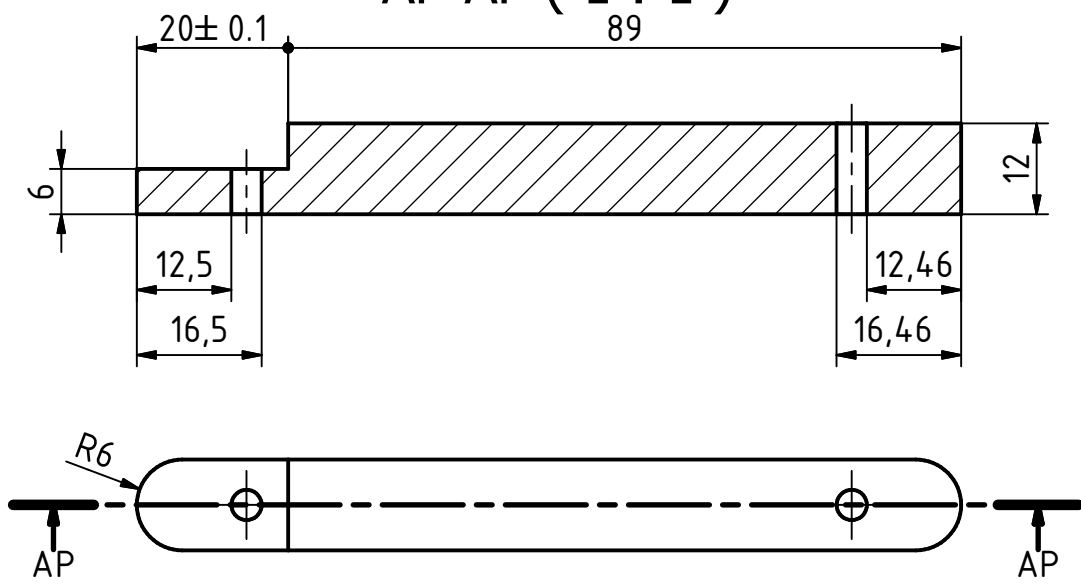
Nota: Los chaflanes que se encuentran en la figura son de 1mm.




N8

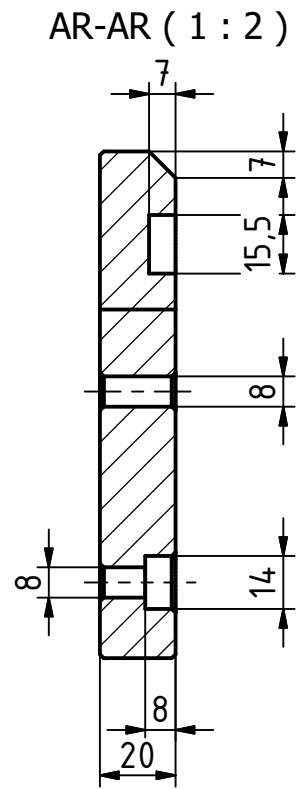
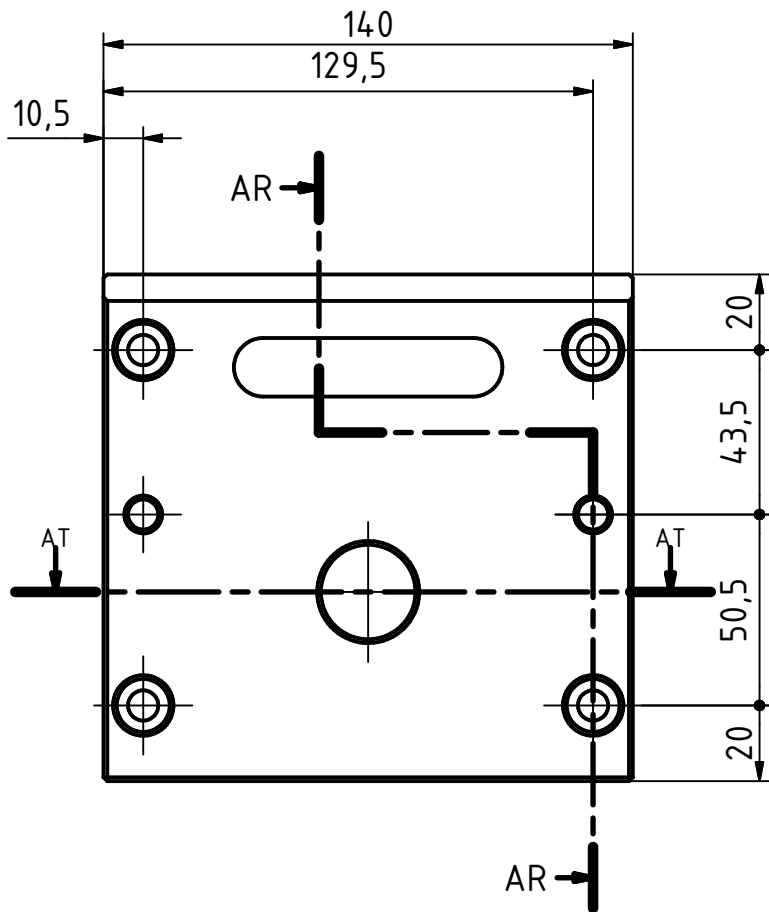
Designed by Mon-Gav	Checked by Ing.N.Jara	Approved by	Date	Date 29/6/2021	
			Acople sujeta chuchilla izq.		Edition Sheet 21 / 41

# AP-AP ( 1 : 1 )

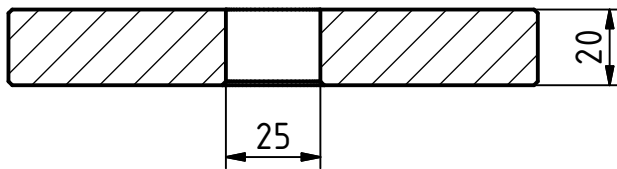


N8

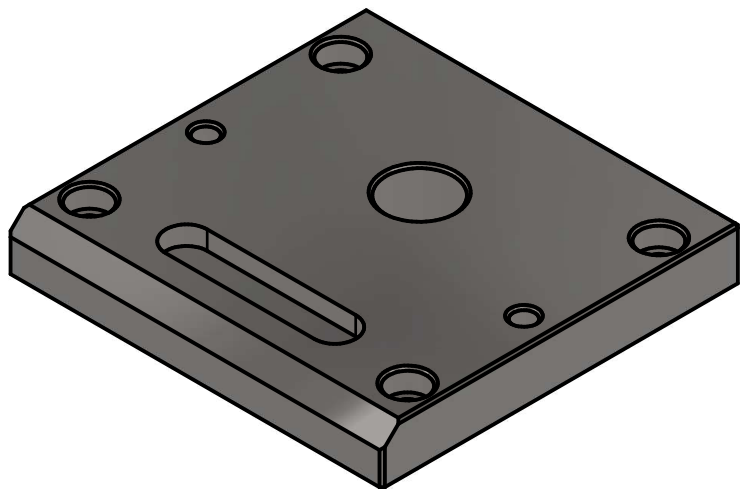
Designed by Mon-Gav	Checked by Ing.N.Jara	Approved by	Date	Date 29/6/2021
		Chaveta bloque de corte		
		Edition	Sheet 22 / 41	



AT-AT ( 1 : 2 )

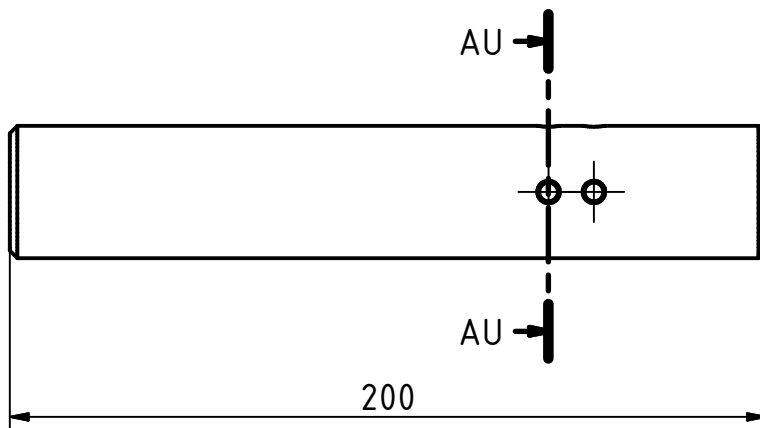


Nota: Los chaflanes que se encuentran en la figura son de 1mm.

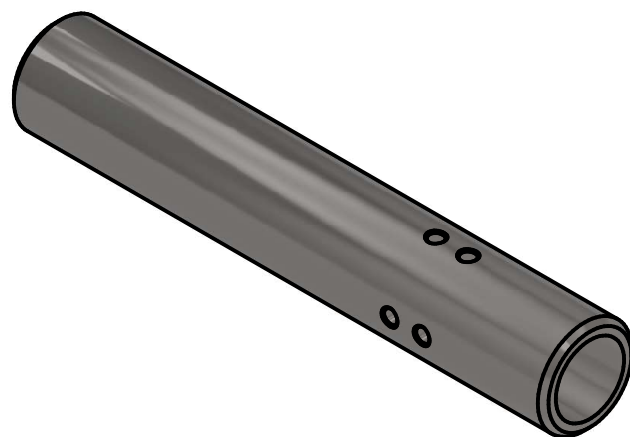
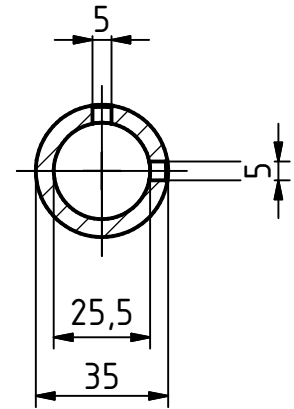


N8

Designed by Mon-Gav	Checked by Ing.N.Jara	Approved by	Date	Date 29/6/2021
		Tapa superior		Edition Sheet 23 / 41




AU-AU ( 1 : 2 )

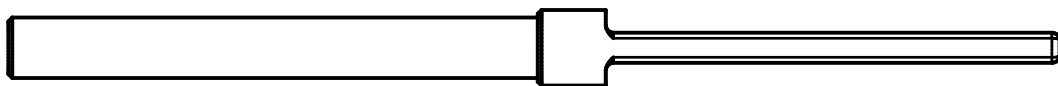
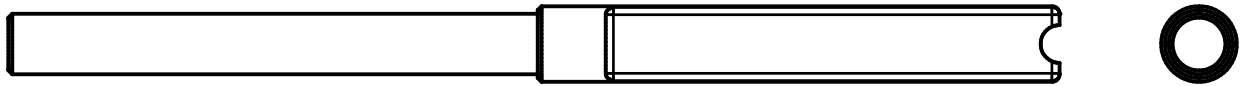


Nota: Los chaflanes que se encuentran en la figura son de 1mm.

N8

Designed by Mon-Gav	Checked by Ing.N.Jara	Approved by	Date	Date 29/6/2021	
		Eje salida de hilo		Edition	Sheet 25 / 41





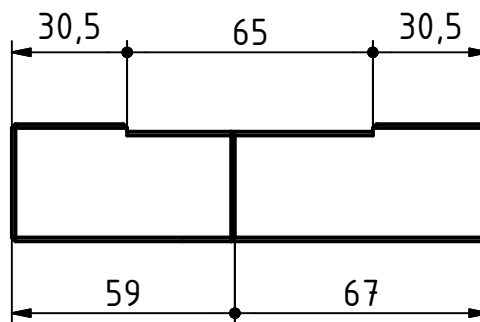
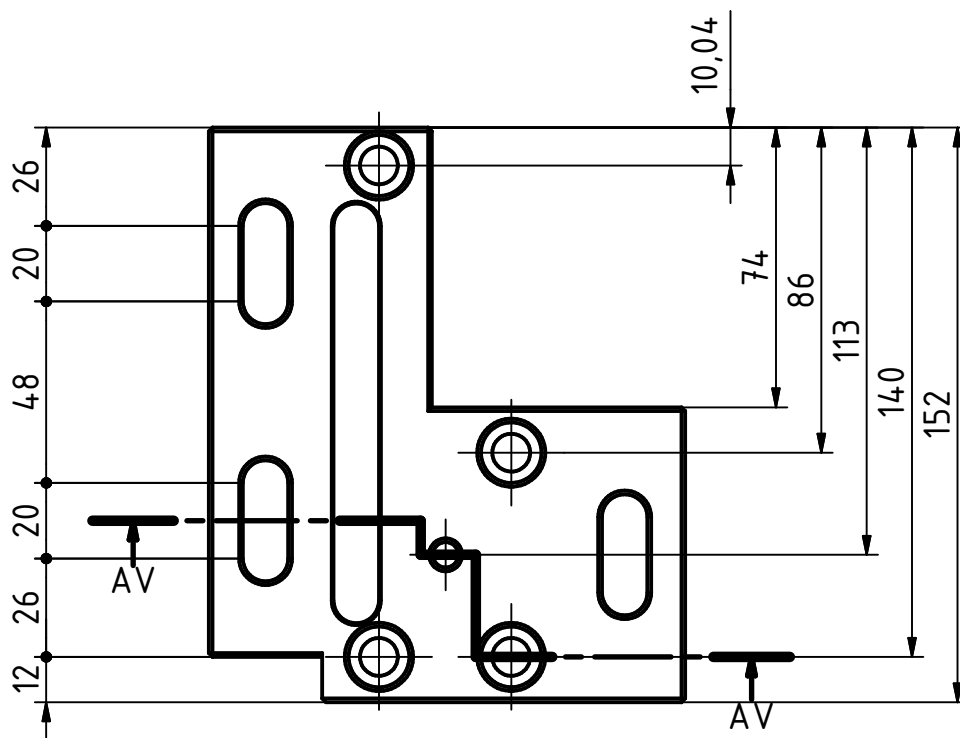
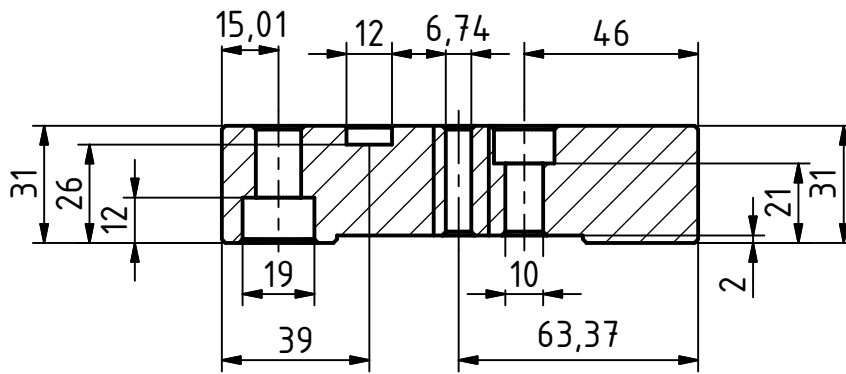
Nota: Los chaflanes que se encuentran en la figura son de 1mm.

TABLE				
HILO	A	B	C	D
3mm	1.45mm	4.5mm	4.24mm	10.39mm
4mm	1.95mm	6mm	5.66mm	13.86mm
5 mm	2.45mm	7.5mm	7.07mm	17.32mm

Designed by Mon-Gav	Checked by Ing.N.Jara	Approved by	Date	Date 29/6/2021
------------------------	--------------------------	-------------	------	-------------------


	Espina		Edition	Sheet
				26 / 41

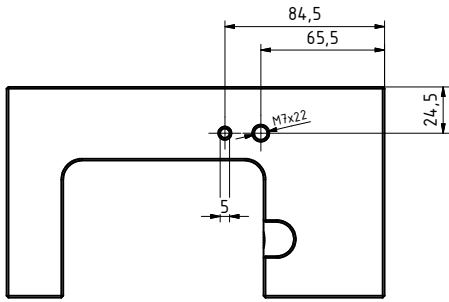
AV-AV ( 1 : 2 )



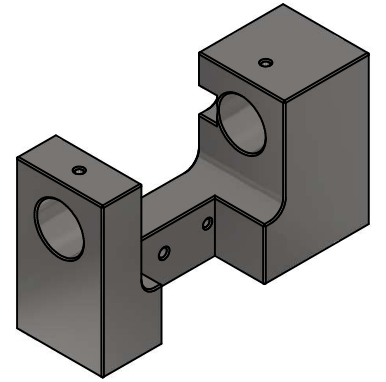
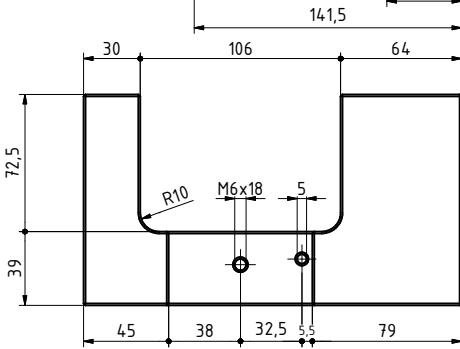
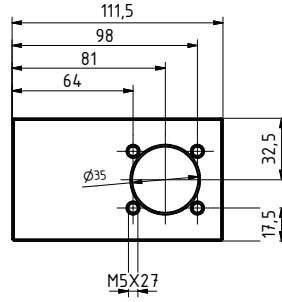
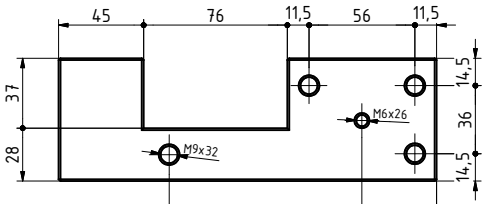
Nota: Los chaflanes que se encuentran en la figura son de 1mm.

N8


Designed by Mon-Gav	Checked by Ing.N.Jara	Approved by	Date	Date 29/6/2021	
		Bloque base Dis. Hilo		Edition	Sheet 27 / 41



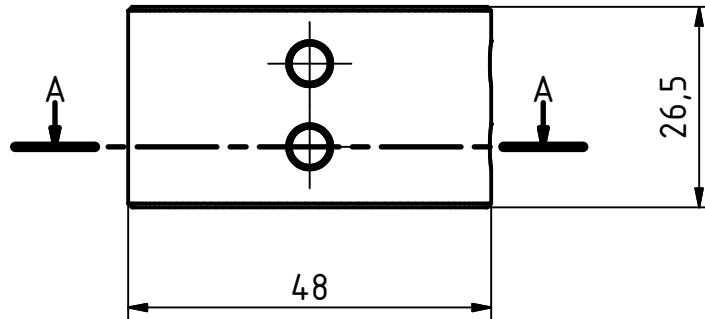
Nota: Los chaflanes que se encuentran en la figura son de 1mm.



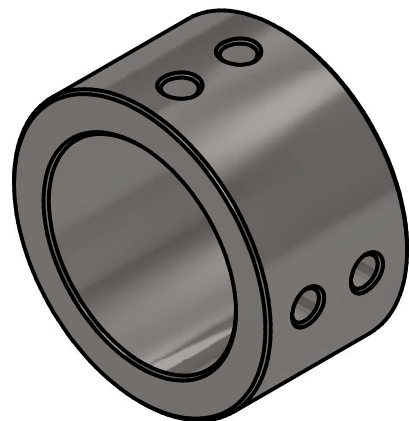
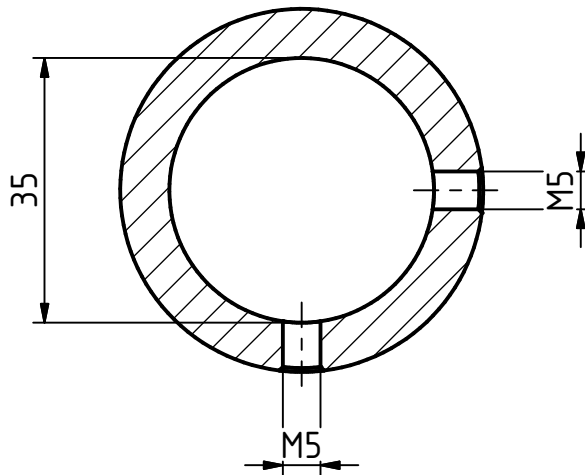
N8 ✓

Designed by Mon-Gav	Checked by Ing.N.Jara	Approved by	Date	Date 29/6/2021
			Bloque principal dis. hilo	Edition Sheet 28 / 41






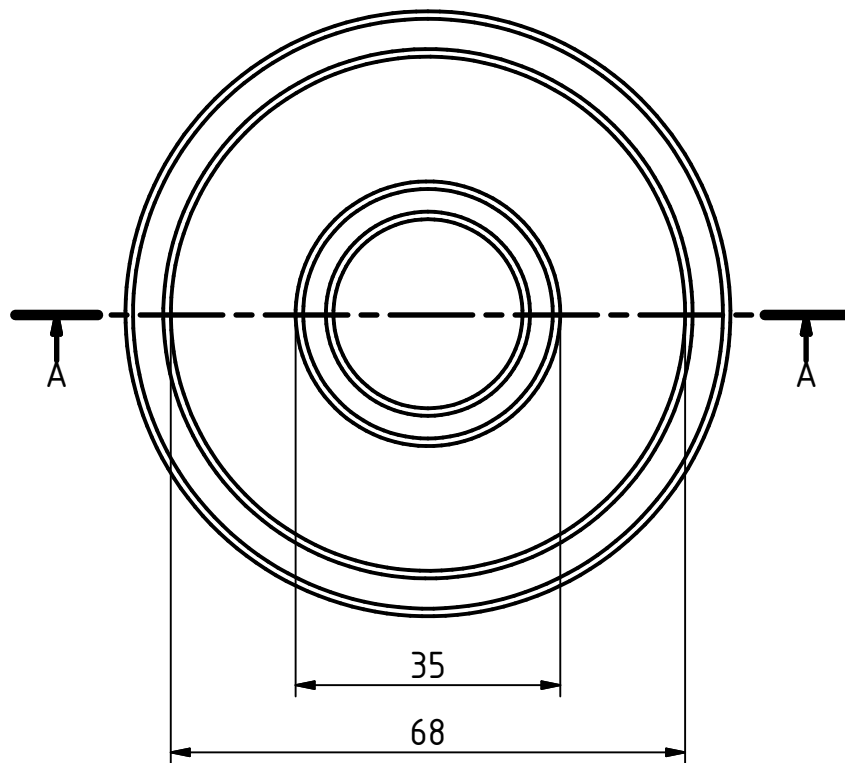
A-A ( 1 : 1 )



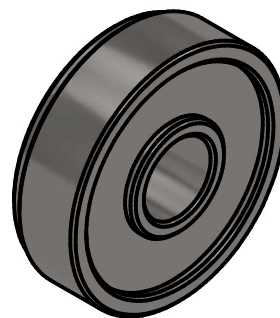
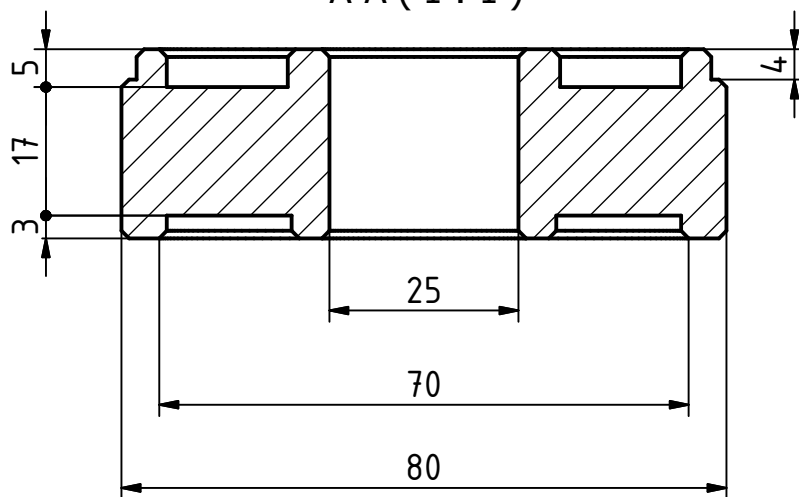
Nota: Los chaflanes que se encuentran en la figura son de 1mm.



Designed by Mon-Gav	Checked by Ing.N.Jara	Approved by	Date	Date 29/6/2021	
		Acople de eje dis. hilo		Edition	Sheet 29 / 41




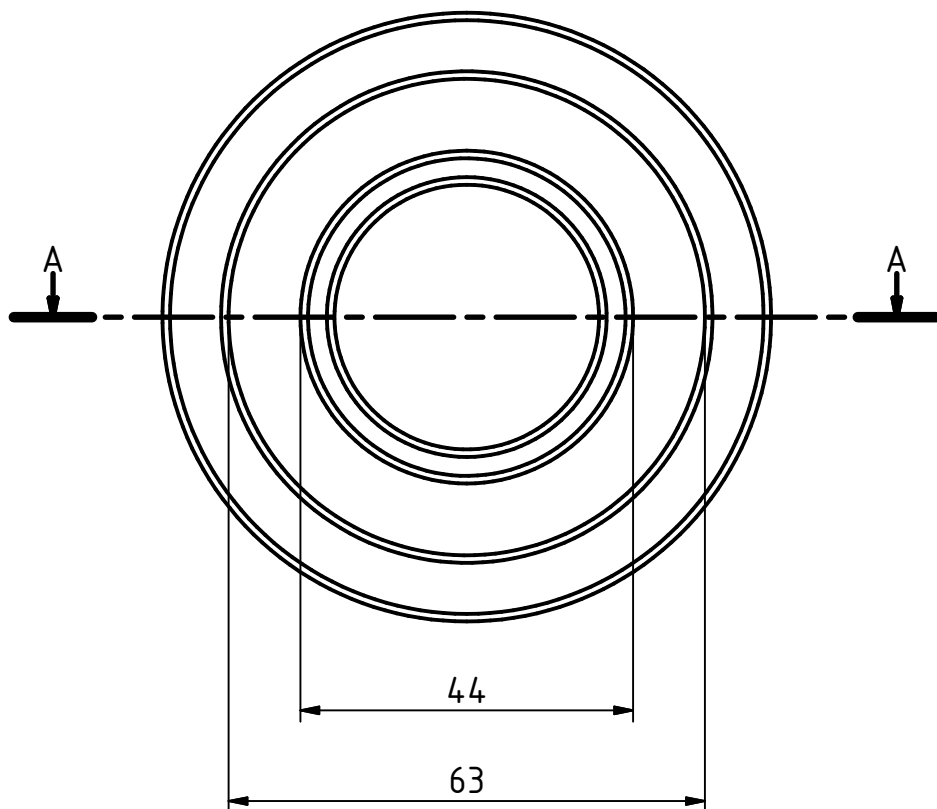
A-A (1 : 1)



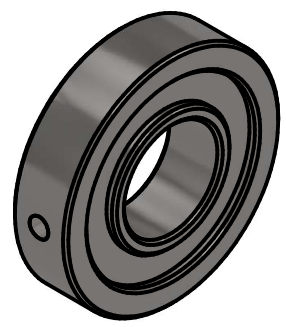
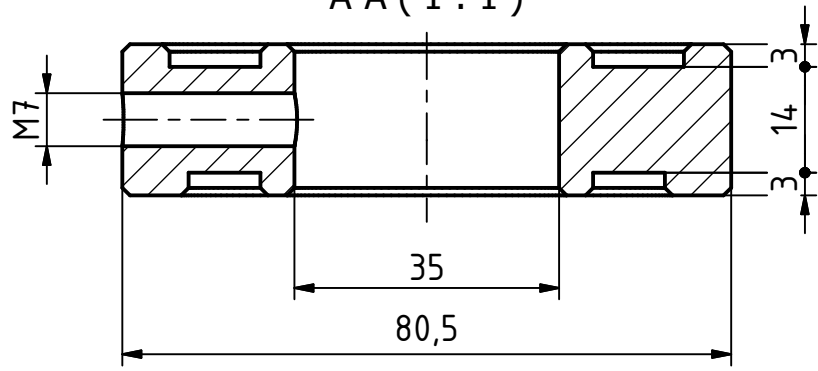
Nota: Los chaflanes que se encuentran en la figura son de 1mm.



Designed by Mon-Gav	Checked by Ing.N.Jara	Approved by	Date	Date 29/6/2021
		Manija 1 dis. hilo		Edition Sheet 30 / 41



A-A ( 1 : 1 )



Nota: Los chaflanes que se encuentran en la figura son de 1mm.



Designed by Mon-Gav	Checked by Ing.N.Jara	Approved by	Date	Date 29/6/2021
------------------------	--------------------------	-------------	------	-------------------

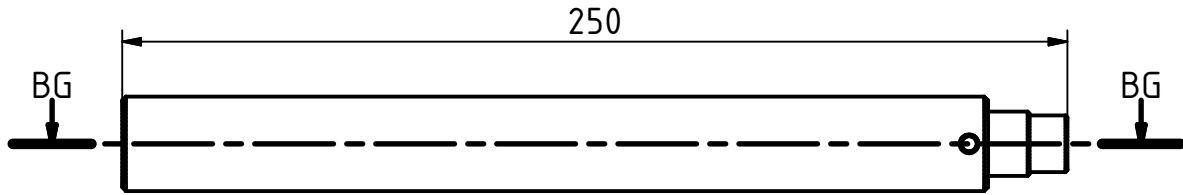


Manija 2 dis. hilo

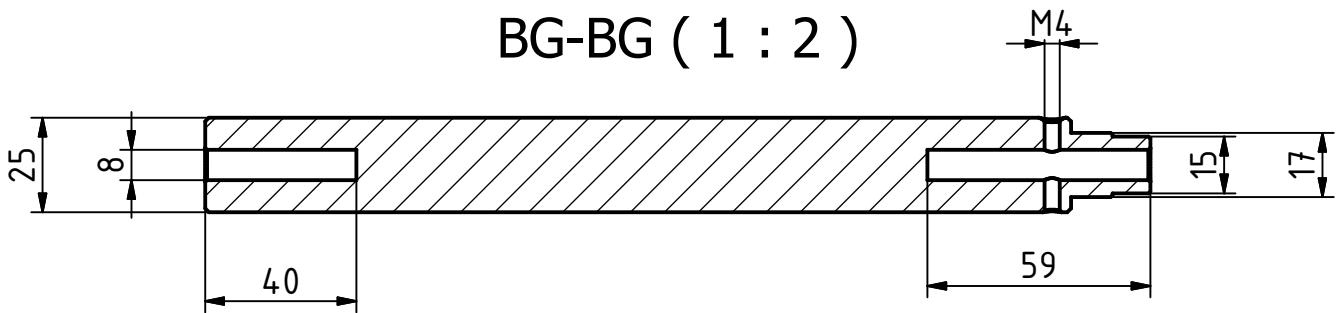
Edition

Sheet

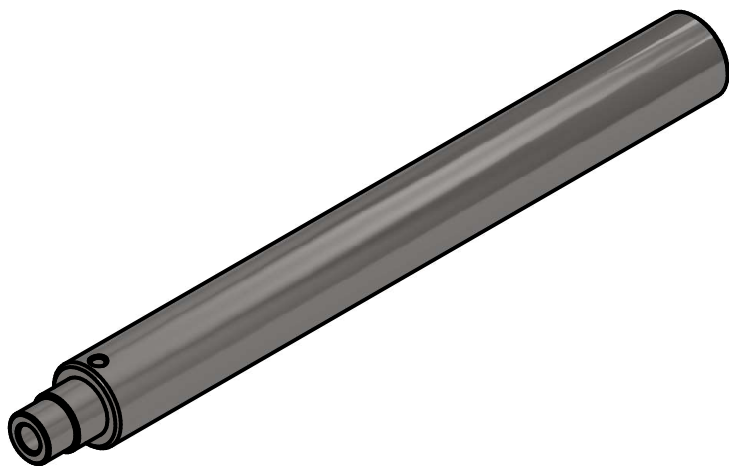
31 / 41



BG-BG ( 1 : 2 )



Nota: Los chaflanes que se encuentran en la figura son de 1mm.

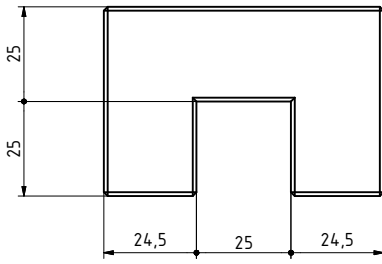
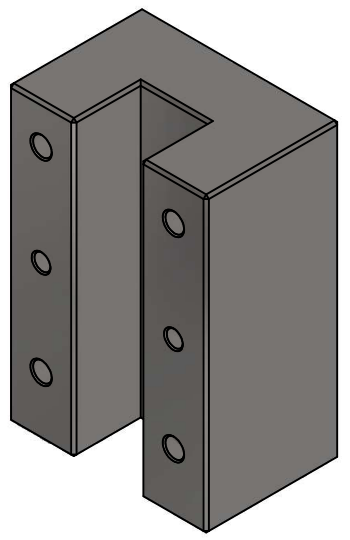
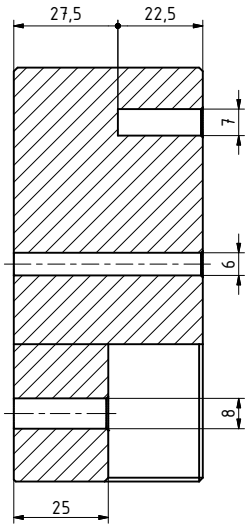
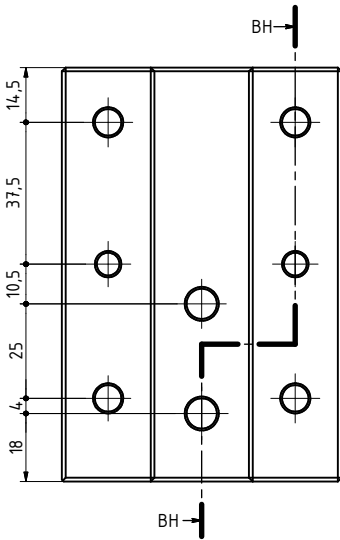


N8

Designed by Mon-Gav	Checked by Ing.N.Jara	Approved by	Date	Date 29/6/2021	
		Eje sujeta espina		Edition	Sheet 32 / 41




BH-BH ( 1 : 1 )

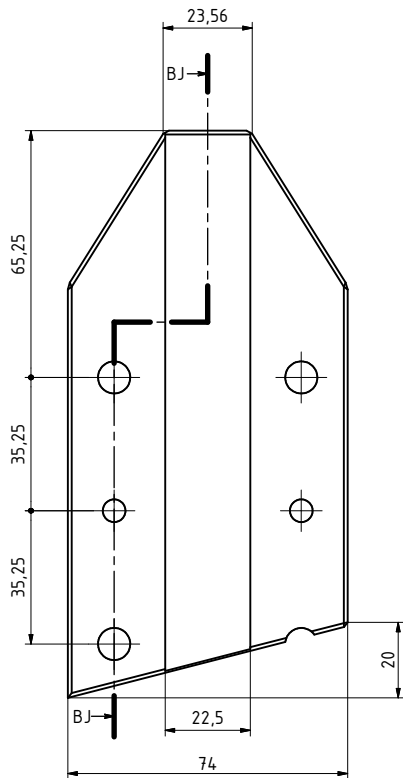


N8

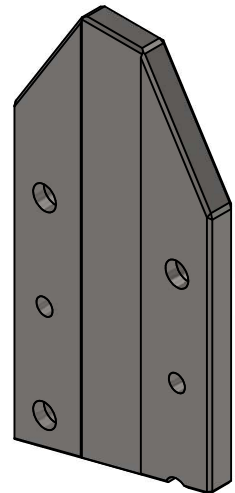
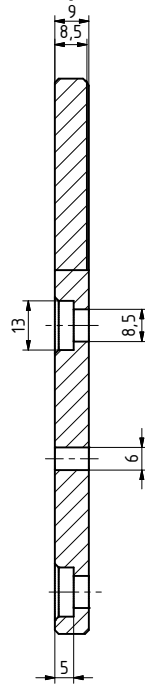


Designed by Mon-Gav	Checked by Ing.N.Jara	Approved by	Date	Date 29/6/2021
			Bloque guía cremallera	
			Edition	Sheet 33 / 41






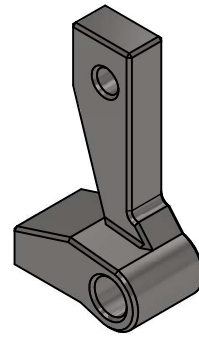
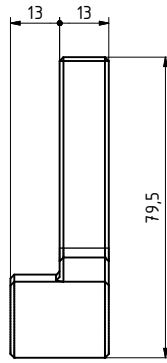
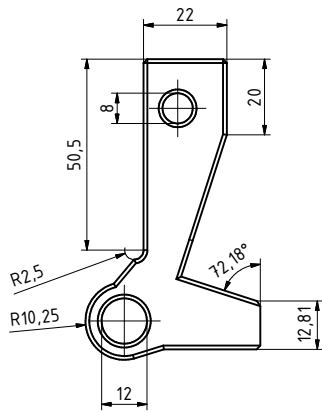
BJ-BJ ( 1 : 1 )



Nota: Los chaflanes que se encuentran en la figura son de 1mm.


N8

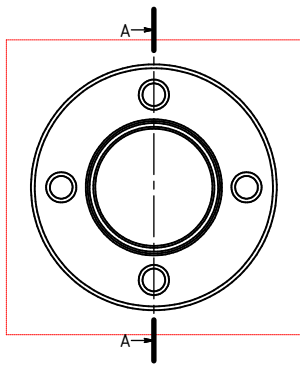
Designed by Mon-Gav	Checked by Ing.N.Jara	Approved by	Date	Date 29/6/2021
		Tapa guía cremallera		Edition Sheet 34 / 41



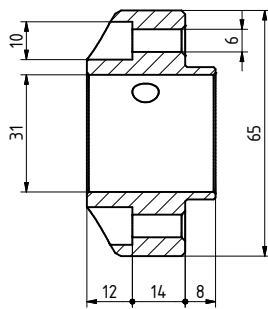
Nota: Los chaflanes que se encuentran en la figura son de 1mm.

N8 ✓

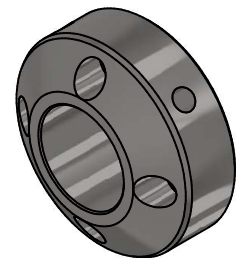
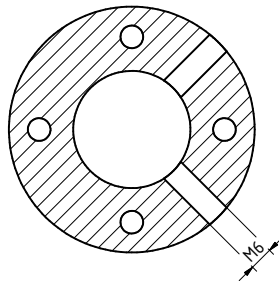
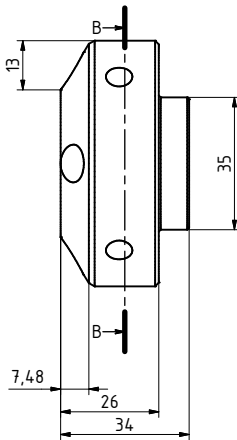
Designed by Mon-Gav	Checked by Ing.N.Jara	Approved by	Date	Date 29/6/2021	
		Tope izq. para regreso de hilo			Edition
					Sheet 35 / 41



A-A (1:1)




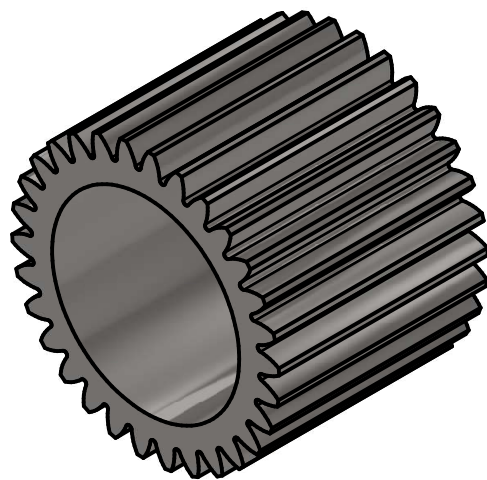
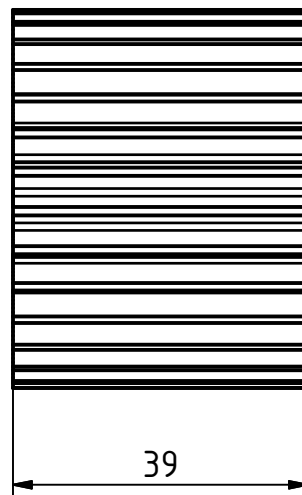
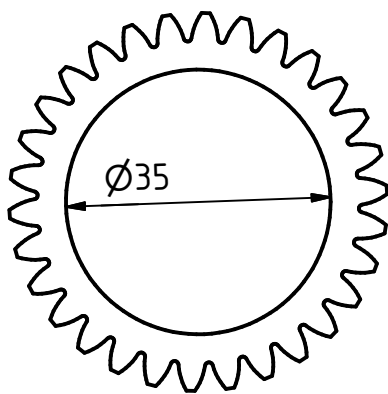
B-B (1:1)



Nota: Los chaflanes que se encuentran en la figura son de 1mm.


N8

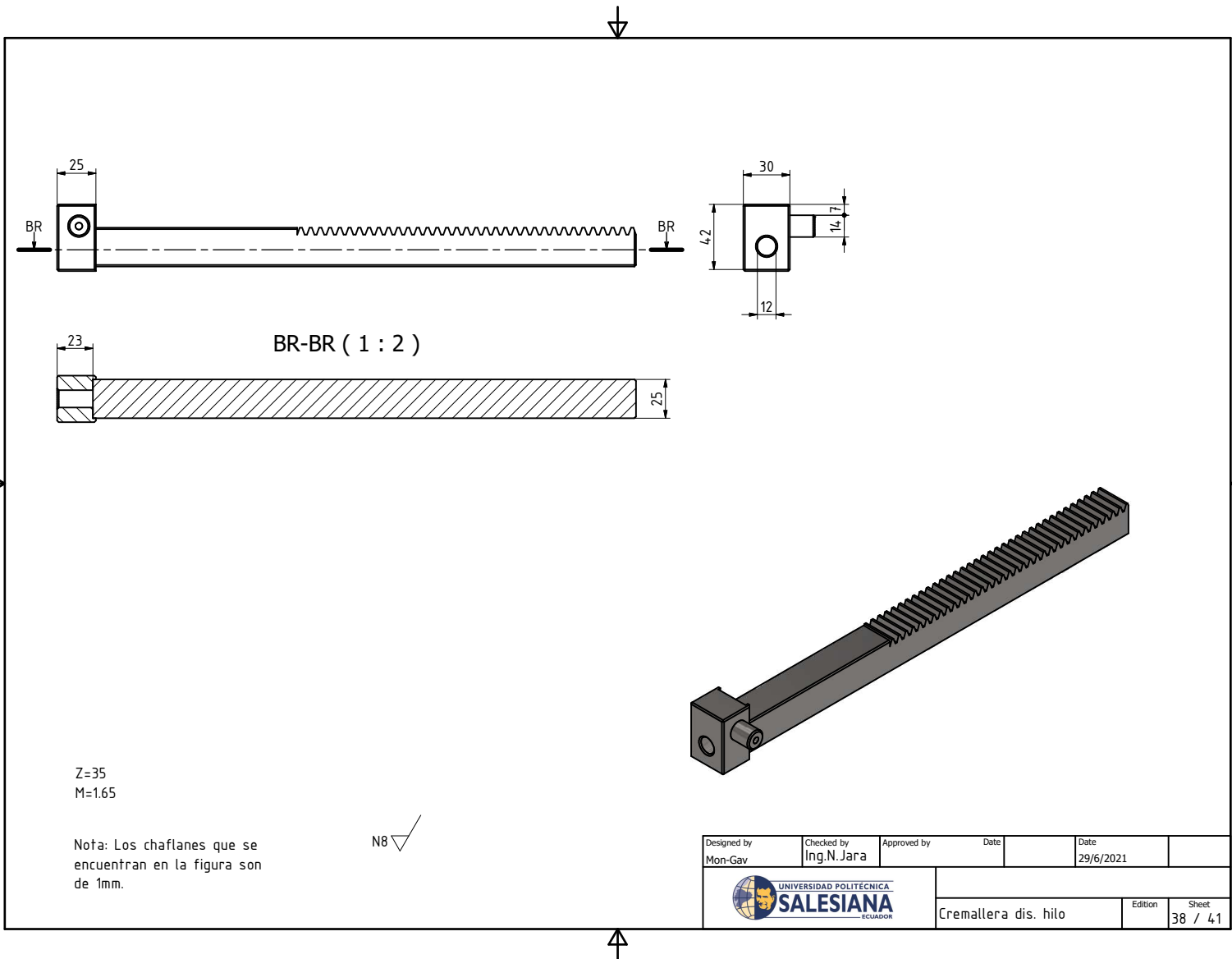
Designed by Mon-Gav	Checked by Ing.N.Jara	Approved by	Date	Date 29/6/2021
			Sujeta espiral	
			Edition	Sheet 36 / 41

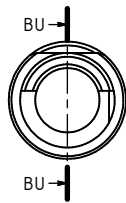
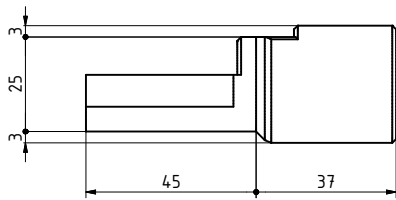


N8

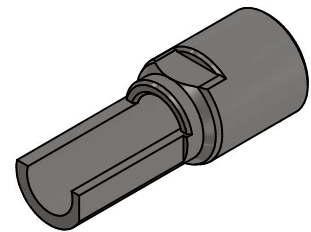
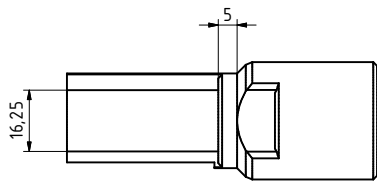
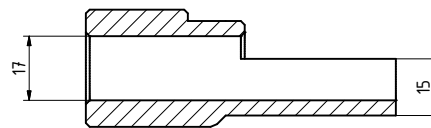
M=2  
Z=30

Designed by Mon-Gav	Checked by Ing.N.Jara	Approved by	Date	Date 29/6/2021	
		Rueda dentada		Edition	Sheet 37 / 41





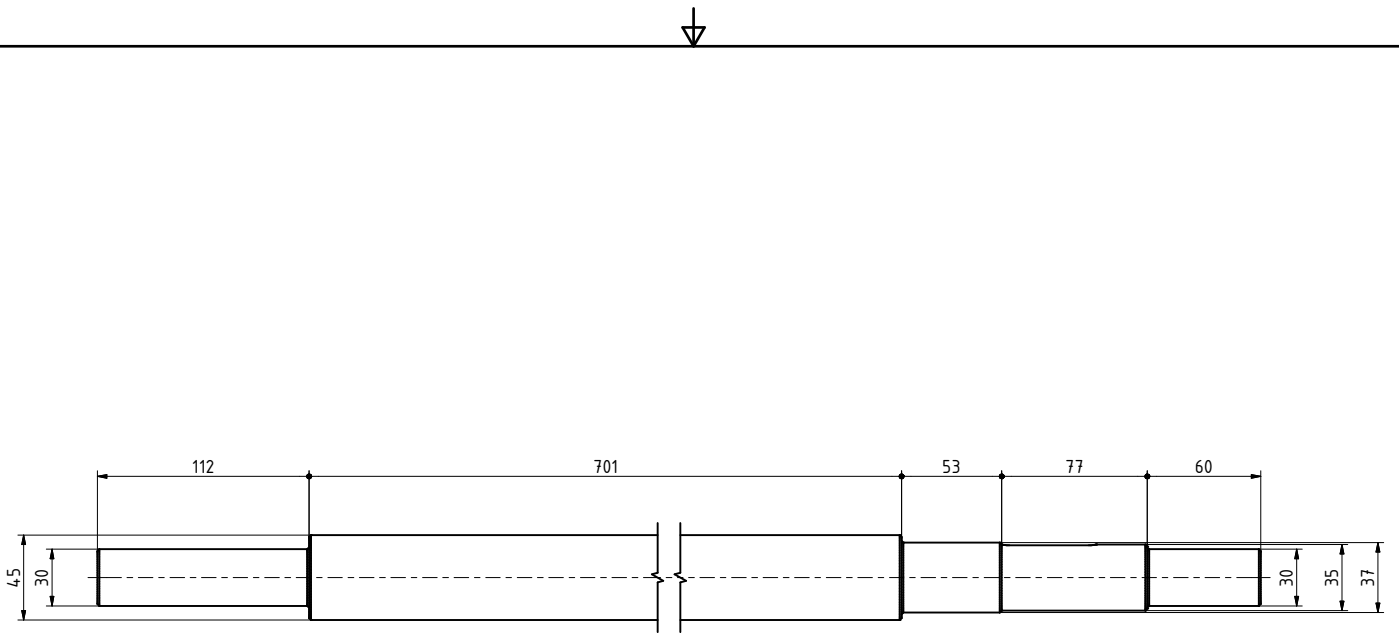
BU-BU ( 1 : 1 )



Nota: Los chaflanes que se encuentran en la figura son de 1mm.


N6

Designed by Mon-Gav	Checked by Ing.N.Jara	Approved by	Date	Date 29/6/2021
			Espiral	Sheet 39 / 41
			Edition	

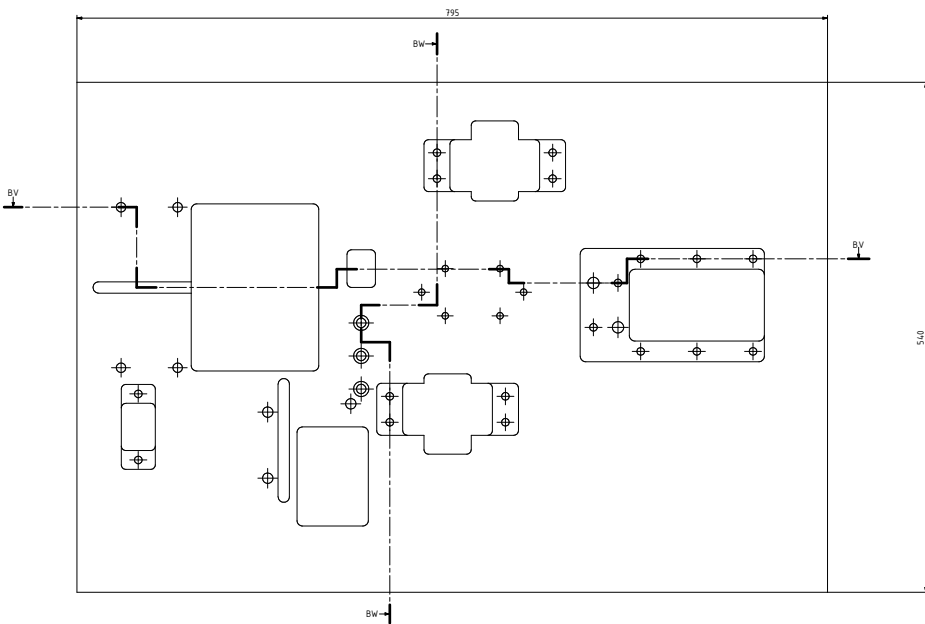


Nota: Los chaflanes que se encuentran en la figura son de 1mm.

N6

Designed by Mon-Gav	Checked by Ing.N.Jara	Approved by	Date	Date 29/6/2021
		Eje de Transmisión Levas		Edition 40 / 41

Sheet  
40 / 41



BW-BW ( 1 : 2 )



BV-BV ( 1 : 2 )



Elaborado por Hoo-Glyu	Revisado por Ing. M. Jara	Aprobado por	Fecha 20/6/2021
UNIVERSIDAD PONTIFICIA <b>SALESIANA</b>			Mesa de Trabajo
			Edición 41 / 41