

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA**

**AZCAPOTZALCO**

**DIVISION DE CIENCIAS BASICAS E INGENIERÍA**

**LICENCIATURA EN INGENIERIA MECÁNICA**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE TRES MECANISMOS  
DIDACTICOS DE CUATRO ELEMENTOS (RRRR, RRRP, RRPR)  
INSTRUMENTADOS CON POTENCIÓMETROS DE PRECISIÓN**

**POR**

**VICTOR GARCIA GUTIERREZ**

**208336180**

**ASESOR**

**ING. ROMY PEREZ MORENO**

**TRIMESTRE 14-O**

**MEXICO D.F. 09 DE ENERO DE 2015**

**Declaratorias:**

**Yo, ING. ROMY PEREZ MORENO, declaro que aprobé el contenido del presente Reporte de Proyecto de Integración y doy mi autorización para su publicación en la Biblioteca Digital, así como en el Repositorio Institucional de UAM Azcapotzalco.**

**Yo, VICTOR GARCIA GUTIERREZ, doy mi autorización a la Coordinación de Servicios de Información de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, para publicar el presente documento en la Biblioteca Digital, así como en el Repositorio Institucional de UAM Azcapotzalco.**

**A MIS HERMANOS.**

**LEIDING, YOAN Y DIANA.**

*Siempre trate de ser un hombre correcto, un modelo a seguir, alguien que les marcara el camino y que les diera el aliento necesario cuando no tuvieran fuerza, sin embargo ustedes fueron la energía que me impulsó a seguir adelante, ustedes mantuvieron firme mis convicciones, ustedes se convirtieron en mi inspiración.*

## **AGRADECIMIENTOS**

**Agradezco a mis padres, Ventura García Hernández y Victoria Gutiérrez Cabrera por haberme dado la vida, el apoyo, la educación y la perseverancia necesaria para poder concluir exitosamente esta gran etapa de mi vida, sin su apoyo y consejos no hubiera sido capaz de culminar este proyecto.**

**A mi novia Marisol Vázquez Osorio por apoyarme y alentarme cuando más necesitaba ayuda, por su paciencia y tolerancia gracias.**

**Al Ing. Romy por brindarme la confianza de realizar este proyecto.**

**Al Sr. Miguel González, por brindarme todo su apoyo para poder realizar el maquinado de este proyecto y por brindarme el tiempo necesario para guiarme en el proceso de maquinado.**

**A la empresa Maderas y Plásticos SA de CV por donar parte del material para realizar este proyecto.**

**A todos los que contribuyeron con palabras de aliento y motivación para que nunca me diera por vencido, a todos ellos les estaré agradecido.**

PI-A



AUTORIZACIÓN DE INSCRIPCIÓN A PROYECTO DE INTEGRACIÓN EN INGENIERÍA MECÁNICA



PI-A-MEC

Trimestre en que se autoriza la propuesta:

14-P

Fecha: 10/ Junio / 2014

PI-A-MEC 04-14P

DATOS DEL ALUMNO

Nombre: Víctor García Gutiérrez

Matrícula: 208336180

Correo personal: victorazul14@gmail.com

Firma

ASESOR RESPONSABLE / DATOS DE LA EMPRESA

Nombre del asesor/Empresa: Romy Pérez Moreno

No. económico: 23812

Adscripción/Departamento/Sección: Energía

Área de investigación: Mecánica

Correo institucional: romy@azc.uam.mx

Firma

COASESOR O ASESOR EXTERNO / JEFE O RESPONSABLE LEGAL DE LA EMPRESA

Nombre del asesor/Jefe o Responsable legal:

No. económico/Teléfono:

Adscripción/Puesto:

Área de investigación/Departamento:

Correo electrónico:

Firma

MODALIDAD DEL PROYECTO

Proyecto tecnológico

Proyecto de investigación

Estancia profesional

Experiencia profesional

TÍTULO DEL PROYECTO

Diseño y construcción de tres mecanismos didácticos de cuatro elementos (RRRR, RRRP, RRPR) instrumentados con potenciómetros de precisión.

OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir tres mecanismos didácticos RRRR, RRRP y RRPR, considerando en el proceso la ubicación de los potenciómetros de precisión.

UNIDADES DE ENSEÑANZA APRENDIZAJE QUE SE AUTORIZAN

Clave	UEA	Se autoriza UEA	Vigencia
1100118	Proyecto de Integración en Ingeniería Mecánica I	Si <input checked="" type="radio"/> No <input type="radio"/>	Del trimestre: 14-O
1100128	Proyecto de Integración en Ingeniería Mecánica II	Si <input type="radio"/> No <input type="radio"/>	Al trimestre: 14-O
1100138	Introducción al Trabajo de Investigación en Ingeniería Mecánica	Si <input type="radio"/> No <input type="radio"/>	

Nombre y firma del Coordinador de Estudios

Dr. Hilario Terres Peña



Originales: Coordinador de Estudios; Coordinación de Sistemas Escolares.  
Copias: Alumno; Asesor(es).

Revisión: Noviembre 2013

## Resumen

Todos o al menos la gran mayoría hemos experimentado la emoción de subirnos a un juego de sensaciones y emociones experimentadas no serían posibles de no ser por el estudio de mecanismos, aunque no estamos conscientes de la presencia de estos mecanismos siempre estamos en constante interacción con ellos.

En nuestra actualidad existe una gran cantidad de máquinas que facilitan nuestra vida, algunas tan sencillas como son una sombrilla o unas pinzas de presión, hasta otras muy complejas como son un automóvil, aviones, barcos, etc. Todas estas máquinas están formadas por mecanismos básicos que el ingeniero mecánico debe conocer a la perfección, ya que de esto dependerán los progresos, avances e innovaciones tecnológicas.

Cada ingeniero mecánico y en general cualquiera que tenga contacto con alguna máquina estará en constante interacción con mecanismos, pero es de vital importancia para nosotros estudiar, analizar y comprender las mallas elementales que serán nuestro principal objeto de estudio. Esto nos permitirá desarrollar máquinas complejas capaces de dar solución a las pequeñas y grandes necesidades que nuestra vida profesional nos presente.

A través de este trabajo se pretende apoyar a los alumnos de ingeniería mecánica para poder realizar de una manera más práctica y visual el desarrollo de la UEA Laboratorio de mecanismos, con este proyecto apoyaremos a que cada uno de los alumnos comprenda de manera más clara el funcionamiento de los mecanismos básicos.

Se construyeron tres mecanismos didácticos de cuatro barras; mecanismo cuatro barras RRRR, mecanismo manivela corredera RRPR, mecanismo inversión de manivela RRRP; capaz de variar sus eslabonamientos, con esto los alumnos tendrán una gran diversidad de configuraciones con las que podrán experimentar y entender mejor el funcionamiento de cada cadena cinemática.

Estos mecanismos están instrumentados con potenciómetros de precisión que funcionarán como sensores de posición, serán capaces de medir el ángulo de desplazamiento de los eslabones necesarios para efectuar el análisis cinemático.

A través de los potenciómetros tendremos posición y por medio de un cronómetro el tiempo, datos necesarios para determinar posteriormente velocidad y aceleración.

Los potenciómetros son resistencias variables lineales por lo que podremos hacer una analogía entre el voltaje y la posición angular. Con este tipo de instrumentación logramos hacer una medición directa por lo que los errores de precisión se verán eliminados casi en su totalidad.

# Contenido

<b>1. OBJETIVOS</b>	<b>1</b>
<b>2. INTRODUCCIÓN</b>	<b>2</b>
<b>3. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA</b>	<b>3</b>
<b>4. MARCO TEÓRICO</b>	<b>4</b>
<b>4.1 CONCEPTOS BÁSICOS</b>	<b>4</b>
<b>4.2 MAQUINAS</b>	<b>5</b>
<b>4.3 MECANISMOS</b>	<b>7</b>
<b>4.3.1 ¿CÓMO SE CLASIFICAN LOS MECANISMOS?</b>	<b>7</b>
<b>4.3.2 MECANISMOS PLANOS</b>	<b>7</b>
<b>4.3.3 GRADOS DE LIBERTAD DE UN MECANISMO PLANO</b>	<b>9</b>
<b>4.4 MECANISMO 4 BARRAS (RRRR)</b>	<b>11</b>
<b>4.4.1 LA CONDICIÓN DE GRASHOF</b>	<b>11</b>
<b>4.5 MECANISMO MANIVELA CORREDERA (RRPR)</b>	<b>13</b>
<b>4.6 INVERSIÓN TIPO L DE MECANISMO MANIVELA CORREDERA</b>	<b>13</b>
<b>4.7 RECURSOS PARA INGENIERÍA</b>	<b>14</b>
<b>4.7.1 MATERIALES METÁLICOS</b>	<b>15</b>
<b>4.7.2 MANUFACTURA Y ENSAMBLE</b>	<b>18</b>
<b>4.7.3 METROLOGÍA PARA MANUFACTURA</b>	<b>22</b>
<b>4.8 AUTOMATIZACIÓN MODERNA</b>	<b>28</b>
<b>4.8.1 PRINCIPIOS DE LA ELECTRICIDAD</b>	<b>28</b>
<b>4.8.2 EL POTENCIOMETRO</b>	<b>31</b>
<b>5. DESARROLLO DEL PROYECTO</b>	<b>34</b>
<b>5.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>34</b>
<b>5.2 METODOLOGÍA DE SOLUCIÓN</b>	<b>35</b>

<b>5.2.1 DIAGRAMA DE FLUJO</b>	<b>36</b>
<b>5.3 DISEÑO DE COMPONENTES</b>	<b>37</b>
<b>6. DIBUJOS NORMALIZADOS</b>	<b>45</b>
<b>6.1 ENSAMBLE DE MECANISMO RRRR</b>	<b>46</b>
<b>6.2 BASE DE MECANISMO RRRR</b>	<b>47</b>
<b>6.3 SOPORTE MECANISMO RRRR</b>	<b>48</b>
<b>6.4 EJE DE TRANSMISIÓN</b>	<b>49</b>
<b>6.5 COPLE MOTOR-EJE</b>	<b>50</b>
<b>6.6 MANIVELA PARA MECANISMO RRRR Y RRPR</b>	<b>51</b>
<b>6.7 ACOPLADOR PARA MECANISMO RRRR</b>	<b>52</b>
<b>6.8 BALANCÍN PARA MECANISMO RRRR</b>	<b>53</b>
<b>6.9 TAPAS DE ESLABONES</b>	<b>54</b>
<b>6.10 JUNTA MANIVELA PARA MECANISMO RRRR</b>	<b>55</b>
<b>6.11 JUNTA ACOPLADOR PARA MECANISMO RRRR</b>	<b>56</b>
<b>6.12 JUNTA BALANCÍN PARA MECANISMO RRRR</b>	<b>57</b>
<b>6.13 PERNO DE JUNTA PARA MANIVELA RRRR</b>	<b>58</b>
<b>6.14 PERNO DE JUNTA PARA BALANCÍN RRRR</b>	<b>59</b>
<b>6.15 PERNO DE JUNTA PARA ACOPLADOR RRRR</b>	<b>60</b>
<b>6.16 SUJECCIÓN PORTASOPORTE</b>	<b>61</b>
<b>6.17 PORTAPOTENCIÓMETRO</b>	<b>62</b>
<b>6.18 TAPA DE PORTAPOTENCIÓMETRO</b>	<b>63</b>
<b>6.19 SEPARADOR</b>	<b>64</b>
<b>6.20 BASE DE POTENCIÓMETRO</b>	<b>65</b>
<b>6.21 ENGRANE DE TRANSMISIÓN</b>	<b>66</b>
<b>6.22 ENGRANE DE POTENCIÓMETRO</b>	<b>67</b>
<b>6.23 SOPORTE DE ENGRANE</b>	<b>68</b>
<b>6.24 SUJECCIÓN DE SOPORTE DE ENGRANE</b>	<b>69</b>

<b>6.25</b>	<b>DADO PARA POTENCIÓMETRO</b>	<b>70</b>
<b>6.26</b>	<b>ENSAMBLE DE MECANISMO RRPR</b>	<b>71</b>
<b>6.27</b>	<b>BASE DE MECANISMOS RRPR</b>	<b>72</b>
<b>6.28</b>	<b>ACOPLADOR PARA MECANISMO RRPR</b>	<b>73</b>
<b>6.29</b>	<b>JUNTA DE ACOPLADOR MECANISO RRPR</b>	<b>74</b>
<b>6.30</b>	<b>PERNO DE JUNTA DE ACOPLADOR</b>	<b>75</b>
<b>6.31</b>	<b>JUNTA PRA CORREDERA RRPR</b>	<b>76</b>
<b>6.32</b>	<b>PIÑÓN</b>	<b>77</b>
<b>6.33</b>	<b>CREMALLERA</b>	<b>78</b>
<b>6.34</b>	<b>SOPORTE DE PIÑÓN RRPR</b>	<b>79</b>
<b>6.35</b>	<b>JUNTA DE MANIVELA</b>	<b>80</b>
<b>6.36</b>	<b>BASE DE MECANISMO RRRP</b>	<b>81</b>
<b>6.37</b>	<b>MANIVELA PARA MECANISMO RRRP</b>	<b>82</b>
<b>6.38</b>	<b>JUNTA DE MANIVELA PARA MECANISMO RRRP</b>	<b>83</b>
<b>6.39</b>	<b>PERNO DE JUNTA DE MANIVELA RRRP</b>	<b>84</b>
<b>6.40</b>	<b>EXTREMO GUIA LADO MANIVELA</b>	<b>85</b>
<b>6.41</b>	<b>EXTREMO GUIA LADO CHUMACERA</b>	<b>86</b>
<b>6.42</b>	<b>EJE DE SALIDA</b>	<b>87</b>
<b>6.42</b>	<b>SOPORTE PARA PIÑÓN RRRP</b>	<b>88</b>
<b>8.</b>	<b>RESULTADOS Y CONCLUSIONES</b>	<b>89</b>
<b>8.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>91</b>

# 1. Objetivos

## General

Diseñar y construir tres mecanismos didácticos RRRR, RRRP y RRPR, considerando en el proceso la ubicación de los potenciómetros de precisión.

## Específicos

- Diseñar los mecanismos RRRR, RRRP y RRPR para implementar potenciómetros de precisión que le permitirán medir su posición.
- Construir los mecanismos RRRR, RRRP y RRPR incorporando potenciómetros de precisión.
- Realizar pruebas y conclusiones.

## 2. Introducción

La matemática, la física y la química son las ciencias fundamentales en que se basa la ingeniería. En la mayoría de los casos la ingeniería implica el análisis de la conversión de energía de algunas fuentes hacia una o más salidas usando uno o más de los principios básicos de esas ciencias. La mecánica de sólidos es una de las ramas de la física que contiene otras tres ramificaciones principales: la cinemática, estudio del movimiento relativo; la estática, estudio de fuerzas y momentos separados del movimiento y la cinética, acción de las fuerzas sobre los cuerpos.

Hoy en día los proyectos escolares, de investigación e industriales representan un gran reto multidisciplinar, no es suficiente una sola ingeniería para realizar un objetivo, tenemos que apoyar y complementar con las ideas y conocimientos que adquirimos a través del estudio y de la práctica.

Un ejemplo de lo mencionado es, un Ing. Civil que necesita una maquina vibradora para compactar mucho mejor su mezcla, lo cual garantizará que no se formen grietas al interior de la estructura, o un Ing. Químico que necesita un dispositivo para transportar materiales a alta temperatura que por obvias razones la mano del ser humano no puede interactuar de manera directa; estos y miles de ejemplos más podríamos citar, por lo que es bueno explicar y hacer saber que existe una integración de varios campos de aplicación por lo que cualquier ingeniero interesado en el tema de los mecanismos puede leer y hacer uso de la información recopilada en este proyecto.

Otro aspecto importante que se incorpora es, la automatización e instrumentación ya que estos dos aspectos son de vital importancia para la vida profesional de todo ingeniero, cada vez los procesos se hacen más complejos y en muchos de ellos la mano del hombre simplemente ya no puede intervenir.

La necesidad que se tiene de cuantificar cada dato parecería exagerado, pero cuando se tiene que rediseñar, mejorar, innovar o simplemente reportar, estos datos recopilados son parte esencial y fundamental, si pudiéramos hacer una analogía entre los hombres y las maquinas, los datos que se cuantifican serian como los medicamentos para los seres humanos.

Cada registro, cada medición nos proporciona información extremadamente útil que sirve como un manual, nos ayuda a anticipar, calcular o predecir resultados, todo esto gracias a instrumentos que nos brindan simples números, pero que un ingeniero debe interpretar y transformar para hacer de nuestras vidas lo más simple posible.

### 3. Antecedentes y justificación del problema

En la Universidad Autónoma Metropolitana unidad Azcapotzalco se imparte la uea Laboratorio de mecanismos; la cual forma parte del plan de estudios de la licenciatura en Ingeniería Mecánica; existe un lugar acondicionado con equipo de cómputo equipado y especializado para desarrollar las prácticas convenidas por el profesor.

Existen tres dispositivos junto con un equipo de grabación, con los cuales se realizan algunas prácticas para comparar los resultados teóricos contra los prácticos a través de una medición indirecta, es una buena forma de empatar los conocimientos teóricos que se adquieren en la uea Mecanismos, sin embargo existen pequeños inconvenientes.

Anteriormente debíamos hacer todo un procedimiento para realizar las prácticas del laboratorio, comenzando por la preparación del mecanismo y del equipo de grabación, debíamos colocar el mecanismo paralelo al lente de la cámara, esto para minimizar los errores de perspectiva de la imagen, una vez realizada esta acción debíamos grabar el funcionamiento del mismo para posteriormente extraer cuadros del video por medio de un software de edición, estos cuadros o imágenes las exportábamos al software de dibujo AutoCAD.

A través de este software dibujábamos líneas sobrepuestas en cada uno de los eslabones y podíamos obtener la dimensión del ángulo de desplazamiento y distancia de eslabones, al final teniendo las dimensiones de los eslabones y los ángulos podíamos determinar, a través de cálculos con la suite KIMA o con un programa desarrollado en EXCEL, la posición, velocidad y aceleración del mecanismo.

El porcentaje de error es mínimo, pero el verdadero problema es el tiempo que toma preparar el procedimiento, esta preparación puede distorsionar el verdadero objetivo de la práctica por lo que este trabajo pretende eliminar inconvenientes como son, el excesivo tiempo de preparación para la grabación, ya que al eliminar este detalle dejara más tiempo para realizar otro tipo de actividades mejor enfocadas hacia los mecanismos, reducirá el porcentaje de error porque ahora tendremos una medición directa y permitirá en general una mayor concentración hacia el objetivo de la UEA.

## 4. Marco teórico

### 4.1 CONCEPTOS BÁSICOS

Como ya lo hemos comentado al principio de este proyecto, el presente trabajo pretende introducirse hacia cualquier ingeniero interesado en el tema por lo que es conveniente recordar y/o aclarar puntos básicos y fundamentales para poder establecer un idioma generalizado de los conceptos posteriormente descritos.

Entonces:

Un mecanismo es un dispositivo mecánico que tiene el propósito de transferir el movimiento y/o fuerza de una fuente a una salida. Un eslabonamiento consiste en eslabones, generalmente considerados rígidos, conectados por juntas como pasadores o juntas prismáticas para formar cadenas abiertas o cerradas. Las cadenas cinemáticas, con un eslabón fijo como mínimo son mecanismos si, por lo menos, otros dos eslabones retienen movilidad, un mecanismo permite el movimiento relativo entre sus eslabones rígidos, los eslabonamientos forman mecanismos simples y pueden diseñarse para efectuar tareas complejas, como movimientos no lineales y transmisión de fuerza. <sup>1</sup>

Eslabón. Pieza rígida, que unida a otras permite la transmisión o transformación de un movimiento.

Junta o par. Unión entre dos eslabones que establecen el tipo y la cantidad de movimientos permisibles entre cada par de elementos presentes en la junta.

Junta de revoluta. Unión que solo permite movimiento rotacional entre los eslabones que une.

Junta prismática. Unión que solo permite movimiento traslacional entre los eslabones que une.

Junta completa o par inferior. Unión entre eslabones que permite solo un tipo de movimiento independiente entre ellos.

Semi junta o par superior. Unión entre eslabones que permite más de un tipo de movimiento independiente entre ellos.

---

<sup>1</sup> Arthur G. Erdman, George N. Sandor "Diseño de mecanismos análisis y síntesis" 3ª. Ed. Prentice Hall, México 1998.

Cierre de junta. Es el medio físico que mantiene unidos a los eslabones presentes en una junta.

Junta implícita. Se presenta cuando más de dos eslabones se encuentran sujetos mediante el mismo elemento físico.

Junta redundante. Es aquella junta que conecta un eslabón que al ser retirado no modifica la cinemática de todo el conjunto.

Eslabón fijo. Es el eslabón que se encuentra unido firmemente al marco de referencia.

Manivela. Eslabón que puede realizar una rotación completa sobre una de sus juntas.

Acoplador. Eslabón que conecta en sus extremos con otros eslabones que presentan movimiento.

Oscilador. Eslabón que presenta un movimiento angular alternativo, sin llegar a realizar una revolución completa.

Corredera. Eslabón que realiza un movimiento alternativo sobre una guía, la cual puede ser recta o curva.

Cadena cinemática. Conjunto de eslabones unidos por juntas formando una malla cerrada donde todos los eslabones tienen movimiento arbitrario.

## 4.2 MAQUINAS

El termino maquina se ha estudiado y por mucho tiempo se ha tratada de explicar con claridad, aunque aun así no se le ha dado un término claramente especifico, por lo que trataré de dar una definición muy personal.

Maquina es un conjunto basto o reducido de mecanismos sencillos o complejos capaz de transformar una determinada energía de entrada en una salida útil.

Pero cualquiera que sea la máquina, estará conformada en su mayoría por los siguientes componentes ordenados por su tipo.

Elementos de unión:

- Tornillos y tuercas.
- Remaches.

Elementos para la transmisión de rotaciones:

- Árboles.
- Engranajes.
- Correas y poleas.
- Cadenas y ruedas.
- Cables y poleas.
- Ruedas de fricción.

Elementos para la transmisión de movimientos (no rotatorios):

- Manivelas y cigüeñales.
- Bielas.
- Correderas (pistones).
- Levas y seguidores.

Elementos de soporte:

- Bastidores
- Cojinetes de fricción.
- Cojinetes de rodamientos.
- Ejes.

Elementos neumáticos e hidráulicos:

- Cilindros.
- Válvulas.
- Bombas.

Elementos de sistemas de control

- Sensores (mecánicos, eléctricos, etc.).

### 4.3 MECANISMOS

Un mecanismo es una cadena cinemática, “la agrupación de varios pares elementales de modo que todos los miembros formen parte, al mismo tiempo de dos pares simultáneamente”<sup>2</sup> a la que se le ha inmovilizado uno de sus miembros, a este miembro fijo se le llama bastidor.

Para simplificar el estudio de los mecanismos no se dibujan en su totalidad con la forma y dimensiones de cada uno de sus miembros y pares, sino que se sustituye el conjunto por un esquema, formado generalmente por los ejes de los diferentes miembros (o por las líneas de unión de los centros de cada una de sus articulaciones). Estas articulaciones no se dibujan por regla general, aunque a veces pueden representarse por pequeños círculos o rectángulos.

Se denominará siempre al miembro fijo de cualquier mecanismo con el número uno, numerando todos los demás miembros con orden creciente, con números sucesivos.

En las articulaciones fijas (unión de un miembro móvil con el fijo) se les denomina con la letra O, seguida por los subíndices que indican a los dos miembros que se unen, por ejemplo, la unión del miembro cuatro y el fijo se representará por O<sub>14</sub>. Las articulaciones móviles se designarán por letras mayúsculas sin subíndice (A, B, C).

#### 4.3.1 ¿CÓMO SE CLASIFICAN LOS MECANISMOS?

Podemos asignar una clasificación de acuerdo a sus miembros móviles, será de la siguiente manera:

- Atendiendo a la movilidad de sus miembros.
- Atendiendo al tipo de movimiento de sus miembros.

#### 4.3.2 MECANISMOS PLANOS

La infinidad de mecanismos posibles hacen que sea impráctico analizarlos particularmente por lo que para su estudio se han desarrollado tres mallas elementales, ya que la combinación de estos permite diseñar otros más complejos.

---

<sup>2</sup> Galero P, Carta G, Fundamentos de mecánica”, Ed. MC GRA HILL, España, 1999.

- Mecanismo cuatro barras
- Mecanismo manivela corredera
- Inversión de mecanismo manivela corredera

Los componentes de mecanismos planos más comunes son levas, engranes, bandas y cadenas, las cuales a su vez están compuestas de eslabones y juntas. Un eslabón es hipotéticamente un cuerpo rígido que posee por lo menos dos nodos, que son los puntos de unión con otros eslabones.

Tipos de eslabones:

Eslabón binario es el que tiene dos nodos, eslabón terciario es el que tiene tres nodos, eslabón cuaternario es el que tiene cuatro nodos y así sucesivamente.

Eslabón fijo es el que se encuentra unido firmemente al marco de referencia.

Manivela es el eslabón que puede realizar una rotación completa sobre cualquiera de sus juntas, no necesariamente respecto al eslabón fijo.

Acoplador es el eslabón que conecta en sus extremos con otros eslabones que presentan movimiento. Presentan movimiento de traslación rotación simultánea. Oscilador es un eslabón que presenta movimiento angular alternativo, sin llegar a realizar una revolución completa.

Una junta o par es una conexión entre dos o más eslabones (en sus nodos), lo cual permite algún movimiento o movimiento potencial entre los eslabones conectados.

Las juntas llamadas también pares cinemáticos se pueden clasificar de varios modos:

- Por el tipo de contacto entre los elementos: de línea, de punto o superficie.
- Por el número de grados de libertad permitidos en la junta.
- Por el tipo de cierre de la junta, de fuerza o de forma.
- Por el número de eslabones conectados (orden de la junta).

Tipos de juntas:

Junta implícita se presenta cuando más de dos eslabones se encuentran sujetos mediante el mismo elemento específico.

Cierre de junta es el medio físico que mantiene unidos a los eslabones presentes en la junta. Puede ser de forma o de fuerza.

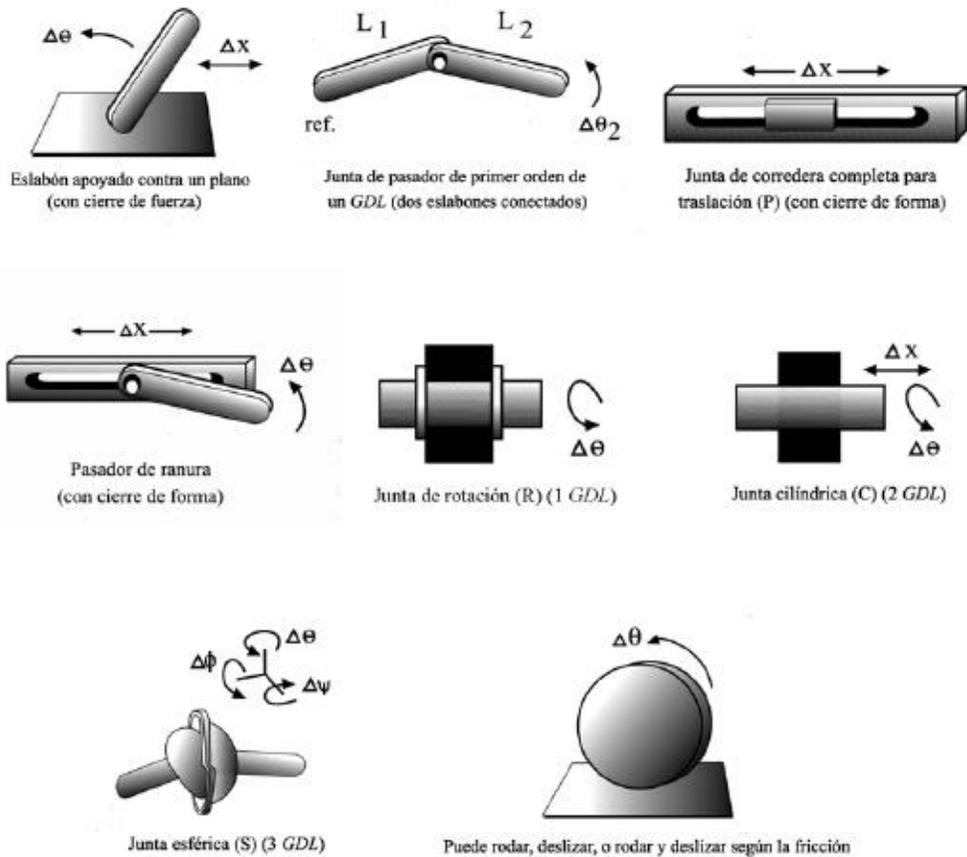


Figura 1. Diversos tipos de junta (Norton, 2000).

#### 4.3.3 GRADOS DE LIBERTAD DE UN MECANISMO PLANO

El grado de libertad de un sistema (también llamado movilidad  $M$ ) se puede definir como el número de entradas que se necesita proporcionar con la finalidad de crear una salida predecible o también como el número de coordenadas independiente requerido para definir su posición.

Cada entrada requerida necesitará de algún tipo de actuador, ya sea un operario humano o algún otro en forma de motor, solenoide, cilindro neumático o de otro dispositivo cilíndrico convertidor de energía. Estos dispositivos de entradas múltiples deberán coordinar sus acciones por medio de un controlador, que a su vez debe poseer cierto grado de inteligencia.

Este controlador se suele proporcionar mediante una computadora, pero también puede estar programado mecánicamente dentro del diseño del mecanismo.

“Para determinar los grados totales de un mecanismo se debe tener en cuenta el número de eslabones y juntas, así como las interacciones entre ellos”.<sup>3</sup> Los grados de libertad de un ensamblaje de eslabones pueden predecirse a partir de una investigación de Gruebler:

$$M = 3L - 2J - 3G \quad (1)$$

M = Grados de libertad o movilidad

L = Número de eslabones

J = Número de juntas

G = Número de eslabones fijos

Observe que en un mecanismo real, aun cuando más de un eslabón de la cadena cinemática esté fijo, el efecto neto será crear un eslabón fijo mayor y de orden superior, ya que solo hay un plano de sujeción.

Por tanto G es siempre igual a uno y la ecuación de Gruebler se convierte en:

$$M = 3(L-1) - 2J \quad (2)$$

El valor de las ecuaciones 1 Y 2 debe reflejar el valor de todas las juntas en el mecanismo. Es decir, las semijuntas cuentan como  $\frac{1}{2}$  debido a que solo eliminan un grado de libertad. Esto es menos confuso si se utiliza la modificación de Kutzbach para la ecuación de Gruebler en esta forma:

$$M = 3(L-1) - 2J_1 - J_2 \quad (3)$$

M = Grados de libertad con movilidad.

L = Número de eslabones.

$J_1$  = Número de juntas completas.

$J_2$  = Número de semijuntas.

---

<sup>3</sup> Arthur G. Erdman, George N. Sandor “Diseño de mecanismos análisis y síntesis” 3ª. Ed. Prentice Hall, México 1998.

#### 4.4 MECANISMO 4 BARRAS (RRRR)

Este es uno de los mecanismos más útiles y más simples por lo que podremos encontrarlos por ejemplo en la cajuela articulada de un auto, en un aparato para hacer ejercicio como press de hombro, etc.

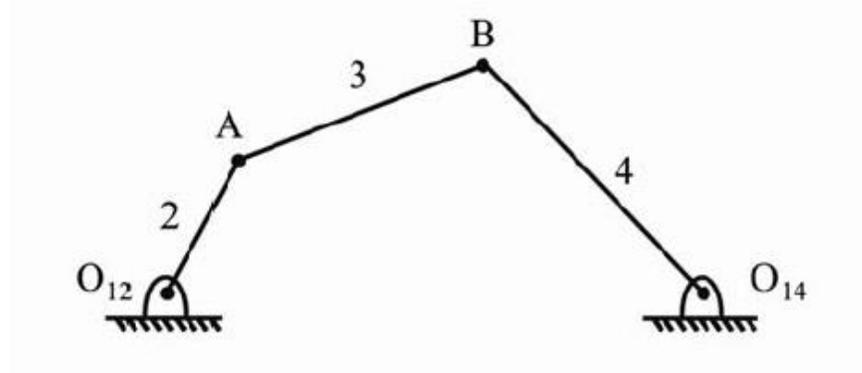


Figura 2. Mecanismo 4 barras (RRRR) (Mabie, 2006)

El eslabón 1 es el marco de referencia o eslabón fijo. El eslabón 2 es el motor que puede girar completamente (manivela) o puede oscilar (balancín). En cualquiera de los dos casos, el eslabón 4 oscila. Si el eslabón 2 gira completamente, entonces el mecanismo transforma el movimiento rotatorio en movimiento oscilatorio. Si la manivela oscila, entonces el mecanismo multiplica el mecanismo oscilatorio.

El mecanismo de 4 barras es el mecanismo articulado más simple posible para movimiento controlado de un grado de libertad. También aparece en diversas facetas, como el dispositivo de manivela-corredora y de leva-seguidor. Es, de hecho el dispositivo más común utilizado en maquinaria porque es extremadamente versátil en función de los tipos de movimiento que puede generar.

##### 4.4.1 LA CONDICIÓN DE GRASHOF

Es una relación que pronostica el comportamiento de rotación de las inversiones de un eslabonamiento de cuatro barras con base solo en las longitudes de sus eslabones. Si:

$$S + L \leq P + Q \quad (4)$$

S = Longitud del eslabón más corto.

L = Longitud del eslabón más largo.  
P = Longitud de un eslabón restante.  
Q = Longitud del otro eslabón restante

El eslabonamiento es de Grashof y por lo menos un eslabón será capaz de realizar una revolución completa con respecto al plano de fijación. A esta se le llama cadena cinemática de clase I.

Si la desigualdad anterior no es cierta, el eslabonamiento es no Grashof y ningún eslabón podrá realizar toda una revolución. Esta es una cadena cinemática de clase 2.

Los movimientos posibles a partir de un eslabonamiento de 4 barras dependerán de la condición de Grashof y de la inversión elegida. Las inversiones se definirán en relación con el eslabón más corto.

Caso I,  $S + L < P + Q$

Si se fija uno u otro eslabón adyacente al más corto, se obtiene una manivela-balancín, en la cual el eslabón más corto girará completamente y el otro eslabón oscilará pivotado a la fijación.

Si se fija el eslabón más corto se logrará una doble-manivela, en la que tanto el acoplador como los eslabones pivotados a la fijación realizan revoluciones completas. Si se fija el eslabón opuesto al más corto se obtendrá un doble-balancín de Grashof, en el que oscilan los dos eslabones fijos pivotados a la fijación y solo el acoplador realiza una revolución completa.

Caso II,  $S + L > P + Q$

Todas las inversiones serán triples-balancines, en las cuales ningún eslabón puede girar completamente.

Caso III,  $S + L = P + Q$

Todas las inversiones serán dobles-manivelas, o manivelas-balancín, pero tendrán puntos de cambio dos veces por revolución de la manivela de entrada cuando todos los eslabones quedan colineales. En estos puntos de cambio el comportamiento de salida será indeterminado.

#### 4.5 MECANISMO MANIVELA CORREDERA (RRPR)

Este mecanismo se emplea ampliamente y encuentra su mayor aplicación en el motor de combustión interna, en donde el eslabón 1 es el marco que se considera fijo, el eslabón 2 es el cigüeñal, el eslabón 3 la biela y el eslabón 4 el pistón. En el motor de combustión interna, el eslabón 4 es el pistón sobre el que se ejerce la presión del gas. Este mecanismo también se emplea en las compresoras de aire, en que un motor eléctrico mueve al cigüeñal que a su vez mueve al pistón que comprime el aire.

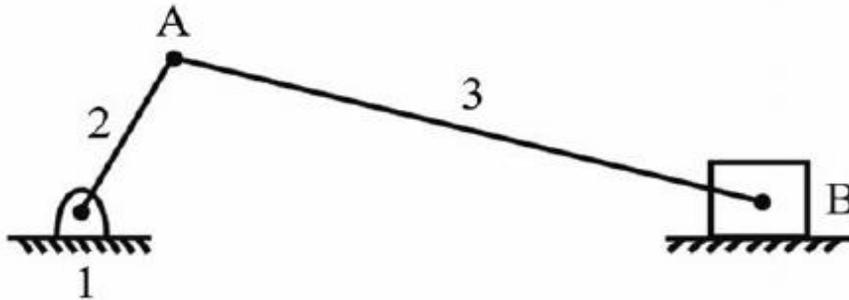


Figura 3. Mecanismo manivela corredera (RRPR) (Mabie, 1996).

Para hallar las condiciones bajo las cuales el eslabón 2 pueda ejecutar revoluciones completas, es suficiente considerar una excentricidad mayor o igual 0, ya que valores negativos de ésta representan un reflejo del mecanismo de la figura 3.

Entonces se tiene que cumplir la siguiente desigualdad:

$$r + e \leq L \quad (5)$$

$r$  = Longitud del eslabón 2.

$e$  = Excentricidad.

$L$  = Longitud del eslabón 3.

#### 4.6 INVERSIÓN TIPO L DE MECANISMO MANIVELA CORREDERA

Una inversión se crea mediante la fijación de un eslabón diferente en la cadena cinemática. Por tanto, hay tantas inversiones de un eslabonamiento dado como eslabones haya. Los movimientos resultantes de cada inversión pueden ser muy distintos, pero algunas inversiones de un eslabonamiento pueden producir movimientos similares a los de otras inversiones del mismo eslabonamiento. En estos casos solo algunas de las inversiones pueden tener claramente movimientos

diferentes. Se designan las inversiones que tienen movimientos específicamente diferentes como inversiones específicas.

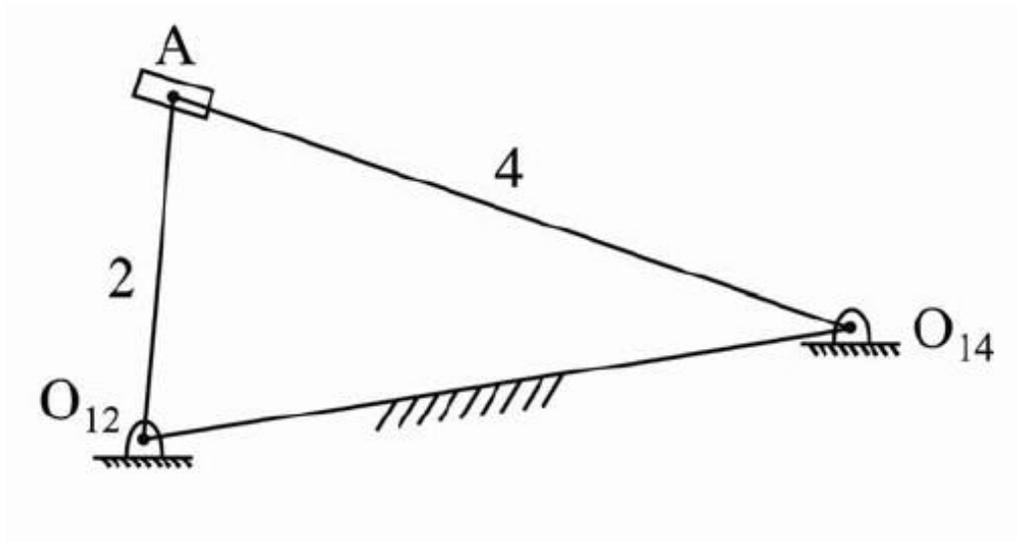


Figura 4. Inversión tipo I de mecanismo manivela corredera (Pérez, 2004)

En este mecanismo el eslabón dos siempre puede ejercer revoluciones completas bajo cualquier condición, sin importar el tamaño de los eslabones, como ocurre para el mecanismo de cuatro barras y el de manivela corredera.

#### 4.7 RECURSOS PARA INGENIERÍA

Cada día que pasa se hacen avances considerablemente fuertes para el desarrollo de nuevos materiales, más ligeros, más resistentes y sobre todo mejorando el costo beneficio, por lo que es de suma importancia para todo ingeniero conocer los recursos y materiales que tiene disponibles a su alrededor.

Los materiales en ingeniería pueden dividirse en grupos que muestran relaciones importantes. Los principales grupos son los materiales metálicos, los materiales no metálicos y los materiales compuestos. Los materiales compuestos están formados por dos o más materiales, de tal manera que se obtienen propiedades nuevas y especiales. Los materiales metálicos se dividen en materiales ferrosos y no ferrosos y por otra parte los materiales no metálicos se subdividen en polímeros, cerámicas y vidrios.

#### 4.7.1 MATERIALES METÁLICOS

Los metales se caracterizan por el enlace metálico, en donde los iones del metal se mantienen unidos por una nube de electrones. Este tipo de enlace tiene una alta movilidad de los electrones libres, lo que explica el alto nivel de resistencia, ductilidad y relativamente alta temperatura de fusión de los metales.

En los materiales ferrosos el elemento principal es el hierro (Fe), que tiene alguna cantidad de carbono (C). Los aceros son aleaciones de Fe y C con menos de 2% de C; los hierros colados contienen de 2 a 4% de C. Los aceros al carbono puros (aleaciones de Fe y C) representan una pequeña fracción de los aceros que hoy en día se utilizan.

La mayoría de los aceros están aleados con otros elementos para obtener mayor resistencia, mejor capacidad de endurecimiento, mejores propiedades a altas y bajas temperaturas, mejor resistencia a la corrosión y mejores propiedades de manufactura. La maquinabilidad de un material depende primordialmente de sus propiedades mecánicas (ductilidad y dureza), su composición química y su tratamiento térmico (estructura); los aceros se clasifican en dos grupos principales: aceros para la construcción (<0.9% de C) y aceros para herramientas (0.5-2% de C).

El hierro fundido (fundición) que tiene de 2 a 3.8% de C y cantidades variables de Si, Mn, P y S y de otros elementos especiales es un material muy importante. Este material tiene excelente moldeabilidad y maquinabilidad, magníficas propiedades funcionales y un bajo precio.

La importancia de los metales no ferrosos está creciendo cada vez más, ya que éstos proporcionan propiedades importantes que de los aceros no pueden obtenerse; por ejemplo:

- Alta resistencia a la corrosión
- Facilidad de fabricación
- Alta conductividad eléctrica y térmica
- Baja densidad
- Alta relación resistencia/peso
- Color atractivo

No todos los metales no ferrosos poseen todas estas cualidades, pero casi todos tienen por lo menos dos sin necesidad de elementos aleantes especiales. En general

la resistencia de los metales no ferrosos es más baja que la de los aceros, pero debido a su relación resistencia/peso puede ser bastante alta.

El módulo de elasticidad es bastante bajo y eso es una desventaja cuando lo que se requiere es rigidez. La mayoría de los materiales no ferrosos tienen un punto de fusión relativamente bajo y en general son fáciles de fundir en moldes de arena o permanentes y a menudo pueden ser trabajados en frío para obtener formas complejas por su alta ductilidad y bajo esfuerzo de cedencia .

Vale la pena mencionar algunos materiales no ferrosos:

Aleaciones del cobre:

El cobre es uno de los metales más conocidos por los seres humanos desde la antigüedad, en la antigüedad se podía encontrar el elemento en forma pura, pero ahora es difícil encontrarlo en depósitos naturales, ahora se extrae principalmente de sulfuros.

Es muy usado en la industria eléctrica para cables, alambres, bobinas y otros productos similares, debido a su alta conductividad eléctrica y también es usado para termo cambiadores, envases, etc., por su alta conductividad térmica. Las más importantes aleaciones del cobre son el latón, que es cobre aleado con 10– 40% de cinc y el bronce, que es cobre aleado con estaño, aluminio o níquel y se llama, respectivamente, bronce de estaño, bronce de níquel y bronce de aluminio.

Aleaciones de aluminio:

El aluminio es un metal ligero y por este motivo se usa frecuentemente para aplicaciones de ingeniería.

El aluminio se encuentra principalmente en tierra, pero aunque es un material abundante es difícil de extraer. En los últimos años ha llegado a ser uno de los materiales industriales más importantes. Esto es debido a su alta relación resistencia/peso, alta resistencia a la corrosión y buena conductividad eléctrica.

Las aplicaciones incluyen cables de alto voltaje, equipo para las industrias: química, de lácteos y de la construcción de muebles de cocina. El aluminio a menudo se alea con silicio, magnesio, cobre, manganeso y cinc y a veces con níquel, hierro, titanio y berilio en pequeñas cantidades.

El aluminio aleado con silicio es extensamente usado en la industria automotriz para la fabricación de componentes de máquinas. Las aleaciones con silicio y magnesio pueden ser endurecidas por tratamiento térmico. Si el aluminio está aleado con

cobre se puede obtener una muy alta resistencia mediante un tratamiento térmico, pero las propiedades contra la corrosión son bastantes deficientes.

Para utilizar aluminio debe hacerse una cuidadosa selección entre las aleaciones disponibles para satisfacer los requisitos funcionales y de manufactura. La mayoría de aleaciones de aluminio usadas para procesos de conformación tienen una buena ductilidad y conformabilidad en caliente y en frío.

Aleaciones de magnesio:

El magnesio es un material que se caracteriza por ser el más ligero de los metales estructurales, pero tiende a oxidarse fácilmente y es altamente inflamable. Se utiliza en general aleado con otros elementos porque obtiene altas relaciones resistencia/peso.

El más importante elemento aleante es el aluminio en la proporción de 6-8% para aleaciones de fundición en arena y en dado y en la proporción 3-8% para otras aleaciones, las cuales se llegan a alea con cinc y manganeso. Se pueden obtener la mayor resistencia tratando las aleaciones con cinc, circonio y torio térmicamente.

Las aleaciones de magnesio se utilizan en aplicaciones en donde se desea reducir el peso: en las industrias aeronáutica y espacial, automotriz y en ciertos campos de la industria mecánica en general.

Aleaciones de cinc:

El cinc se destaca por ser un material con un punto de fusión relativamente bajo lo cual lo hace atractivo como un metal de fundición y al igual que el Níquel sirve de recubrimiento para otros metales para evitar corrosión, generalmente se utiliza el termino galvanizado cuando se aplica zinc sobre otro material.

40% del cinc que se produce en todo el Mundo se utiliza para recubrimientos, 25% como elemento aleante en el cobre y 10% para láminas en la industria de la construcción. Las industrias de las baterías y las artes gráficas también emplean grandes cantidades de cinc.

En materiales para la construcción predomina el uso de aleaciones finas de cinc con contenidos muy bajos de estaño, plomo y cadmio porque éstas obtienen alta resistencia a la corrosión. Los principales elementos aleantes son el aluminio (4-6%) y el cobre (1-2%).

Las aleaciones finas de cinc tienen buenas propiedades de resistencia y de ductilidad y se les da forma principalmente por fundición. Sus aplicaciones incluyen accesorios automotrices, muebles de cocina, máquinas de oficina, herramientas y juguetes. Las

tolerancias obtenidas normalmente son tan buenas que no necesitan de un posterior maquinado u otros procesos.

#### 4.7.2 MANUFACTURA Y ENSAMBLE

Los procesos básicos son aquellos que crean cambios en la geometría y/o en las propiedades de los materiales. Éstos se caracterizan por la naturaleza de su interacción con el material.

Las tres principales categorías de los procesos básicos son las siguientes:

Mecánicos: Deformación plástica, deformación elástica, fractura frágil, fractura dúctil, flujo, mezcla, separación, transporte, etc.

Térmicos: Calentamiento, enfriamiento, fusión, solidificación, evaporación, condensación, etc.

Químicos: Solución- disolución, combustión, endurecimiento, precipitación, transformación de fase, difusión, etc.

Existen también procesos tecnológicos que describiremos a continuación.

#### TORNEADO

El torneado puede caracterizarse como un proceso básico primario de tipo mecánico. El proceso de torneado es el mejor conocido y el más usado de los procesos de reducción de masa, se emplea para manufacturar todo tipo de formas cilíndricas eliminando material en forma de rebaba con una herramienta de corte.

Durante el torneado el material de trabajo gira mientras la herramienta de corte avanza hacia él en forma longitudinal. El material de la herramienta de corte es más duro y resistente al rozamiento que el material de trabajo. Existen diversos tipos de tornos, algunos de los cuales son de operación automática. Los tornos generalmente reciben energía de un motor eléctrico, el cual mediante diversos engranajes proporciona la rotación necesaria al material de trabajo y al avance a la herramienta de corte.

Varios procesos de maquinado se basan en el mismo principio de corte de metal; algunos comunes son el fresado y el taladrado que se efectúan en diversas máquinas herramienta. Variando la geometría de la herramienta y los movimientos relativos

entre la pieza de trabajo y la herramienta se pueden producir componentes de muchas formas diferentes.

Requerimientos del material: El material de trabajo no debe ser muy duro ( $HB < 300$ ) y debe poseer una ductilidad mínima para confinar mayormente la deformación a la zona de corte.

Tolerancias/superficies: En el torneado pueden producirse tolerancias pequeñas, con frecuencia inferiores a  $\pm 0.01$  mm. La calidad de la superficie es buena, alrededor de  $3 = Ra = 12 \mu m$ .

Maquinaria: En el mercado existe una gran variedad de tornos, por ejemplo, el torno común, el torno revólver, el torno de roscar de uno o varios árboles, los tornos automáticos y los tornos de control numérico.

## FRESADORA

Es una operación de maquinado en la cual se hace pasar una parte de trabajo enfrente de una herramienta cilíndrica rotatoria con múltiples bordes o filos cortantes.

El fresado es un proceso versátil de alta producción debido a que existen diversos tipos de cortadores y una variedad de máquinas muy amplia. Mediante los variados accesorios (cabezal divisor, aditamentos, etc.) se pueden producir muchas formas especiales. El proceso de fresado le sigue de cerca al torneado por su amplio uso en la industria.

Requerimientos del material: La dureza del material no debe ser demasiado alta ( $HB < 250-300$ ) y es aconsejable un mínimo de ductilidad.

Tolerancias/superficiales: Las tolerancias que se obtienen normalmente son buenas ( $\sim \pm 0.05$  mm) y la calidad de las superficies es alta,  $1 = Ra = 10 \mu m$ .

Maquinaria: Se dispone de una amplia variedad de fresadoras: horizontales, universales, verticales, copiadoras, de mesa giratoria, de control numérico computarizado (CNC), entre otras.

Con frecuencia es más económico y en algunas ocasiones la única posibilidad práctica por razones de tamaño o geometría, producir el componente deseado mediante la unión de dos o más elementos producidos mediante los métodos de manufactura anteriormente mencionados.

Si se quieren unir los componentes A y B de la figura 5, hay tres tipos de unión principales para hacerlo:

Tipo 1. Los elementos pueden ser unidos permanentemente por coalescencia localizada, basándose en la cohesión y/o adhesión entre los elementos.

Tipo 2. Los elementos pueden ser unidos por acoplamiento o ajuste geométrico de los elementos, basándose en la deformación elástica o plástica.

Tipo 3. Los elementos pueden ser unidos usando elementos especiales de unión o sujetadores (remaches, pernos, tornillos, etc.).

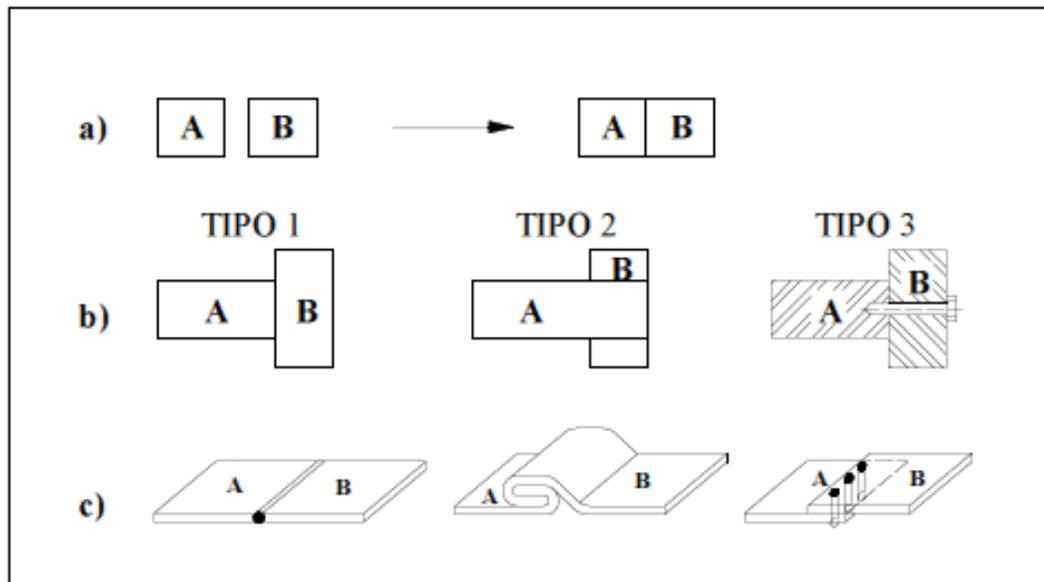


Figura 5. Unión de dos elementos, A y B (Alting, 1996)

## SOLDADURA

La soldadura es un proceso de unión de materiales en la cual se funden las superficies de contacto de dos (o más) partes mediante la aplicación conveniente de calor o presión.

La soldadura es un proceso relativamente nuevo, su importancia comercial y tecnológica se deriva de lo siguiente:

- La soldadura proporciona unión permanente

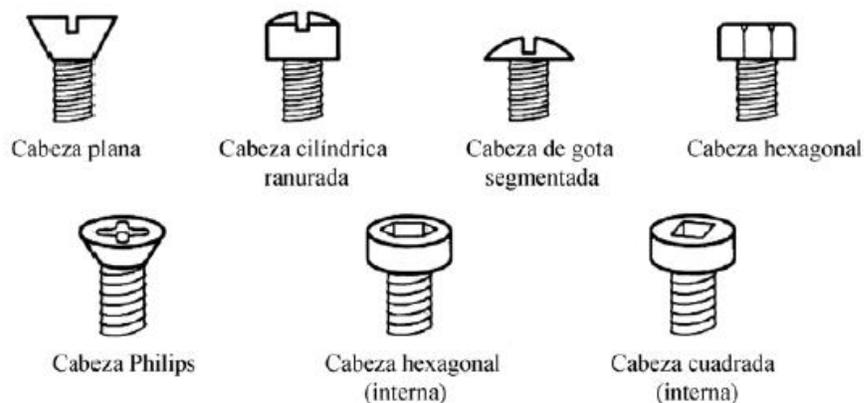
- La unión soldada puede ser más fuerte que los materiales originales.
- En general, la soldadura es una forma más económica de unir componentes, en términos de uso de materiales y costos de fabricación.
- La soldadura no se limita al ambiente de fábrica. Puede realizarse en el campo.

## ENSAMBLES

Para asegurarnos que una pieza se mantenga unida pero que también sea fácil desmontar para su posterior supervisión se utilizan las operaciones de ensamblaje, las cuales pueden ser muy diversas.

Los tornillos y los pernos son sujetadores con roscas externas. Hay una diferencia técnica entre un tornillo y un perno, que con frecuencia se confunde.

Un tornillo es un sujetador con rosca externa que, por lo general, se ensambla en un orificio roscado ciego. Un perno es un sujetador con rosca externa que se inserta a través de orificios en las partes y se asegura con una tuerca en el lado opuesto.



*Figura 6. Cabezas de tornillos y pernos (Degarmo, 1997).*

Existen otro tipo de roscados:

Insertos con tornillo de rosca: son pernos sin cabeza con rosca interna o rollos de alambre hechos para insertarse en un orificio sin rosca y para aceptar un sujetador con rosca externa.

Sujetadores roscados prisioneros: son sujetadores con rosca que han pre ensamblado permanentemente a una de las partes que se van a unir.

También se encuentran los remaches que son sujetadores, se utilizan ampliamente para obtener una unión permanente en forma mecánica. Estos remaches son una punta con cabeza y sin rosca que se usa para unir dos(o más) partes, la punta pasa a través de orificios en las partes y después forma una segunda cabeza en la punta del lado opuesto.

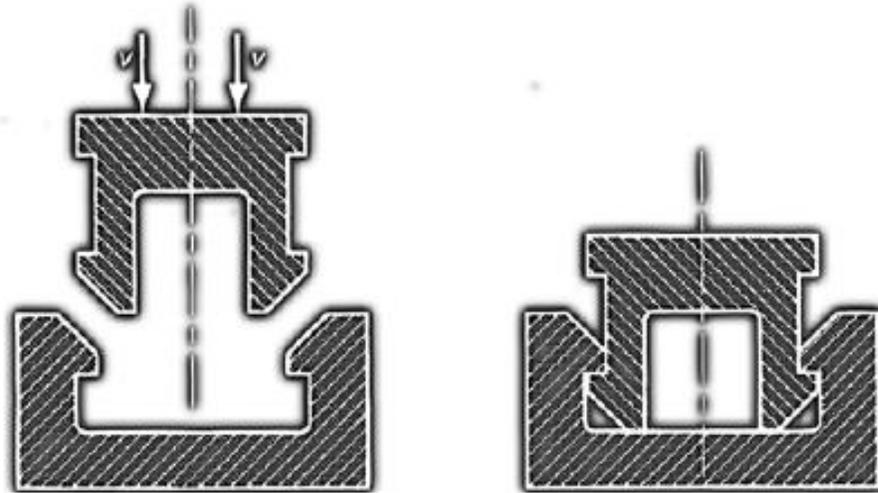
Los ojillos son sujetadores tubulares de paredes delgadas con un reborde en un extremo. Se usan para producir una unión empalmada permanente entre dos (o más) partes planas.

#### 4.7.3 METROLOGÍA PARA MANUFACTURA

Este es un punto clave dentro de la manufactura, ya que la calidad dependerá de las dimensiones y tolerancias utilizadas.

##### Ajuste por interferencia

Los ajustes de agarre automático son la unión de dos partes, en las cuales los elementos que coinciden poseen una interferencia temporal mientras se oprimen juntos, pero una vez que se ensamblan se entrelazan para conservar el ensamble.



*Figura 7. Ajuste por interferencia (Degarmo, 1997).*

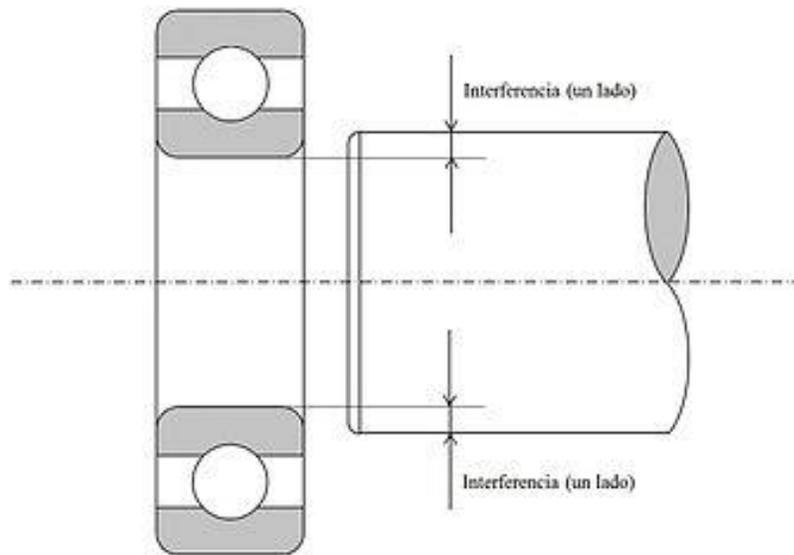
Podemos encontrar otro tipo de ajustes por interferencia:

**Puntillado:** es una operación de sujeción en la cual se usa una máquina que produce las puntillas en forma de U de alambre de acero, y de inmediato las inserta a través de las dos partes que se van a unir.

**Engrapado:** son grapas en forma de U que se clavan a través de dos partes que se van a unir.

**Cosido:** es un método de unión común para partes suaves y flexibles, tales como telas y piel, el método implica el uso de un cordón o hilo largo entrelazado con las partes para producir una costura continua entre ellas.

Un procedimiento común de acoplar una maza sobre una flecha es mediante un ajuste a presión o por encogimiento, que también se conoce por ajuste forzado por interferencia. Un ajuste forzado se obtiene maquinando la perforación en la maza a un diámetro ligeramente inferior al diámetro de la flecha. Las dos piezas se acoplan a presión mediante una prensa, preferiblemente con lubricante aplicado en la unión. La deflexión elástica tanto de la flecha como de la maza actúa para crear entre las piezas grandes y de fricción. La fuerza de fricción transmite el par de torsión de la flecha a la maza, resistiendo también el movimiento axial



*Figura 8. Ajuste de masa a presión (Arthur G. Erdman, George N. Sandor “1998.*

Solo piezas relativamente pequeñas se pueden colocar a presión, sin exceder la capacidad de fuerza de una prensa de taller típica. En piezas más grandes, se puede hacer un ajuste por expansión calentando la maza, a fin de expandir su diámetro interior, y/o se puede hacer un ajuste por contracción, enfriando la flecha para reducir su diámetro. Las piezas caliente y fría se pueden introducir una dentro de la otra con muy poca fuerza axial, y cuando se equilibran a la temperatura ambiente, su cambio dimensional genera la interferencia deseada por contacto por fricción. Otro método es expandir hidráulicamente la maza con aceite a presión, llevado a través de pasajes en la flecha o en la maza.

La interferencia necesaria para crear una unión apretada varía según el diámetro de la flecha. Lo típico es alrededor de 0.001 a 0.002 unidades de interferencia diametral por la unidad de diámetro de la flecha (la regla de los milésimos), y la cantidad más pequeña se utiliza en diámetros de flechas mayores.

Un acoplamiento forzado por interferencia genera el mismo estado de esfuerzos en la flecha que una presión externa uniforme sobre su superficie. La presión  $p$  creada por un ajuste forzado por interferencia se puede determinar a partir de la deformación de los materiales causada por dicha interferencia.

$$P = \frac{0.58}{\frac{r}{E_0} \left( \frac{r_o^2 + r^2}{r_o^2 - r^2} + v_o \right) + \frac{r}{E_1} \left( \frac{r^2 + r_1^2}{r^2 - r_1^2} - v_1 \right)} \quad (6)$$

Villanueva P. Sergio A. Ramos W. Jorge.

El par de torsión que puede ser transmitido por el acoplamiento forzado por interferencia se puede definir en la función p en la interfaz, superficie de contacto, que crea una fuerza de fricción en el radio de la flecha.

$$T = \pi r^2 \pi p l \quad (7)$$

Se pueden combinar las ecuaciones (6) y (7) a fin de obtener una expresión probable a partir de una deformación coeficiente de fricción y geometría particulares.

$$T = \frac{\pi / r \mu \bar{d}}{\frac{1}{E_0} \left( \frac{r_o^2 + r^2}{r_o^2 - r^2} + v_o \right) + \frac{1}{E_1} \left( \frac{r^2 + r_1^2}{r^2 - r_1^2} - v_1 \right)} \quad (8)$$

La presión p se aplica en las ecuaciones de esfuerzos en cilindros de pared gruesa para encontrar los esfuerzos radiales y tangenciales de cada pieza.

Para la flecha:

$$\sigma_{\text{flecha}} = -p \frac{r^2 + r_i^2}{r^2 - r_i^2} \quad (9)$$

$$\sigma_{\text{flecha}} = -p \quad (10)$$

Donde  $r_i$  es el radio interior de la flecha hueca. Si la flecha es sólida,  $r_i$  será igual a cero.

En el caso de la maza:

$$\sigma_{\text{maza}} = -p \frac{r_o^2 + r^2}{r_o^2 - r^2} \quad (11)$$

$$\sigma_{\text{maza}} = -p \quad (12)$$

Para que se conserve el ajuste, estos esfuerzos deben mantenerse por debajo de los límites elásticos de los materiales. Si los materiales ceden, la maza se aflojará de la flecha.

## JUEGOS Y APRIETES

En un ensamble donde el agujero es mayor al árbol, se dice que existe juego entre ambas piezas. El juego es la diferencia entre la dimensión del agujero y la dimensión del árbol.<sup>4</sup>

$$\text{Juego} = \text{dimensión del agujero} - \text{dimensión del árbol} \quad (13)$$

Debido a que las dimensiones del agujero y del árbol varían entre sus tolerancias, el juego también lo hará, permitiendo que exista un juego máximo y un juego mínimo.

$$\text{Juego máx.} = \text{dimensión máx. del agujero} - \text{dimensión mín. del árbol} \quad (14)$$

$$\text{Juego mín.} = \text{dimensión mín. del agujero} - \text{dimensión máx. del árbol} \quad (15)$$

En un ensamble donde la dimensión del árbol es mayor a la del agujero, se dice que existe apriete, el cuál es la diferencia entre la dimensión del árbol y la dimensión del agujero.

$$\text{Apriete} = \text{dimensión del árbol} - \text{dimensión del agujero} \quad (16)$$

Al igual que en el caso del juego, el apriete tendrá un valor máximo y un valor mínimo.

$$\text{Apriete máx.} = \text{dimensión máx. del árbol} - \text{dimensión mín. del agujero} \quad (17)$$

$$\text{Apriete mín.} = \text{dimensión mín. del árbol} - \text{dimensión máx. del agujero} \quad (18)$$

---

<sup>4</sup> Villanueva P. Sergio A. Ramos W. Jorge. "Manual de métodos de fabricación metalmeccánica" Ed. AGT editor, México, 2001

## 4.8 AUTOMATIZACIÓN MODERNA

Actualmente podría afirmar con completa seguridad que no existe una maquina la cual no tenga instalada algún elemento eléctrico o electrónico, ya que la medida de variable con la precisión y fiabilidad adecuadas constituye uno de los puntos clave de cualquier tecnología.

Esta afirmación adquiere una especial relevancia en el caso de la Electrónica Aplicada que es la tecnología que estudia las características de los dispositivos electrónicos y la forma de interconectarlos para realizar circuitos y sistemas que captan información en forma de señales eléctricas, la procesan para obtener otras señales que se transmiten a distancia, controlan la energía eléctrica y a través de ella otras manifestaciones o convierten la energía eléctrica de una forma a otra.

La conversión de la Electrónica Aplicada en una tecnología horizontal que sirve de complemento a todas las demás ha hecho que los instrumentos electrónicos hayan ido sustituyendo paulatinamente a los mecánicos eléctricos.

Pero como en cada tecnología siempre existen antecedentes sin los cuales no existiría todo lo que hoy conocemos, hablemos un poco de ello.

### 4.8.1 PRINCIPIOS DE LA ELECTRICIDAD

Desde que los habitantes de este planeta se alumbraban con antorchas o teas hasta que Thomas Edison se le ocurrió idear la lámpara eléctrica (21 de octubre de 1879), había pasado mucho tiempo.

Ni Thomas Edison ni otros muchos hubieran podido hacer nada si antes otros no hubiesen descubierto la energía eléctrica; desde luego no contamos entre esos precursores de la moderna ciencia a los antiguos griegos, que atribuían la fuerza del rayo a la iras de Júpiter. En Grecia y en esas épocas ya se especulaba sobre la propiedad del ámbar, que atraía objetos livianos cuando se frotaba con un paño de lana.

Tales de Mileto (640-546 a. de C.) admitió que el ámbar poseía algún principio de vida o alma que se manifestaba al ser frotado con un paño o una piel. El ámbar es la resina fosilizada de antiguas coníferas; es el material natural precursor de los plásticos sintéticos actuales.

La palabra electricidad proviene del vocablo griego elektron; es decir, ámbar.

Hubieron de pasar más de mil años hasta que el italiano Luigi Galvani (1737-1798) añadió un descubrimiento, un fenómeno de nueva índole: la generación de una corriente eléctrica.

La electrología inicia una rapidísima y acelerada carrera de descubrimientos y sistematización, hasta llegar en nuestros días a constituir una de las ramas de la ciencia de contenido, trascendencia para la sociedad humana por sus casi ilimitadas aplicaciones prácticas y de gran provecho humano.

La iniciación del estudio científico de los fenómenos electrostáticos comenzó hacia el año 1600 d. de C. con sir William Gilbert, que escribió De Magnete (1600), dedicado a los fenómenos magnéticos. Después del trabajo de Gilbert, se fue haciendo cada vez más patente la relación entre otros efectos electrostáticos ya conocidos.

El período cuantitativo comenzó cuando Charles Agustín de Coulomb (1736-1806), empleando una balanza de torsión, determinó la ley a que obedece la fuerza existente entre las cargas. Pudo averiguar que la fuerza de repulsión entre dos cargas iguales es proporcional al cuadrado de la distancia que las separa.

Si el medio que separa las cargas no es vacío, sino otro, como aceite aislante, que depende de la naturaleza del medio.

$$F = q_1 q_2 / kr^2 \quad (19)$$

## CONDUCTORES Y AISLANTES

Los materiales que permiten el libre desplazamiento de las cargas eléctricas se llama conductores; los que las retienen o impiden su movimiento, se llaman dieléctricos o aislantes.

Todos los materiales férricos y no férricos son buenos conductores, en especial el cobre. Los mejores conductores son los metales preciosos, como el oro y la plata, el mercurio es muy buen conductor. Algunos materiales que completamente secos o aislantes, en cambio el agua común, sí lo es, eso se debe a las sales minerales que tiene en suspensión.

Aislantes son prácticamente todos los cauchos, el ámbar, el vidrio, cierto tipo de aceites, los plásticos.

## LA LEY DE OHM

Cuando una corriente de un amperio de intensidad circula por un circuito eléctrico, la fuerza electromotriz necesaria para mantener tal corriente depende de la resistencia ofrecida a la misma.

Es el caso de que la fuerza electromotriz necesaria para mantener la corriente de un amperio sea de un voltio, se dice que la resistencia es de un ohmio. La relación entre estas tres magnitudes fue descubierta por George Ohm hacia el año 1832.

La ley se escribe como sigue:

Intensidad de corriente: Fuerza electromotriz / Resistencia (20)

$$I = \frac{V}{R}$$

#### 4.8.2 EL POTENCIOMETRO

Un potenciómetro es una resistencia variable, se trata de una resistencia con un valor fijo, a lo largo de dicha resistencia discurre un contacto y este contacto es precisamente el que hace que entre un extremo y el contacto de la resistencia resultante sea variable.<sup>5</sup> Como ya se ha explicado, existen diversos tipos de sensores y diversas aplicaciones, por lo regular los potenciómetros los encontramos comúnmente en los equipos de sonido caseros, estos controlan el volumen del equipo.

Según su construcción existen dos tipos de potenciómetros:

- Potenciómetros impresos, realizados con una pista de carbón sobre un soporte duro como papel baquelizado, fibra, alúmina, etc. La pista tiene sendos contactos en sus extremos y un cursor conectado a un patín que se desliza por la pista resistiva.
- Potenciómetros bobinados, consistentes en un arrollamiento toroidal de un hilo resistivo con un cursor que mueve un patín sobre el mismo.

Según su aplicación se distinguen varios tipos:

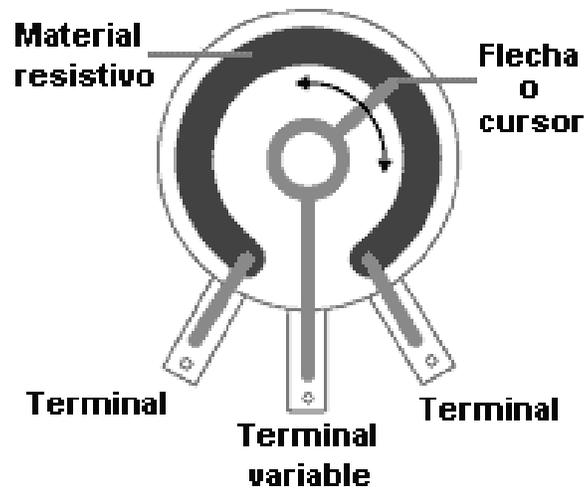
- Potenciómetros de mando. Son adecuados para su uso como elemento de control en los aparatos electrónicos. El usuario acciona sobre ellos para variar los parámetros normales de funcionamiento.
- Potenciómetros de ajuste. Controlan parámetros preajustados, normalmente en fábrica, que el usuario no suele tener que retocar, por lo que no suelen ser accesibles desde el exterior. Existen tanto encapsulados en plástico como sin cápsula, y se suelen distinguir potenciómetros de ajuste vertical, cuyo eje de giro es vertical, y potenciómetros de ajuste horizontal, con el eje de giro paralelo al circuito impreso.

Según la ley de variación de la resistencia:

- Potenciómetros lineales. La resistencia es proporcional al ángulo de giro. Generalmente denominados con una letra B.
- Logarítmicos. La resistencia depende logarítmicamente del ángulo de giro. Generalmente denominados con una letra A.
- Senoidales. La resistencia es proporcional al seno del ángulo de giro. Dos potenciómetros Senoidales solidarios y girados  $90^\circ$  proporcionan el seno y el coseno del ángulo de giro. Pueden tener topes de fin de carrera o no.
- Antilogarítmicos. Generalmente denominados con una letra F.

En los potenciómetros impresos la ley de resistencia se consigue variando la anchura de la pista resistiva, mientras que en los bobinados se ajusta la curva a tramos, con hilos de distinto grosor.

Potenciómetros multivuelta. Para un ajuste fino de la resistencia existen potenciómetros multivuelta, en los que el cursor va unido a un tornillo desmultiplicador, de modo que para completar el recorrido necesita varias vueltas del órgano de mando.



*Figura 11. Representación básica de un potenciómetro con película resistiva (Victoriano Ángel Martínez Sánchez, 2001)*

## 5. Desarrollo del proyecto

### 5.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Existen tres mecanismos funcionales con los cuales se realizan las practicas del Laboratorio de mecanismos en la UAM-A, estos son video grabados para realizar una serie de pasos que nos conducirán a su análisis; de un video se extraen imágenes a diferentes instantes de tiempo para exportarlas a AutoCAD donde se sobreponen líneas para empatarlas con los eslabones de cada mecanismo, podemos dimensionarlas, así obtenemos una distancia a un tiempo determinado, haciendo esto a distintos tiempos consecuentes podemos obtener, a través de cálculos, velocidad y aceleración.

Pero hay factores como la luz, el paralelismo, perspectiva, etc. Que producen errores, por lo que necesitamos desarrollar un sistema que permita incluir potenciómetros de precisión acoplados a los mecanismos cuatro barras RRRR, manivela corredera RRPR y la inversión de la manivela corredera.

Los mecanismos existentes son funcionales por lo que tomaremos el diseño básico que tienen, pero los mejoraremos al instrumentarlos con potenciómetros de precisión.

Los problemas e inconvenientes que tenemos que resolver son los siguientes:

- Buena iluminación que proporcione contraste al mecanismo, necesario para la grabación.
- Perspectiva de las imágenes obtenidas
- Tiempo de preparación para realizar la práctica.
- Adquirir una videocámara.
- Adquirir un software de edición de video.
- Adquirir software de dibujo AutoCAD.
- Objetividad de la uea.

Teniendo presente que:

- La instrumentación no debe interferir con el movimiento realizado por los eslabones de cada mecanismo.
- No debe añadir peso excesivo.
- Debe proteger al potenciómetro de riesgos potenciales.

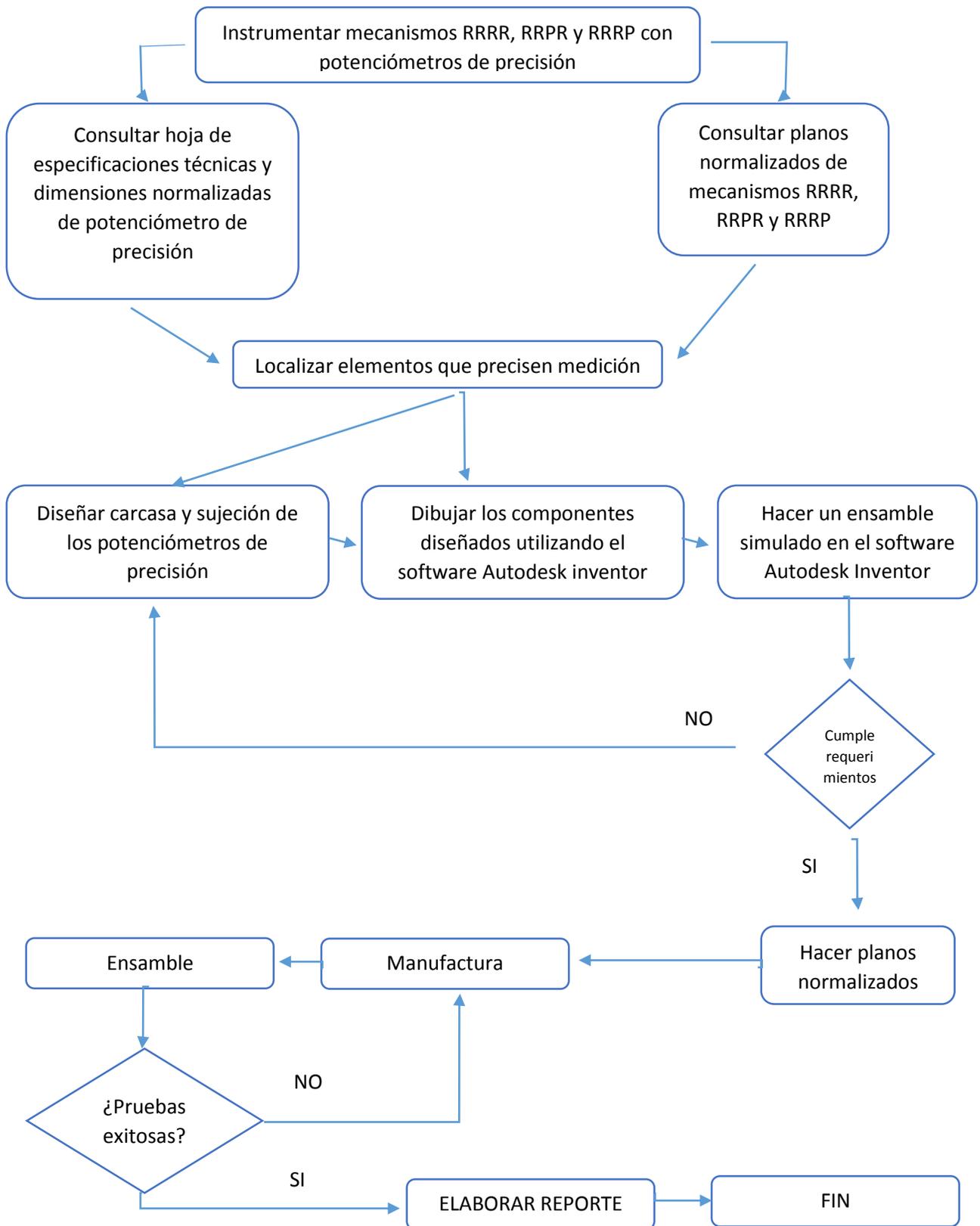
## 5.2 METODOLOGÍA DE SOLUCIÓN

El problema que tenemos representa un trabajo de geometría, ya que debemos localizar los elementos clave del mecanismo donde es necesaria una medición, estos serán en sus eslabones de entrada y salida, así como en alguno de sus acopladores, eso dependerá del mecanismo en cuestión.

Por otro lado el simple hecho de instrumentar a los mecanismos con potenciómetros de precisión resolverá todos los inconvenientes previamente mencionados y cumplirá con los requerimientos:

- No interferencia. Colocaremos los potenciómetros sobre los eslabones y las chumaceras, el único elemento que representaría interferencia sería el eje de entrada por lo que haremos una transmisión con engranes.
- Bajo peso. Utilizaremos el mismo material de la construcción previa de los mecanismos, aluminio 6063, es un material muy liviano, duradero y resistente.
- Protección. Diseñaremos una carcasa que cubra completamente al potenciómetro, garantizando su completo aislamiento.

### 5.2.1 Diagrama de flujo



### 5.3 DISEÑO DE COMPONENTES

Los eslabones de los mecanismos RRRR, RRRP y RRPR fueron basados en un mismo diseño, en el cual solo cambian características como la longitud, la ubicación de los barrenos que contienen al tornillo prisionero y en el caso de las manivelas, cambia la forma de la cavidad situada en su lado izquierdo.<sup>6</sup>

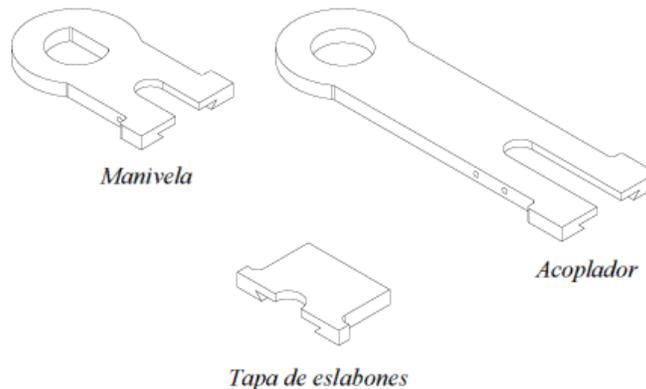
Se conserva el perfil cola de milano por su sencillez y versatilidad, se debe aclarar que cualquier perfil puede ser utilizado siempre y cuando garantice un buen deslizamiento de la junta



*Figura 12. Perfiles posibles a utilizar (Hiram Ezequiel Chávez Bedoy, 2007)*

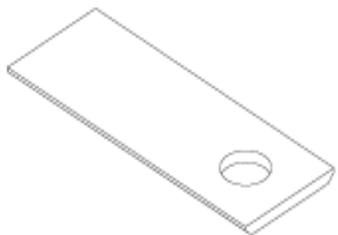
Cada eslabón tiene una tapa que va soldada y la junta será retenida mediante dos tornillo opresores, esto garantiza que sus elementos se mantengan fijos durante su funcionamiento.

A continuación se muestran isométricos de los componentes de cada mecanismo



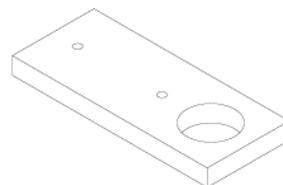
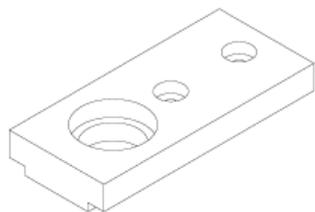
<sup>6</sup> Hiram Ezequiel Chávez Bedoy "Diseño y construcción de tres mecanismos didácticos de cuatro elementos (RRRR, RRRP y RRPR)", Tesis, Ing. Universidad Autónoma Metropolitana, 2007, México, DF.

*Figura 13. Isométricos de eslabones y tapa (Hiram Ezequiel Chávez Bedoy, 2007)*



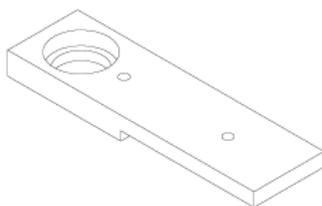
*Figura14. Isométrico de carro Junta*

*Figura15. Isométrico de perno*

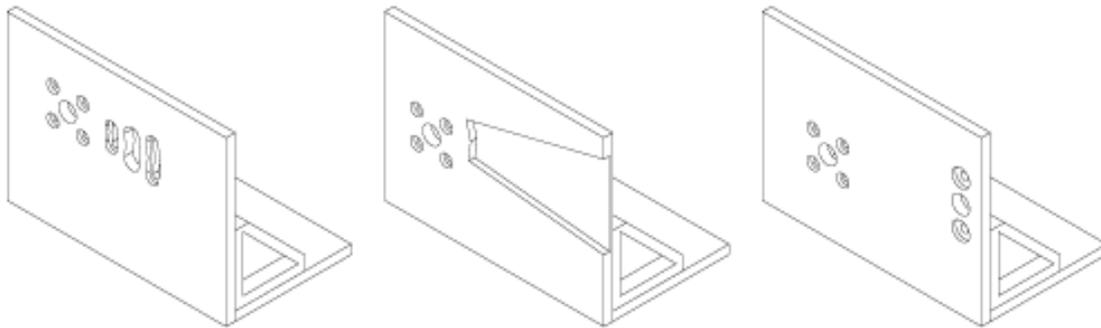


*Figura16. Isométrico junta corredera*

*Figura17. Isométrico junta lado chumacera*



*Figura18. Isométrico de extremo guía lado manivela (Hiram Ezequiel Chávez Bedoy, 2007)*

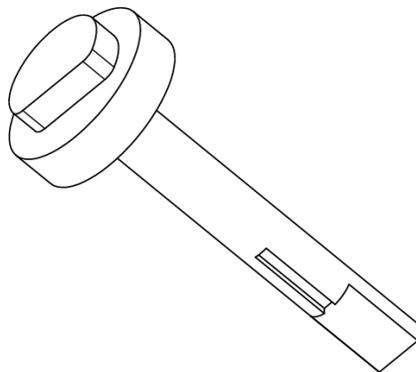


*Figura19. Isométrico de bases mecanismo RRRR, RRPR y RRRP (Hiram Ezequiel Chávez Bedoy, 2007)*

Se conservaron casi todos los elementos del diseño original [*DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE TRES MECANISMOS DIDÁCTICOS DE CUATRO ELEMENTOS (RRRR, RRRP Y RRPR)*], ya que como habíamos mencionado al principio, es un diseño funcional y el propósito era instrumentarlo. Solo tuvimos que rediseñar algunos componentes y fabricar los elementos necesarios para sujetar el potenciómetro.

#### EJE DE SALIDA

El eje conservo su diseño, solo tuvimos que adicionar una cuña ya que es ahí donde irá soportado el engrane encargado de transmitir el movimiento al potenciómetro, esto para obtener el ángulo de entrada.



*Figura 20. Eje de entrada con cuñero*

Para poder montar el potenciómetro consultamos el dibujo normalizado de un potenciómetro BI 6787 R10 K, en el cual está basado el porta potenciómetro, lo diseñamos de manera que fuera concéntrico a los pernos de junta en los eslabones, el potenciómetro estará sujeto por un barreno donde se aloja el pin anti rotación del potenciómetro.

El porta potenciómetro será sujetado por dos tornillos de cabeza hexagonal milimétricos M5-0.8mm

#### PERNO DE JUNTA

Modificamos el perno para que alojara una cuña que garantizara que no giraría junto con el potenciómetro y les agregamos una pequeña pestaña que es la que sujetara al eje del mismo.

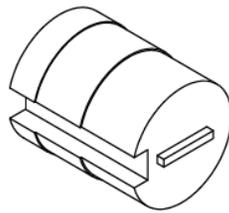


Figura 21. Perno de junta para eslabón modificado

## BASE PARA POTENCIÓMETRO

Base diseñada para colocarla en la parte posterior del mecanismo, justo después de la chumacera. Cada sujeción del potenciómetro tiene dos barrenos que están separados 38 mm entre centros por lo que la base debe contar con los barrenos roscados (M5-0.8)

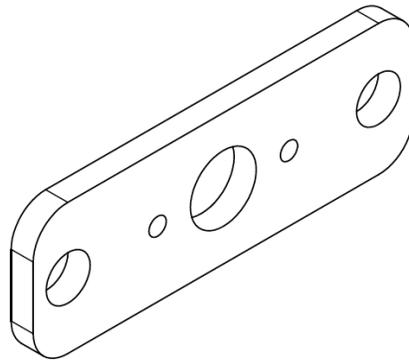


Figura 22. Base de potenciómetro

## PORTAPOTENCIOMETRO

Es el elemento principal ya que este se encargara de albergar al potenciómetro y de centrarlo a los ejes de los eslabones donde se encuentra montado.

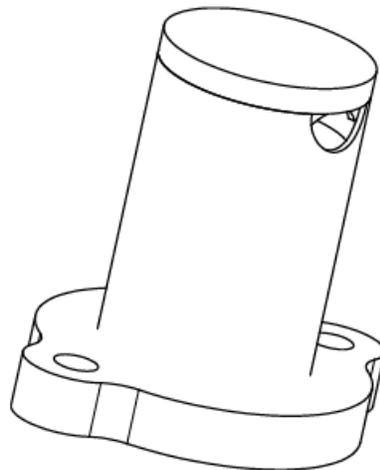


Figura 23. Ensamble de porta potenciómetro, tapa y brida

## DADO HERRAMIENTA

Como no existe un dado comercial con la longitud necesaria para montar y desmontar el potenciómetro, diseñamos la herramienta que puede hacerlo.

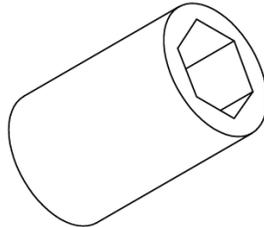


Figura 24. Dado herramienta

## ENGRANAJES, PIÑÓN Y CREMALLERA

Para la determinación de los engranes fue de tal manera que sobresaliera de la chumacera la cual estaba dentro de una circunferencia de 100 mm, por lo que esa fue la medida mínima para el diámetro del engrane, por consiguiente el siguiente engrane al que deberíamos transmitir movimiento sería de las mismas dimensiones, en el piñón utilizamos el mismo diente y paso diametral, ya que sería más rápido para el proceso de manufactura, también considerando que era el cortador disponible. Para el número de dientes seleccionamos uno de paso diametral fino, 48 dientes y un módulo 2, nos basamos en la tabla 13-2 del libro Diseño en ingeniería de Shigley.<sup>7</sup>

Continuando con el diseño, la cremallera tenía que tener el mismo paso diametral por lo que solo determinamos el tamaño que ocuparía en la corredera del mecanismo RRRP y RRPR, la distancia fue de 19 mm y los piñones los colocaríamos de forma que la carrera de las correderas les permitiera alcanzarlo pero si salir de las mismas.

En los engranajes tuvimos que hacer tres barrenos, dos serían para colocar el potenciómetro y uno más para pasar un destornillador piliphis con la finalidad de poder sujetar el engrane, ya acoplado a su base, a la base del mecanismo.

---

<sup>7</sup> Richard G. Budynas y J. Keith Nisbett, "Diseño en ingeniería mecánica de Shigley" 9ª Ed. Mc. Graw Hill, México 2008.

Y para el engranaje de transmisión se hizo un cuñero que garantizara el movimiento ya que aun no transmitiendo fuerza podía no girar el potenciómetro y no tendríamos una medición de esa variable.

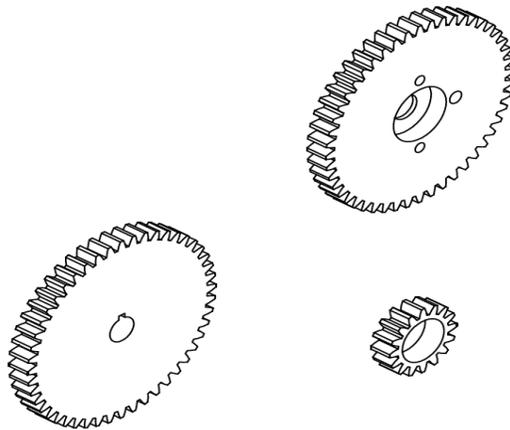


Figura 25. Engranajes y piñón

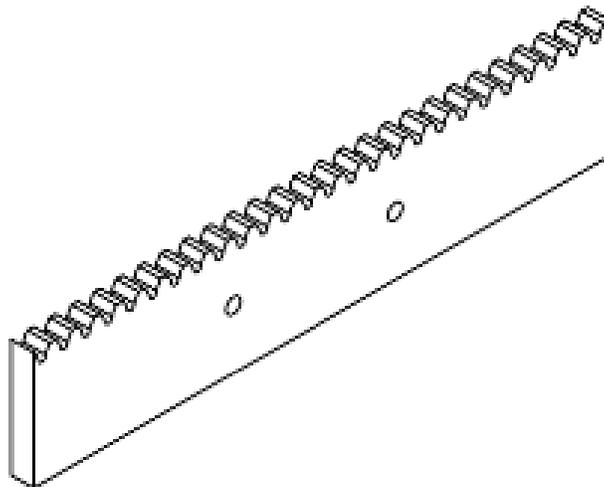


Figura 26. Cremallera

## SOPORTES.

Los soportes para los piñones fueron hechos de tal manera que funcionaran como una contratuerca y a la vez un eje para el potenciómetro, de esta manera garantizamos estabilidad y la medición a lo largo de su carrera. Por una parte un piñón está sujeto a la base del mecanismo RRPR y la corredera junto con la cremallera está desplazándose, en el mecanismo RRRP el piñón está fijo en la guía y la cremallera esta fija a la corredera.

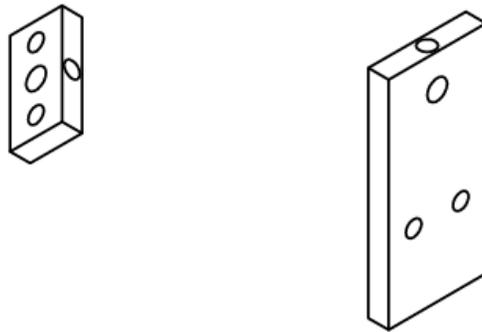
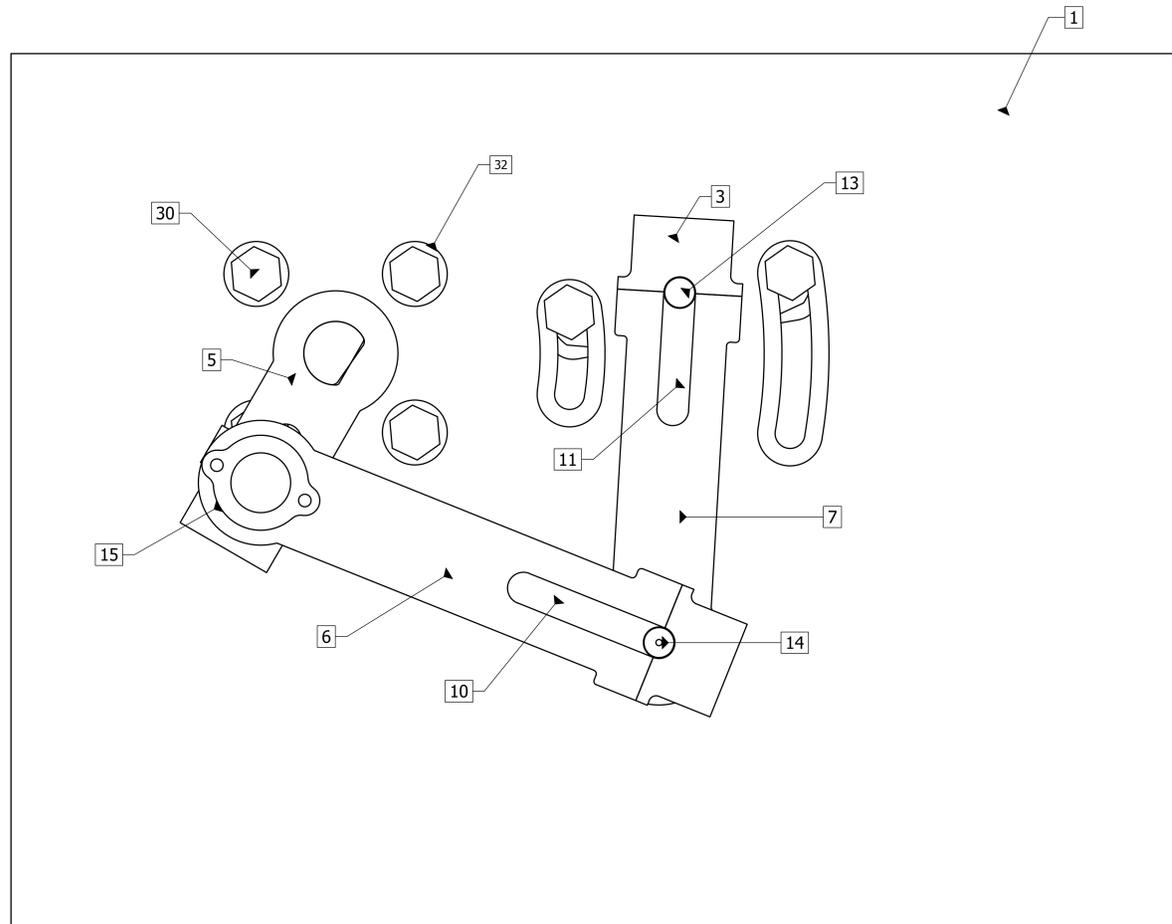
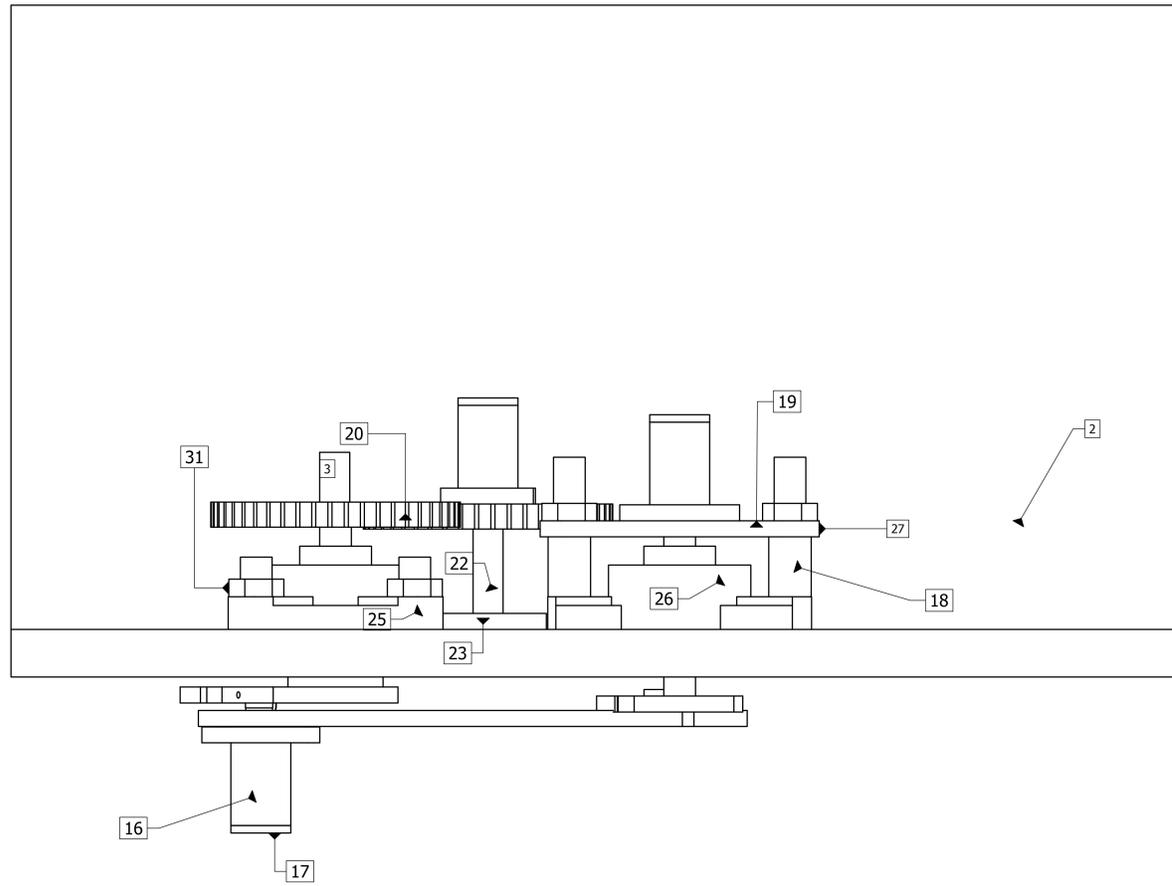


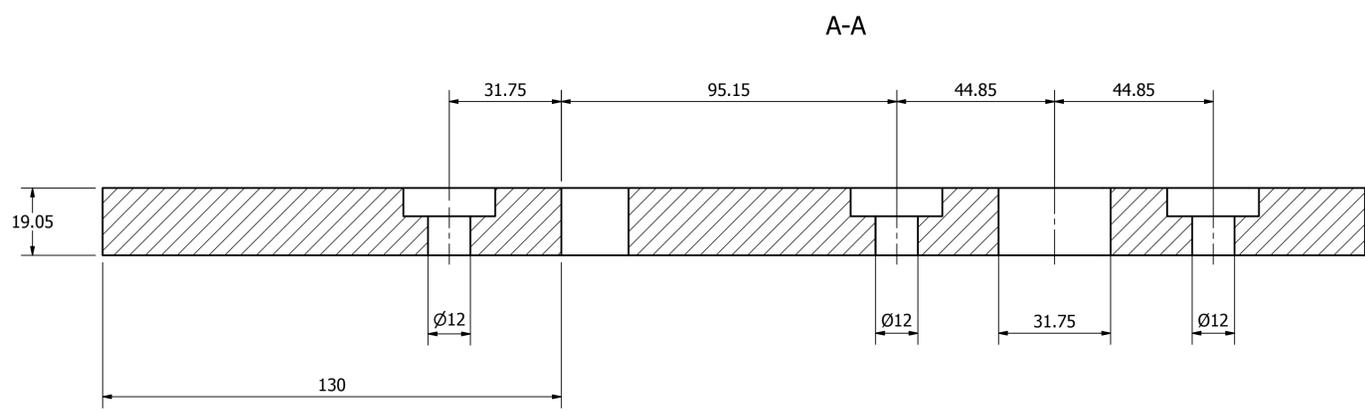
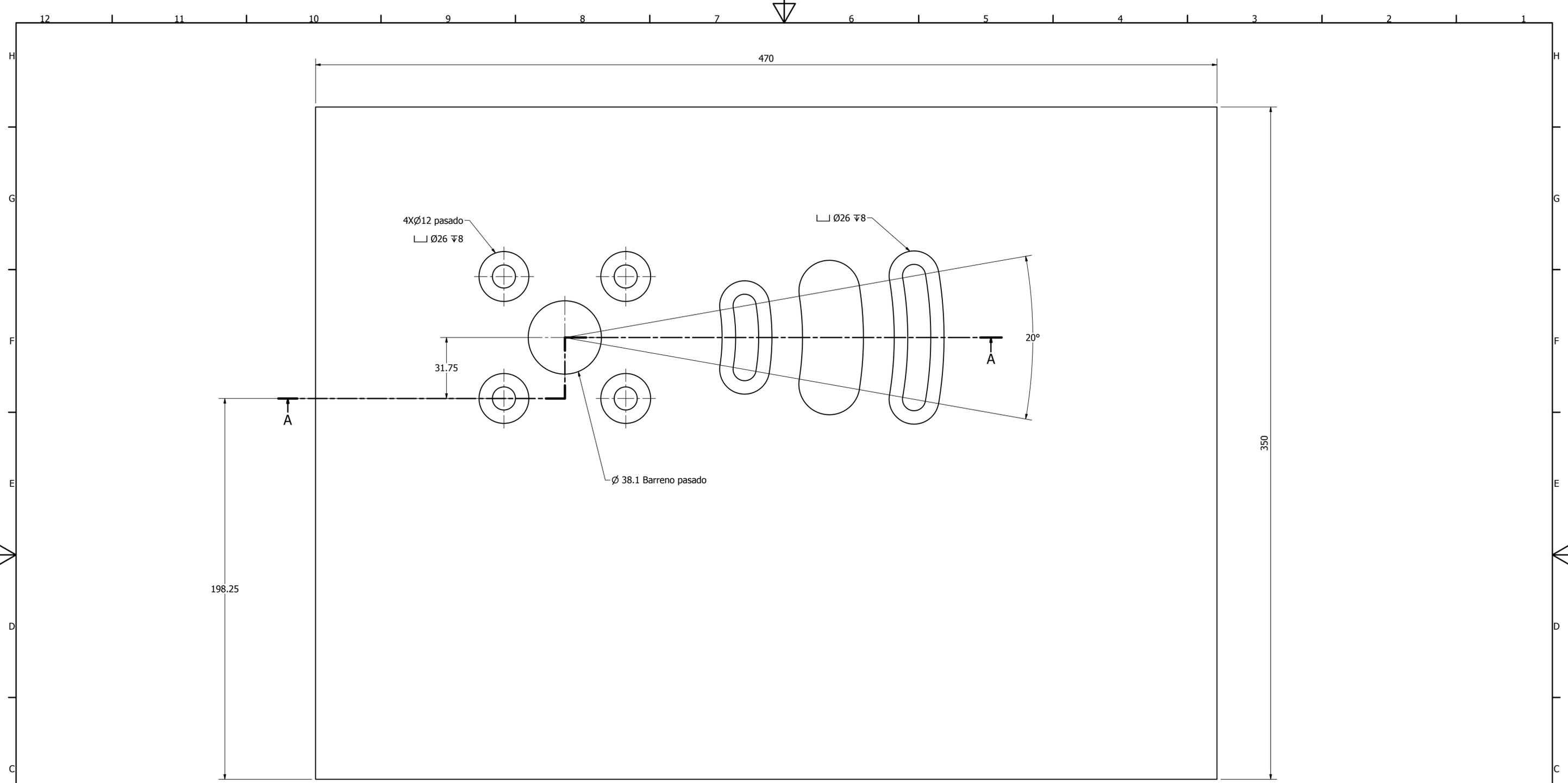
Figura 27. Soporte RRPR a la izquierda y a la derecha el soporte RRRP

## 6. Dibujos normalizados



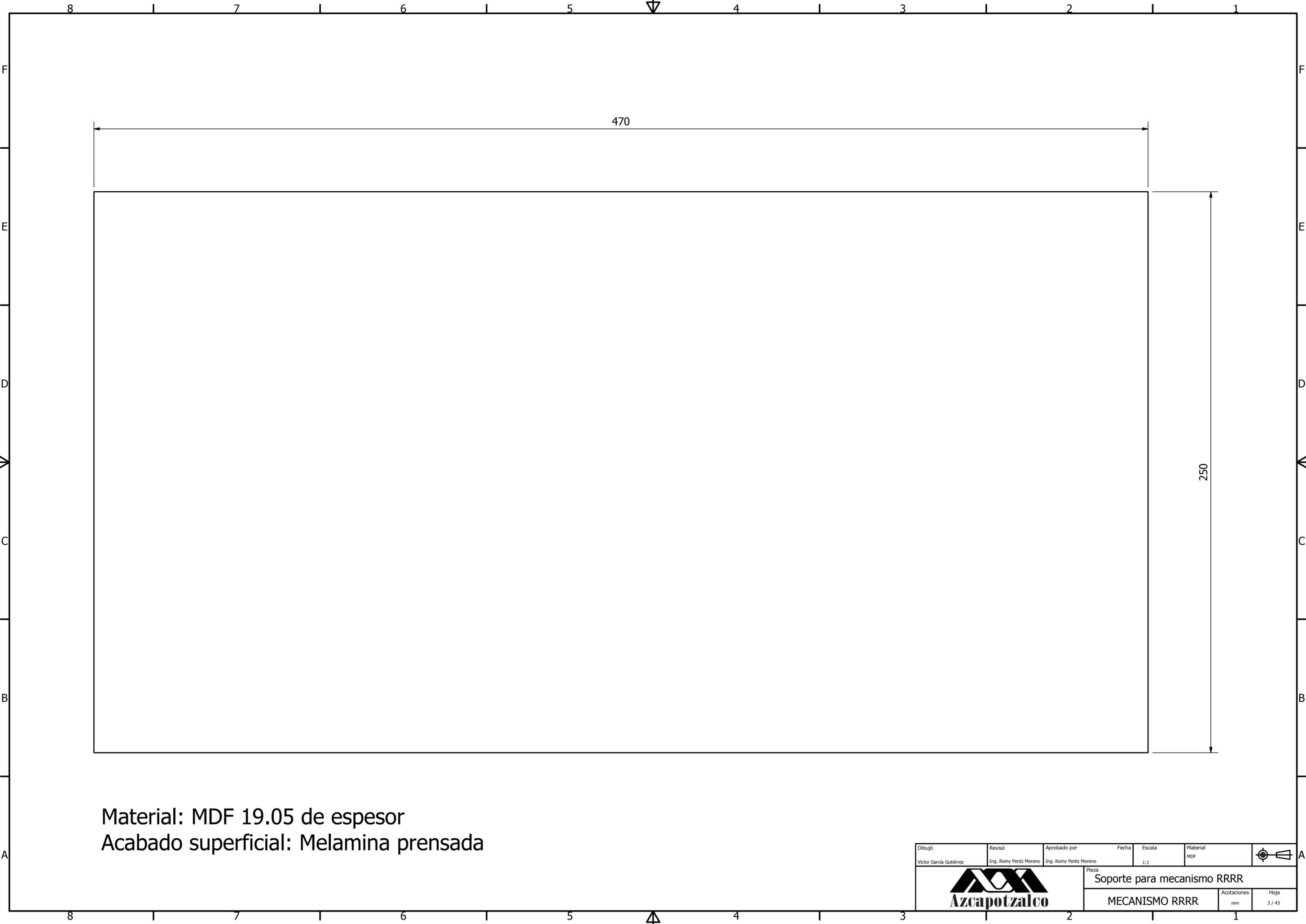
Lista de partes

No.	Cantidad	Descripción	Hoja
1	1	Base de mecanismo RRRR	2 / 43
2	1	Soporte para mecanismo RRRR	3 / 43
3	1	Eje de transmisión	4 / 43
4	1	Cople motor-eje	5 / 43
5	1	Manivela para mecanismo RRRR	6 / 43
6	1	Acoplador para mecanismo RRRR	7 / 43
7	1	Balancin para mecanismo RRRR	8 / 43
8	3	Tapa de eslabones	9 / 43
9	1	Junta para manivela de mecanismo RRRR	10 / 43
10	1	Junta para acoplador de mecanismo RRRR	11 / 43
11	1	Junta para balancin de mecanismo RRRR	12 / 43
12	1	Perno de junta de manivela mecanismo RRRR	13 / 43
13	1	Perno de junta de balancin mecanismo RRRR	14 / 43
14	1	Perno de junta de acoplador mecanismo RRRR	15 / 43
15	3	Sujeción de potenciómetro	16 / 43
16	3	Portapotenciómetro	17 / 43
17	3	Tapa de portapotenciómetro	18 / 43
18	2	Separador	19 / 43
19	1	Base de potenciómetro	20 / 43
20	1	Engrane de transmisión	21 / 43
21	1	Engrane de potenciómetro	22 / 43
22	1	Soporte de engrane	23 / 43
23	1	Sujeción de soporte de engrane	24 / 43
24	3	Potenciómetro de precisión 6187R10	---
25	1	Chumacera 1/2" 4 barrenos de pared	---
26	1	Chumacera 1/2" 2 barrenos de pared	---
27	2	Mensula	---
28	2	Rodamiento 6901	---
29	1	Rodamiento 6001	---
30	6	Tornillo 3/8-16UNC-2A	---
31	6	Tuerca 3/8-16UNC-2B	---
32	6	Rondana 3/8	---

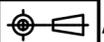


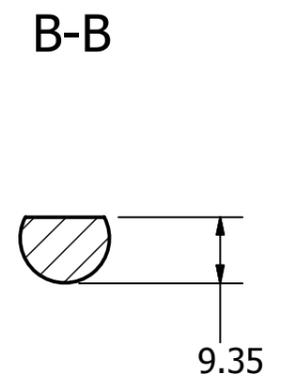
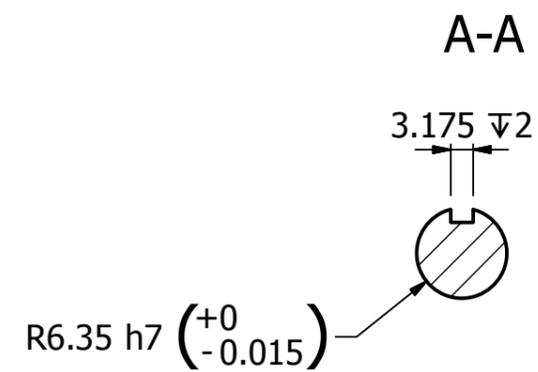
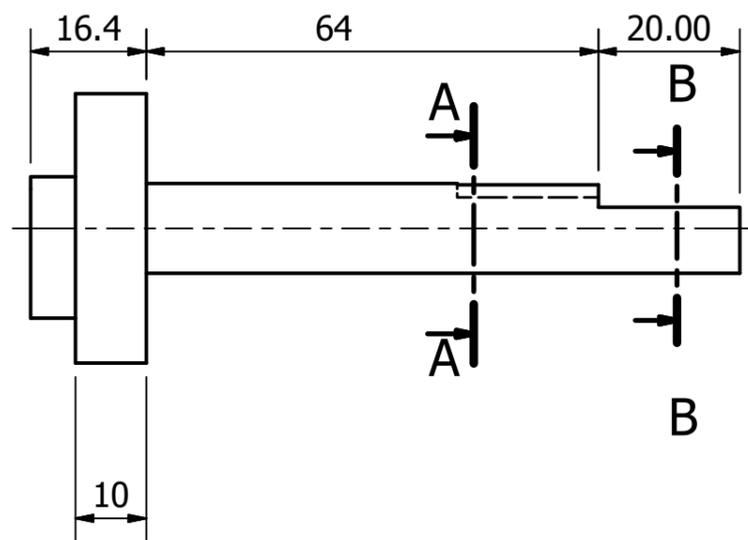
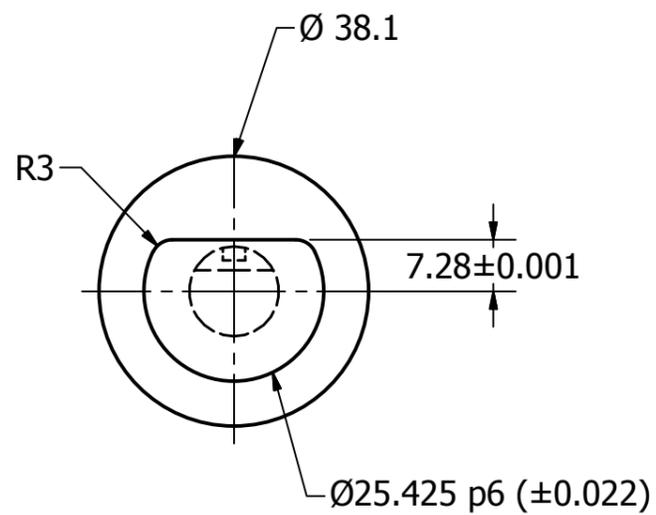
Material: MDF 19.05 mm de espesor  
 Recubrimiento: Melamina prensada

Dibujó Victor García Gutiérrez	Revisó Ing. Romy Pérez Moreno	Aprobado por Ing. Romy Pérez Moreno	Fecha	Escala 1:1	Material MDF	
					Base de mecanismo RRRR MECANISMO RRRR	



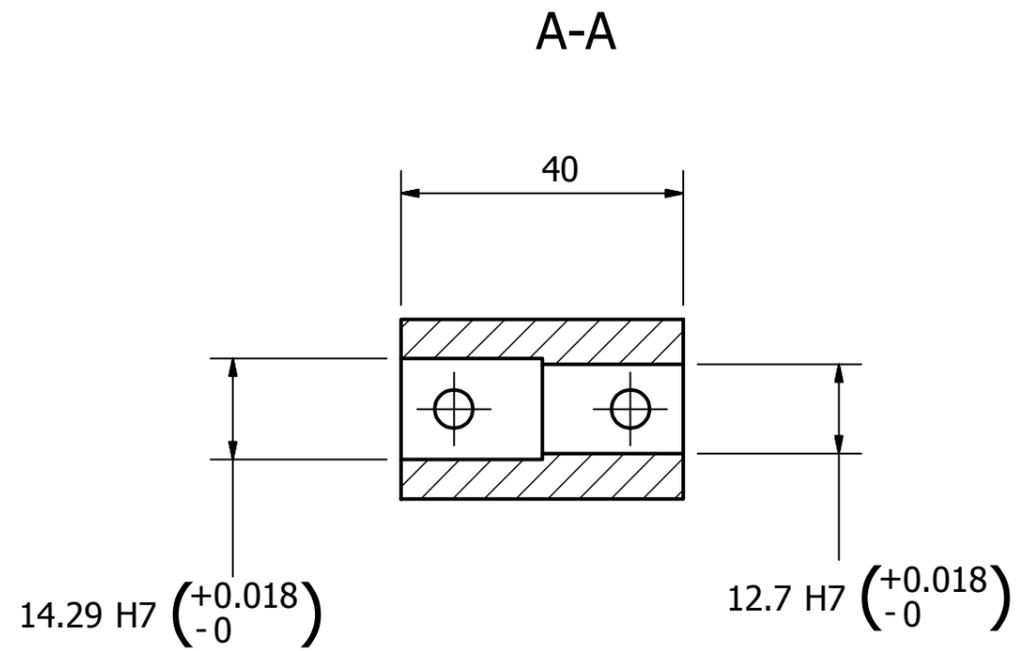
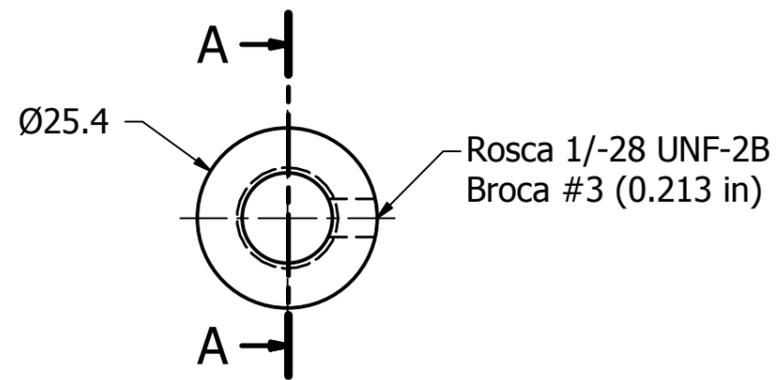
Material: MDF 19.05 de espesor  
 Acabado superficial: Melamina prensada

Dibujó Víctor García Gutiérrez	Revisó Ing. Romy Peréz Moreno	Aprobado por Ing. Romy Peréz Moreno	Fecha	Escala 1:1	Material MDF	
			Pieza Soporte para mecanismo RRRR		Acotaciones mm	



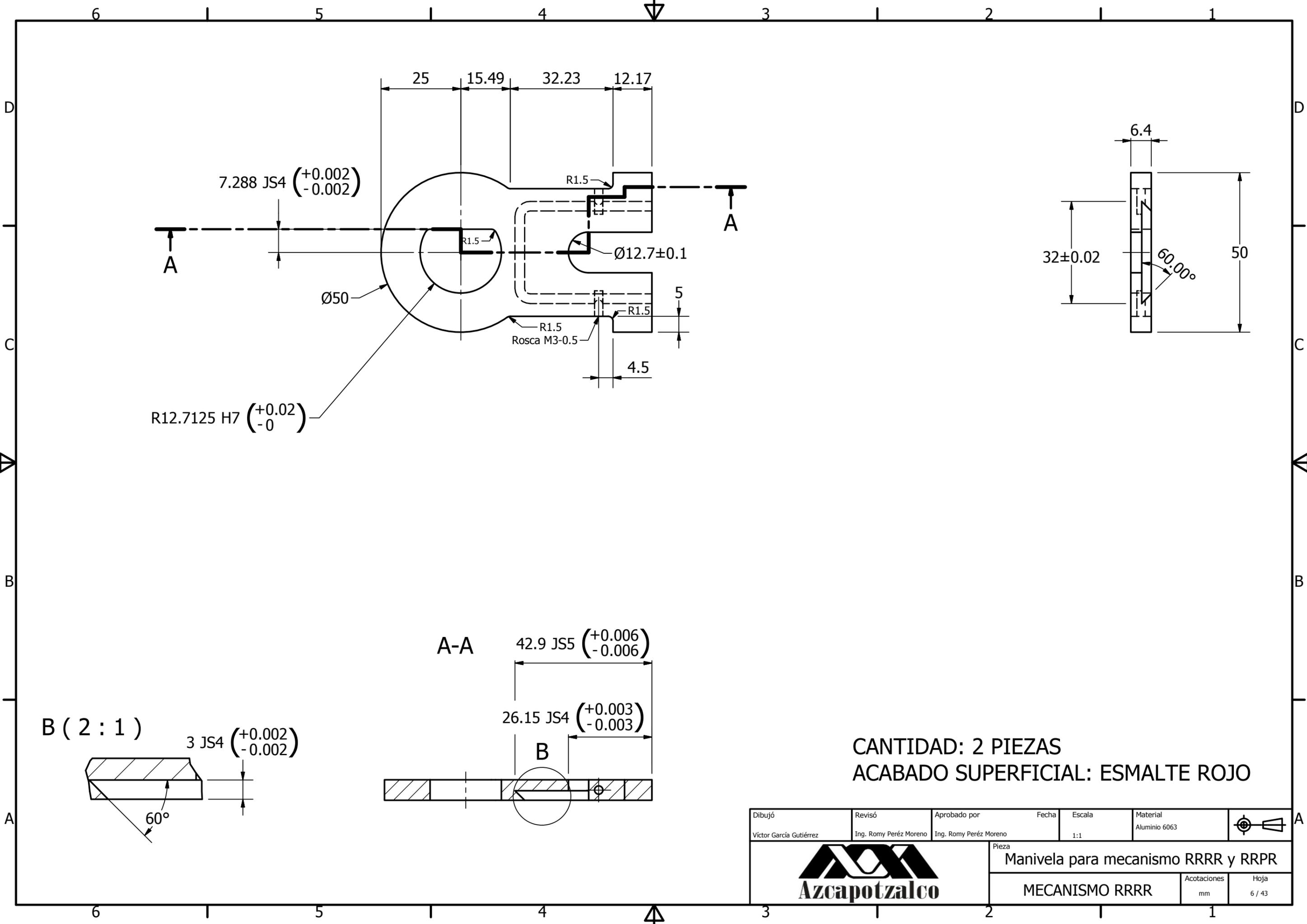
Cantidad: 3 piezas  
 Tolerancias no especificadas Js13 y js13

Dibujó Víctor García Gutiérrez	Revisó Ing. Romy Pérez Moreno	Aprobado por Ing. Romy Pérez Moreno	Fecha	Escala 1:1	Material Aluminio 6063	
					Pieza <b>Eje de transmisión</b>	
					Acotaciones mm	Hoja 4 / 43



Cantidad: 3 piezas

Dibujó Víctor García Gutiérrez	Revisó Ing. Romy Pérez Moreno	Aprobado por Ing. Romy Pérez Moreno	Fecha	Escala 1:1	Material Aluminio 6063	
		Pieza Cople motor-eje		Acotaciones mm	Hoja 5 / 43	
		MECANISMO RRRR				



7.288 JS4  $\begin{pmatrix} +0.002 \\ -0.002 \end{pmatrix}$

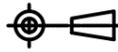
R12.7125 H7  $\begin{pmatrix} +0.02 \\ -0 \end{pmatrix}$

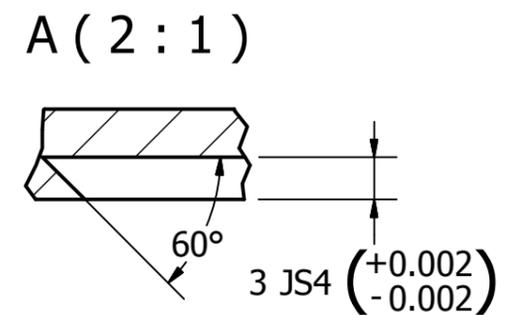
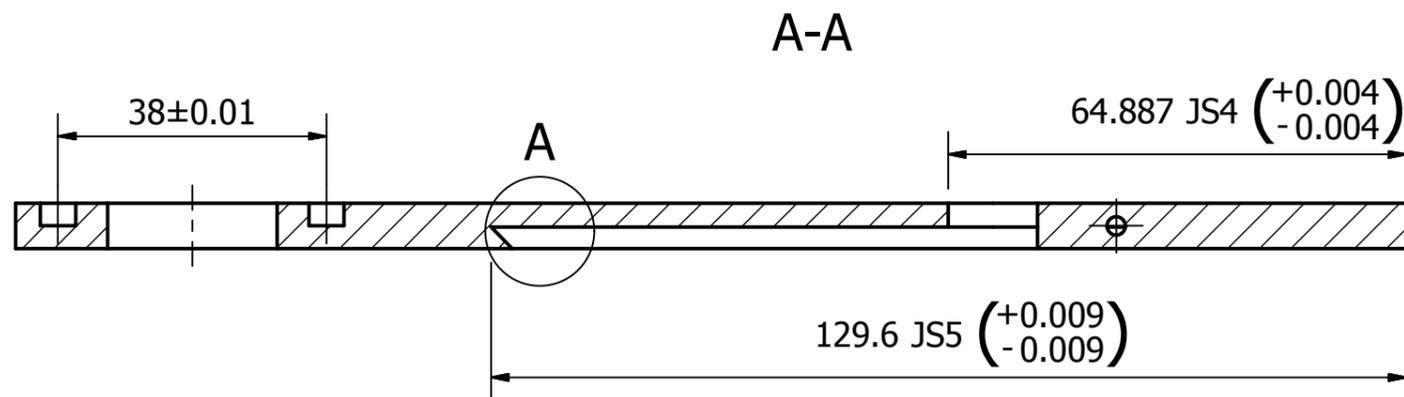
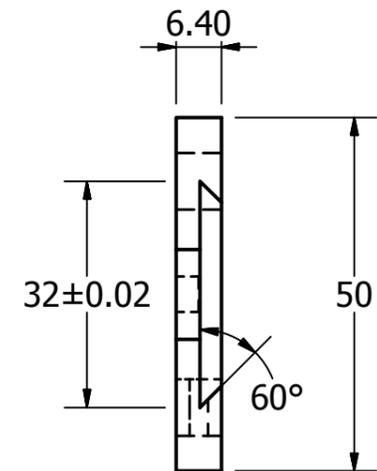
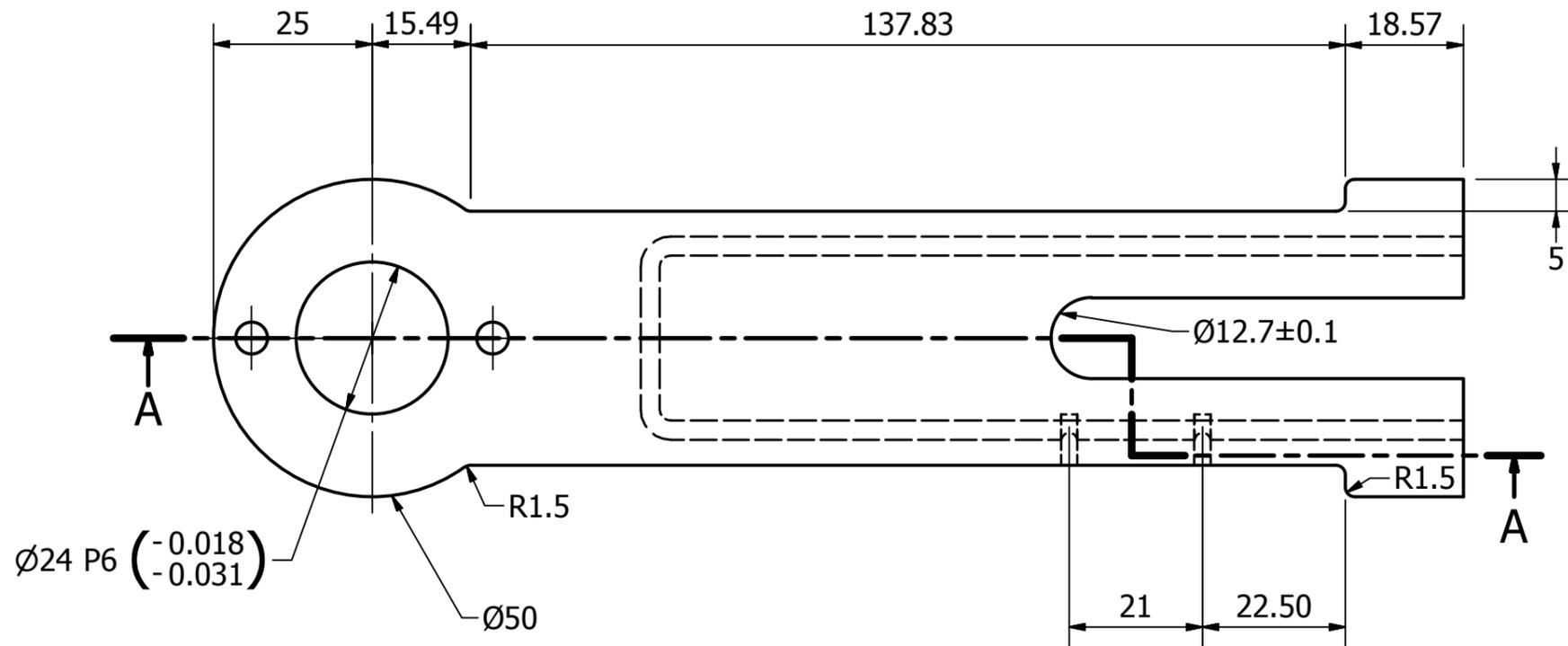
A-A 42.9 JS5  $\begin{pmatrix} +0.006 \\ -0.006 \end{pmatrix}$

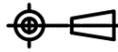
26.15 JS4  $\begin{pmatrix} +0.003 \\ -0.003 \end{pmatrix}$

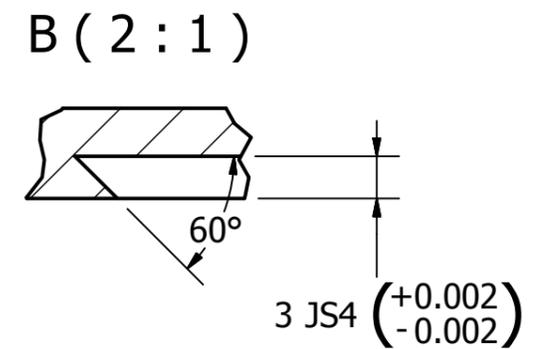
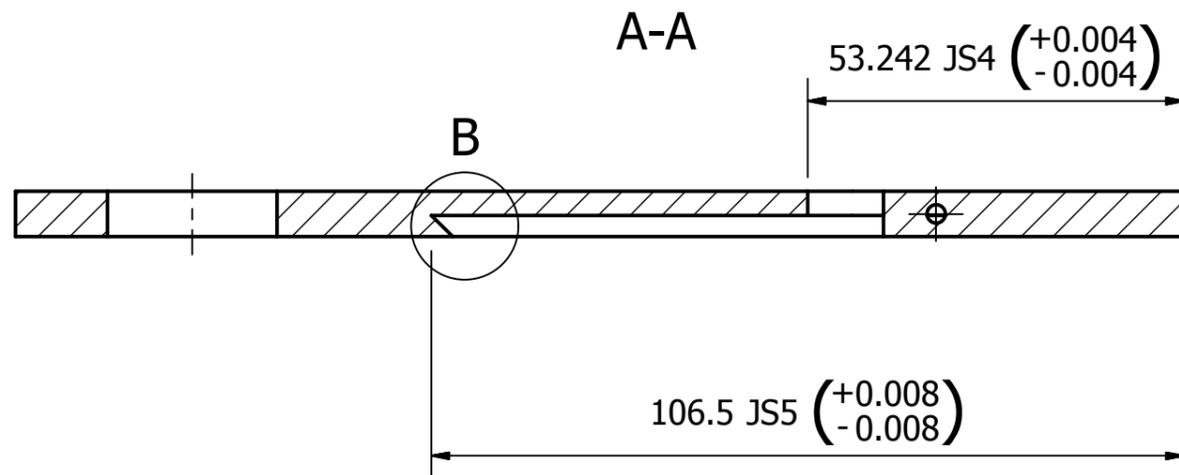
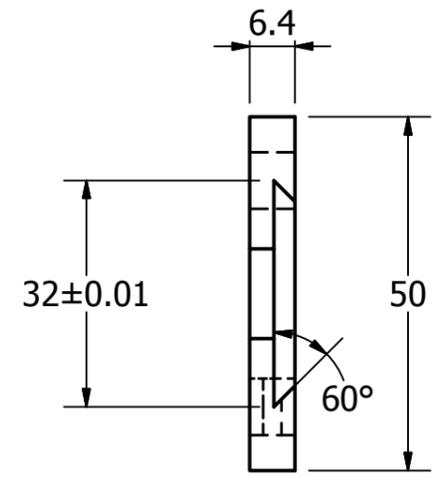
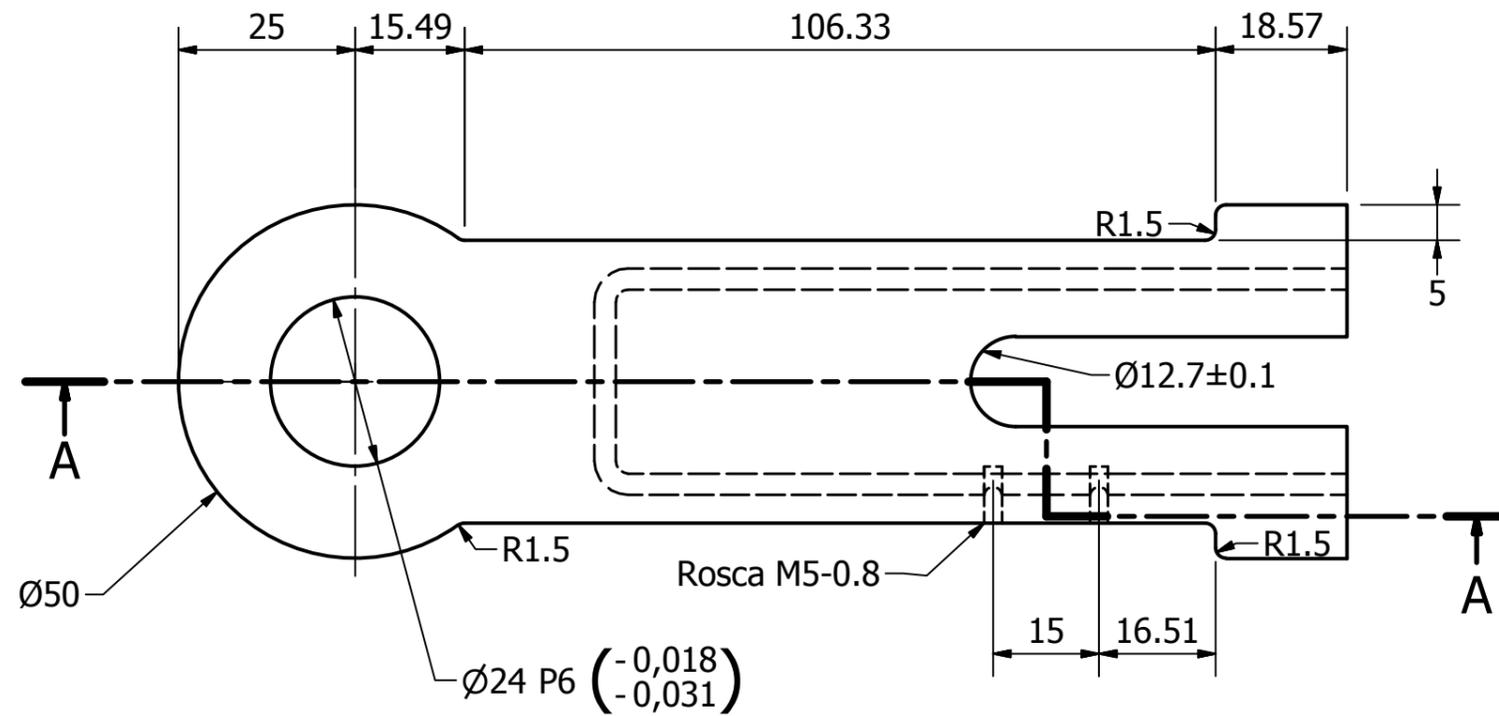
B (2:1) 3 JS4  $\begin{pmatrix} +0.002 \\ -0.002 \end{pmatrix}$

CANTIDAD: 2 PIEZAS  
 ACABADO SUPERFICIAL: ESMALTE ROJO

Dibujó Víctor García Gutiérrez	Revisó Ing. Romy Pérez Moreno	Aprobado por Ing. Romy Pérez Moreno	Fecha	Escala 1:1	Material Aluminio 6063	
			Pieza Manivela para mecanismo RRRR y RRPR		Acotaciones mm	

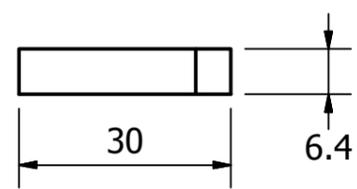
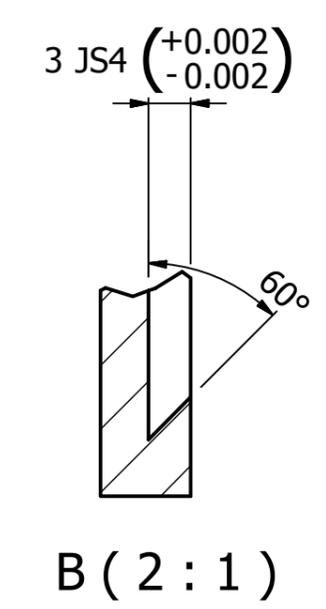
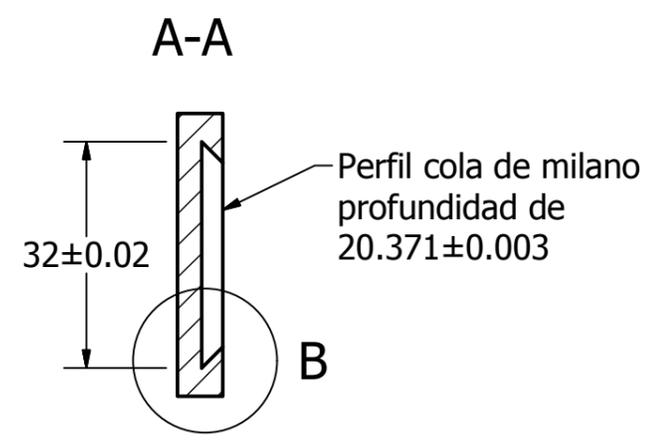
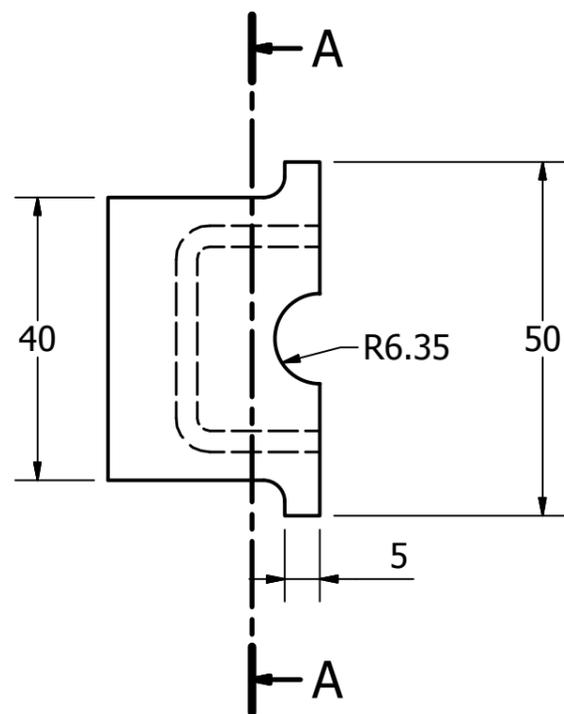


Dibujó Víctor García Gutiérrez	Revisó Ing. Romy Pérez Moreno	Aprobado por Ing. Romy Pérez Moreno	Fecha	Escala 1:1	Material Aluminio 6063	
			Pieza Acoplador para mecanismo RRRR y RRPR		Acotaciones mm	



CANTIDAD: 1 PIEZA  
 ACABADO SUPERFICIAL: ESMALTE ROJO

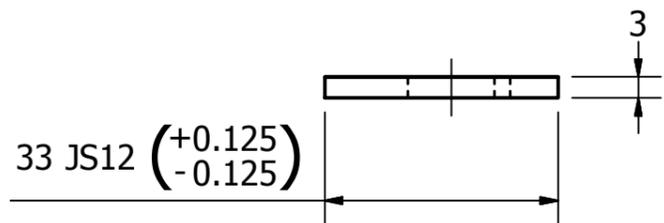
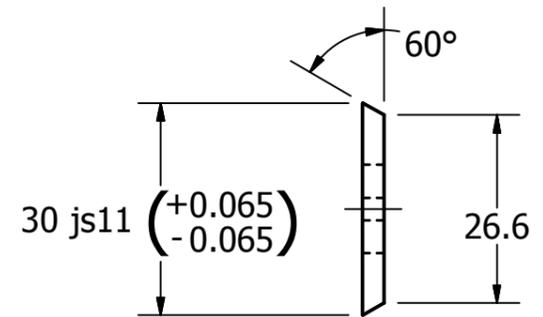
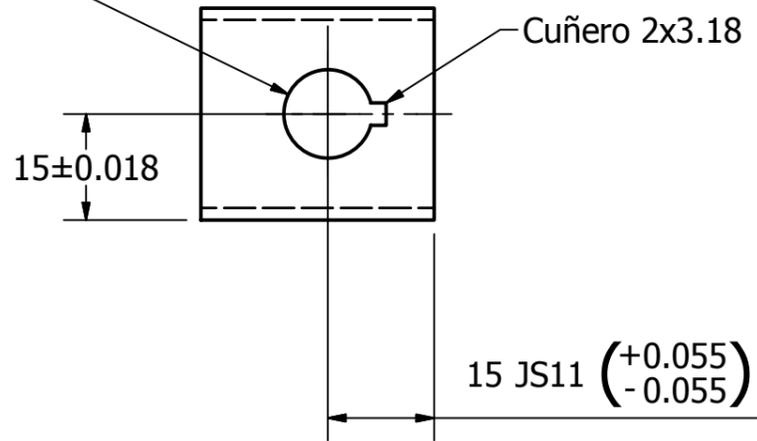
Dibujó Víctor García Gutiérrez	Revisó Ing. Romy Pérez Moreno	Aprobado por Ing. Romy Pérez Moreno	Fecha	Escala 1:1	Material Aluminio 6063	
				Pieza Balancín para mecanismo RRRR		
				MECANISMO RRRR		Acotaciones mm



CANTIDAD: 6 PIEZAS  
 ACABADO SUPERFICIAL: ESMALTE ROJO

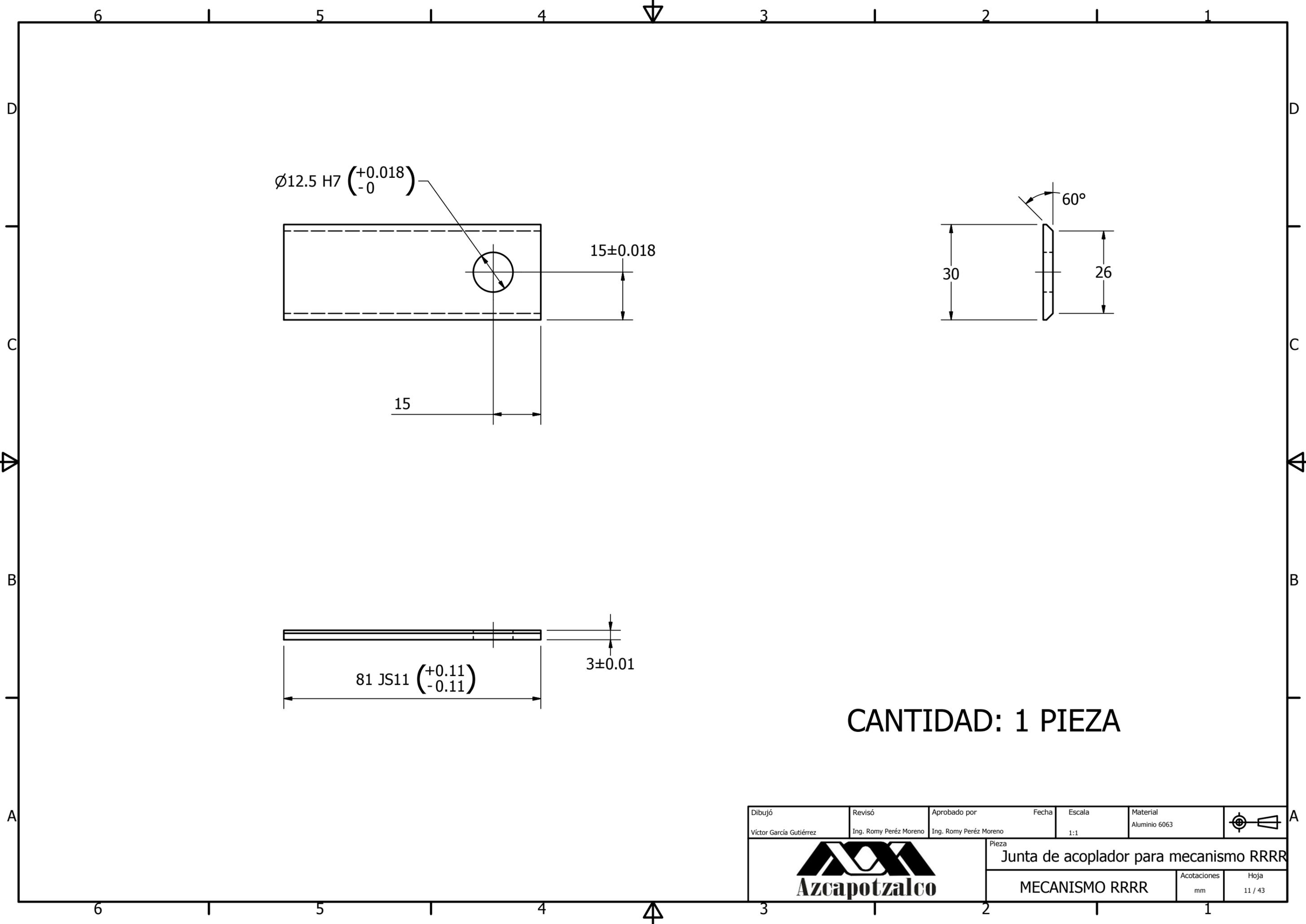
Dibujó Víctor García Gutiérrez	Revisó Ing. Romy Pérez Moreno	Aprobado por Ing. Romy Pérez Moreno	Fecha	Escala 1:1	Material Aluminio 6063	
				Pieza Tapa de eslabones		
				MECANISMO RRRR		Acotaciones mm

R6.25 H7  $\left(\begin{smallmatrix} +0.015 \\ -0 \end{smallmatrix}\right)$



CANTIDAD: 2 PIEZAS

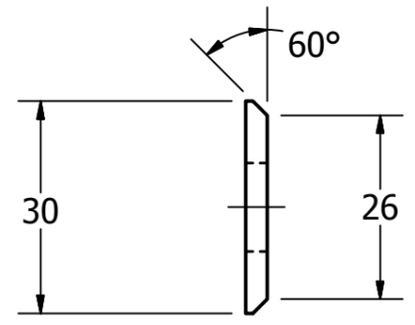
Dibujó Víctor García Gutiérrez	Revisó Ing. Romy Pérez Moreno	Aprobado por Ing. Romy Pérez Moreno	Fecha	Escala 1:1	Material Aluminio 6063	
		Pieza Junta de manivela para mecanismo RRRR				
		MECANISMO RRRR	Acotaciones mm	Hoja 10 / 43		



$\varnothing 12.5 H7 \left( \begin{matrix} +0.018 \\ -0 \end{matrix} \right)$

$15 \pm 0.018$

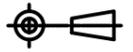
15



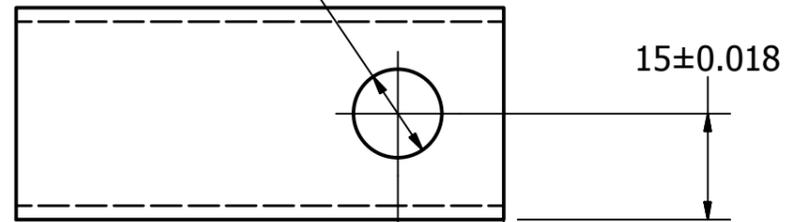
$3 \pm 0.01$

$81 JS11 \left( \begin{matrix} +0.11 \\ -0.11 \end{matrix} \right)$

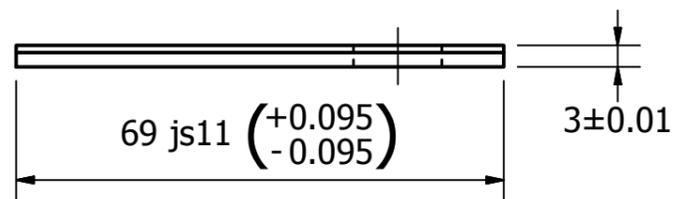
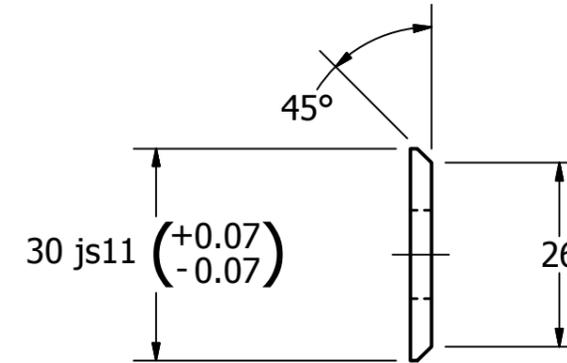
**CANTIDAD: 1 PIEZA**

Dibujó Víctor García Gutiérrez	Revisó Ing. Romy Pérez Moreno	Aprobado por Ing. Romy Pérez Moreno	Fecha	Escala 1:1	Material Aluminio 6063	
				Pieza Junta de acoplador para mecanismo RRRR		
				MECANISMO RRRR		Acotaciones mm

$\varnothing 12.5 \text{ H7 } \begin{pmatrix} +0.018 \\ -0 \end{pmatrix}$

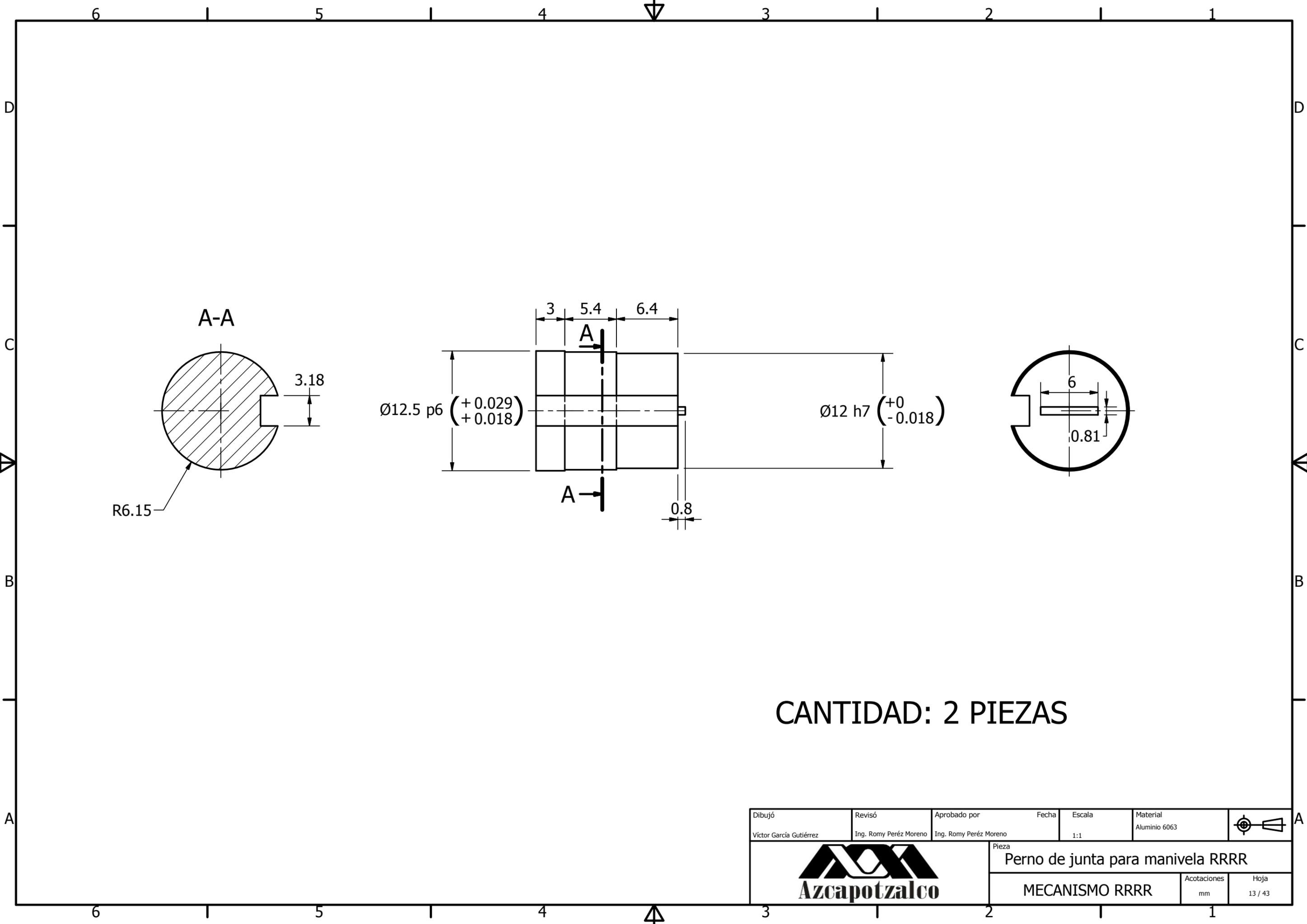


15 JS11  $\begin{pmatrix} +0.06 \\ -0.06 \end{pmatrix}$

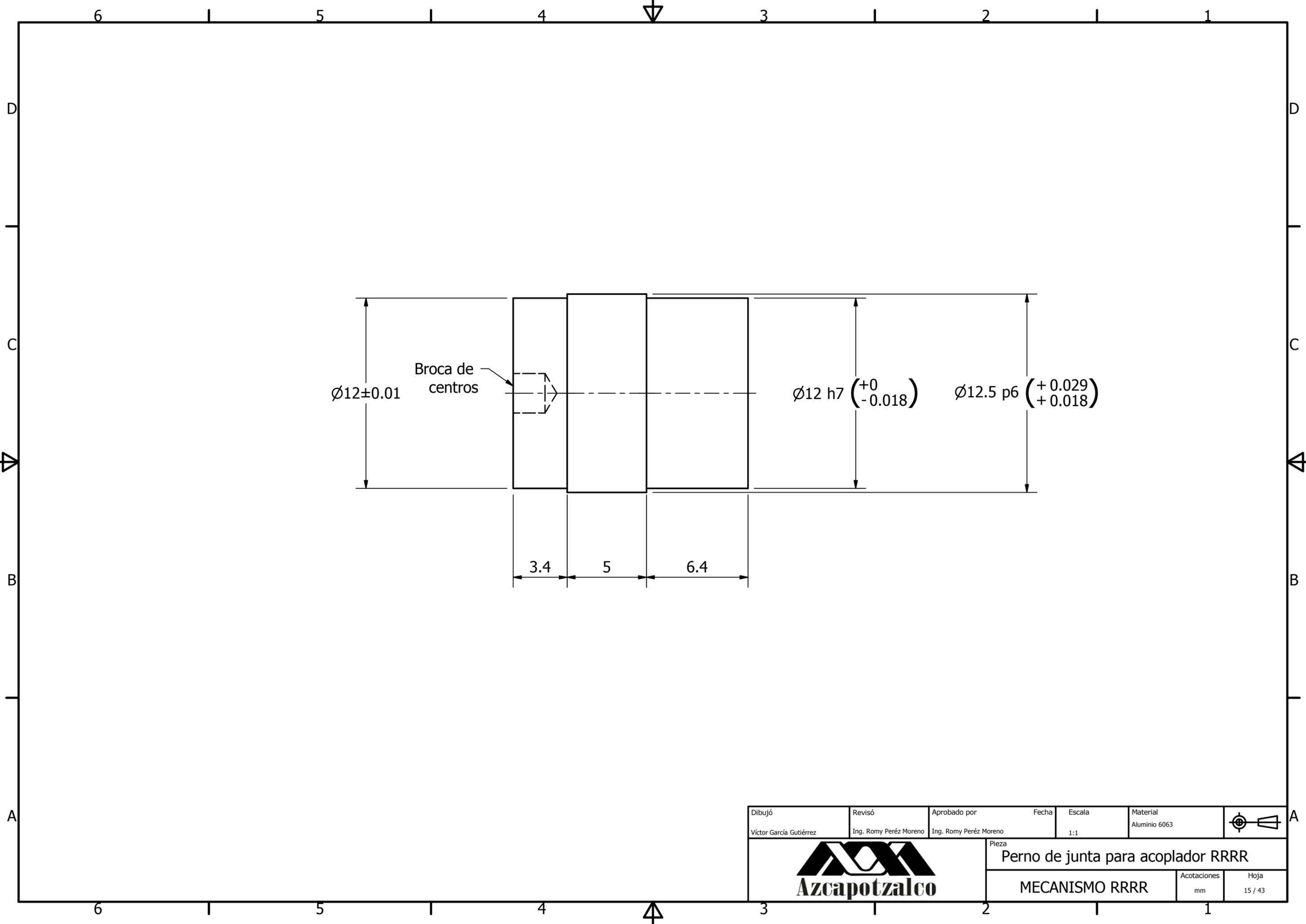


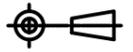
CANTIDAD: 1 PIEZA

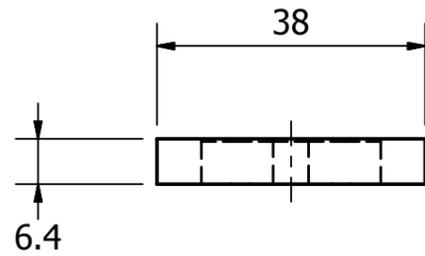
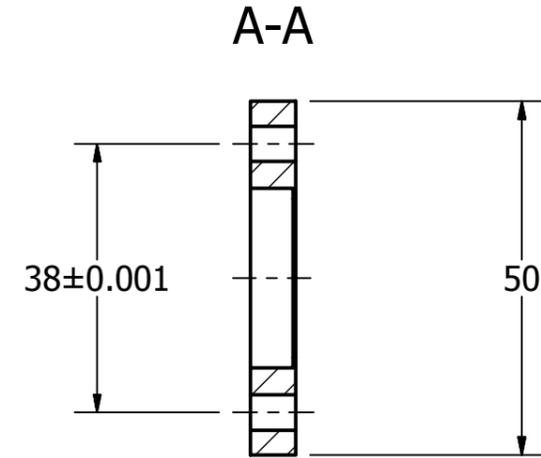
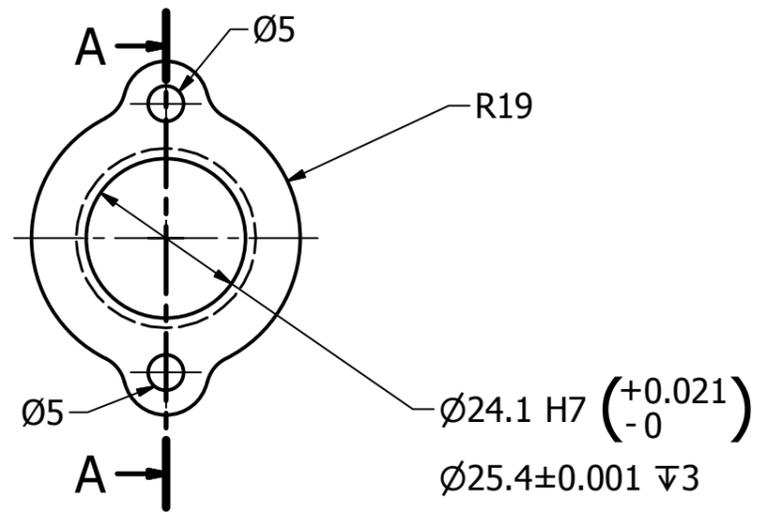
Dibujó Víctor García Gutiérrez	Revisó Ing. Romy Pérez Moreno	Aprobado por Ing. Romy Pérez Moreno	Fecha	Escala 1:1	Material Aluminio 6063	
		Pieza Junta de balancin para mecanismo RRRR				
		MECANISMO RRRR	Acotaciones mm	Hoja 12 / 43		

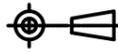


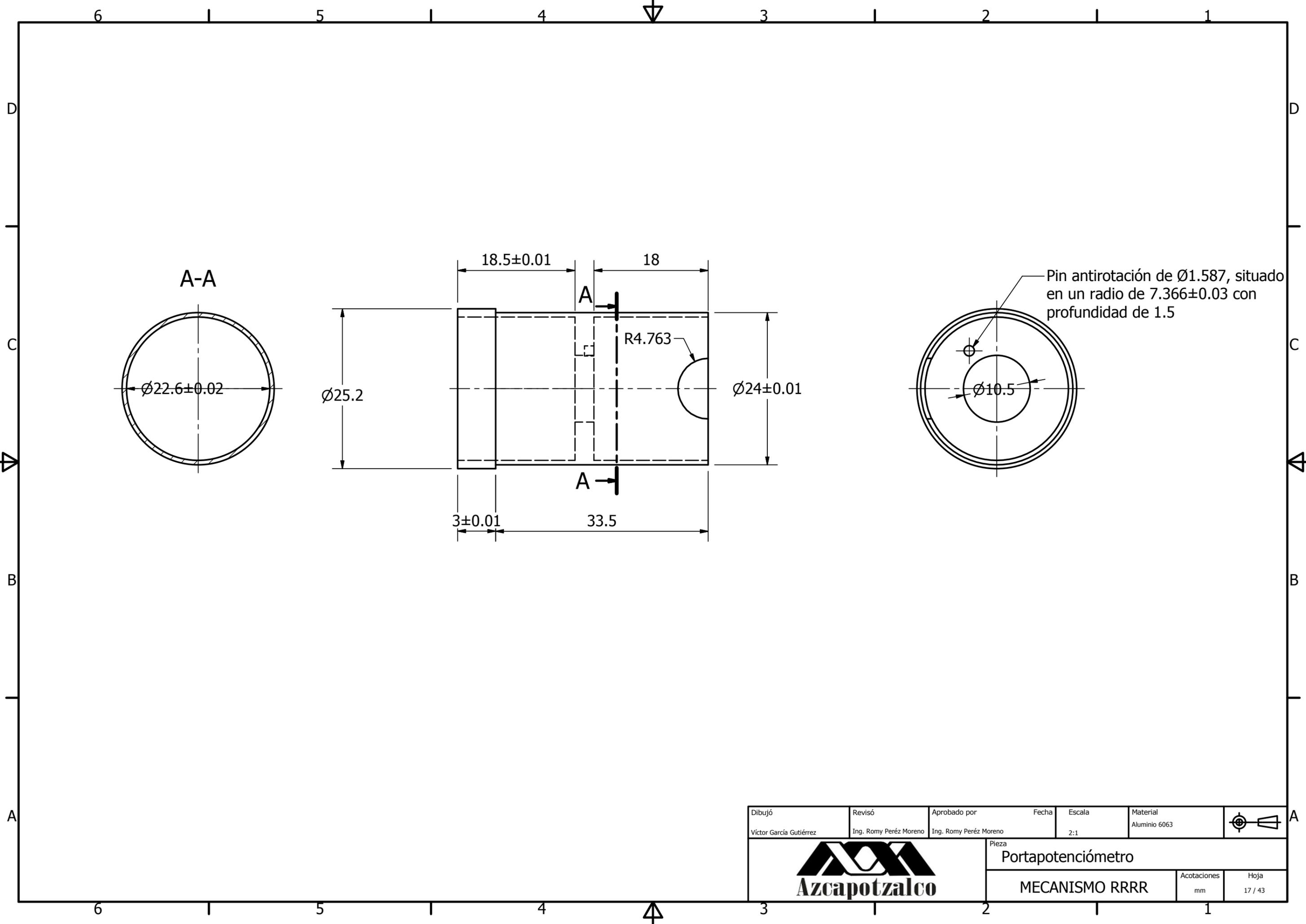


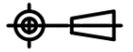


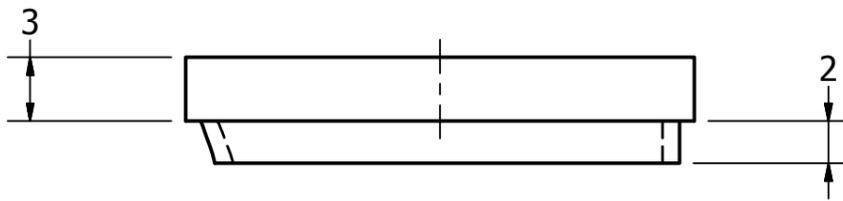
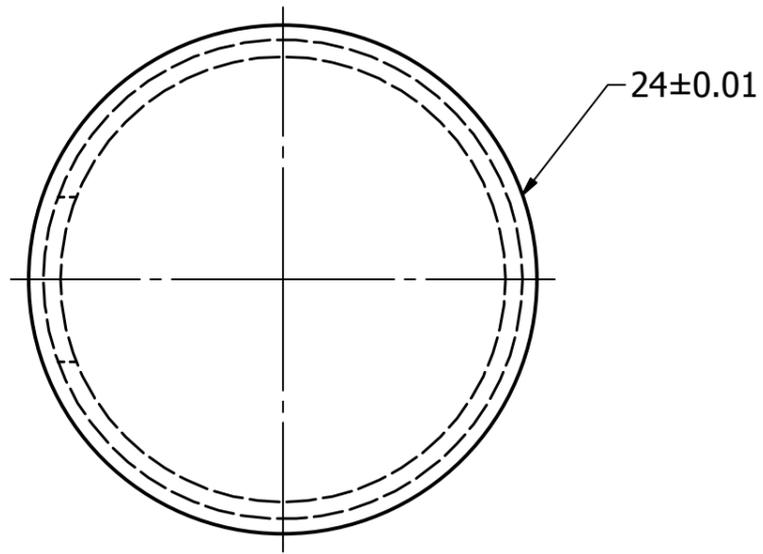
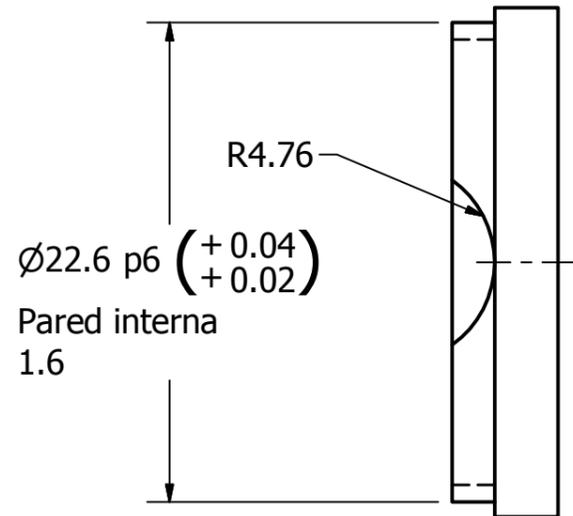
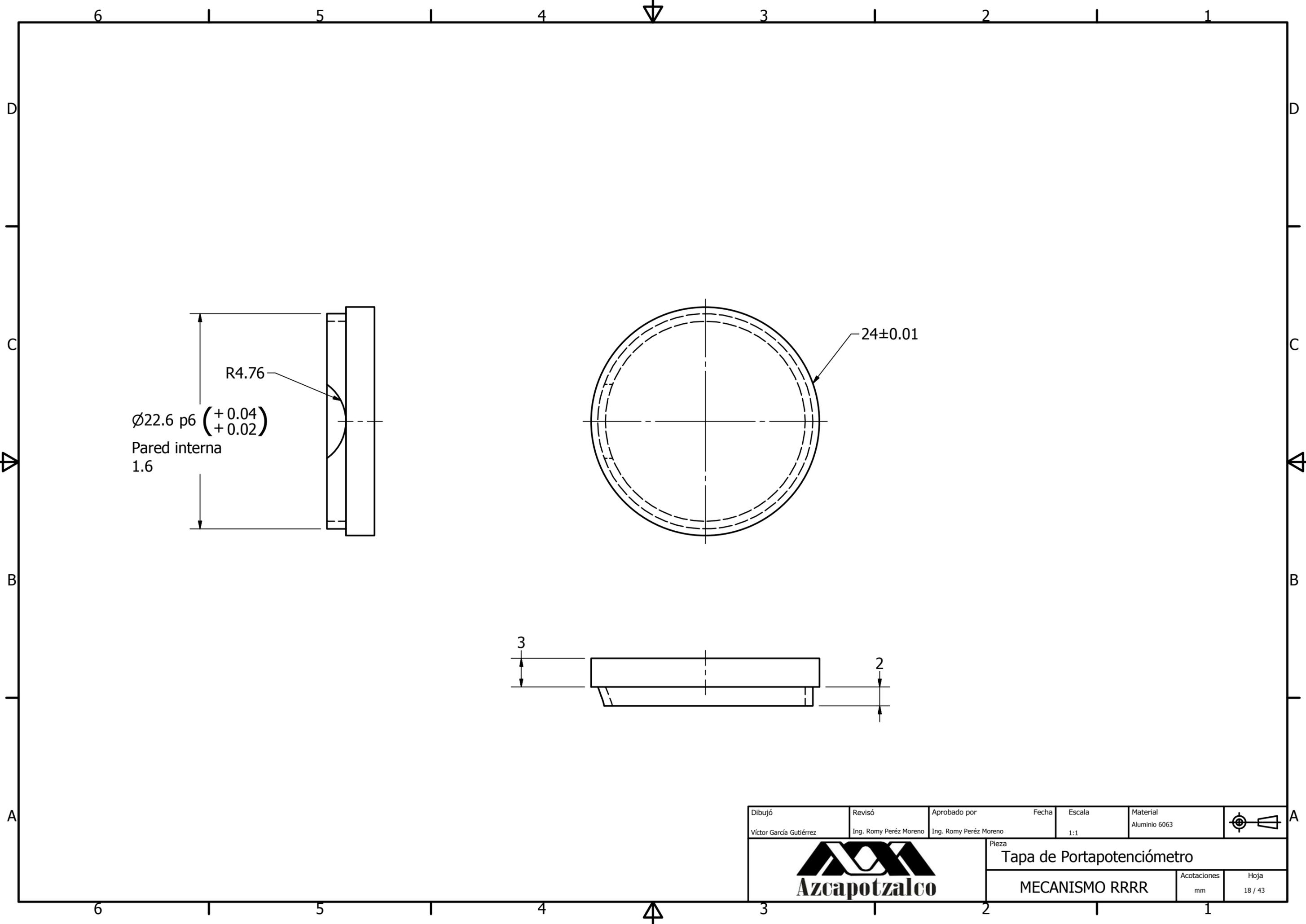
Dibujó	Revisó	Aprobado por	Fecha	Escala	Material		
Víctor García Gutiérrez	Ing. Romy Pérez Moreno	Ing. Romy Pérez Moreno		1:1	Aluminio 6063		
						Pieza	
						<b>Perno de junta para acoplador RRRR</b>	
						Acotaciones	Hoja
						mm	15 / 43

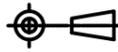


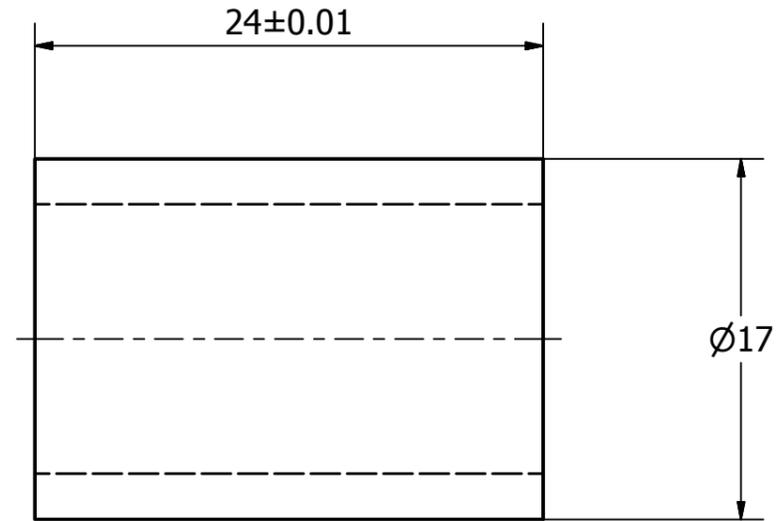
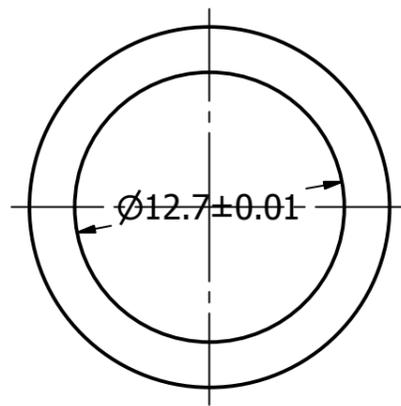
Dibujó Víctor García Gutiérrez	Revisó Ing. Romy Pérez Moreno	Aprobado por Ing. Romy Pérez Moreno	Fecha	Escala 1:1	Material Aluminio 6063	
					Pieza Sujeción de potenciómetro	
					MECANISMO RRRR	



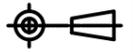
Dibujó	Revisó	Aprobado por	Fecha	Escala	Material	
Víctor García Gutiérrez	Ing. Romy Pérez Moreno	Ing. Romy Pérez Moreno		2:1	Aluminio 6063	
					Pieza	
					Portapotenciómetro	
					Acotaciones	Hoja
					mm	17 / 43

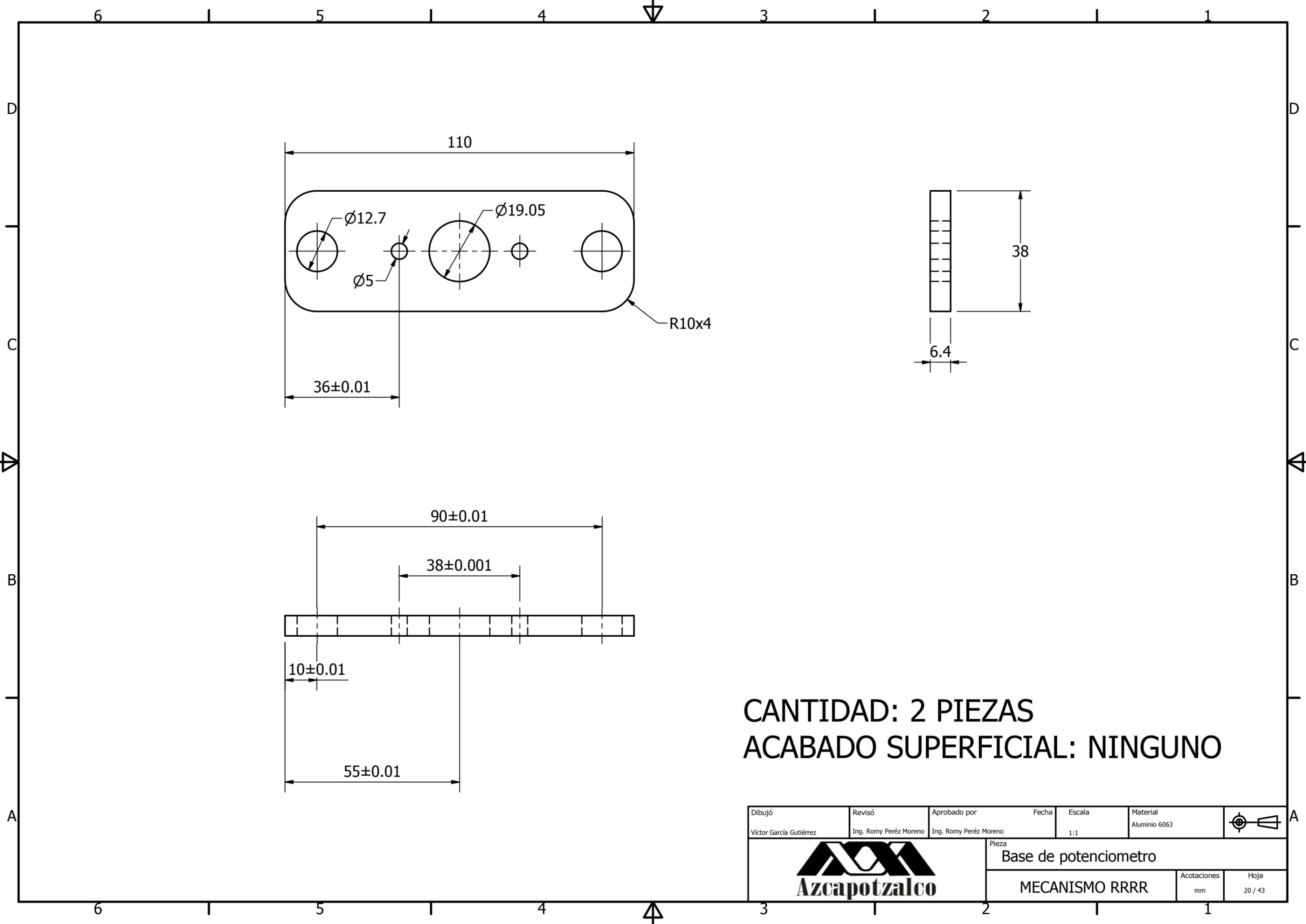


Dibujó Víctor García Gutiérrez	Revisó Ing. Romy Pérez Moreno	Aprobado por Ing. Romy Pérez Moreno	Fecha	Escala 1:1	Material Aluminio 6063	
					Pieza <b>Tapa de Portapotenciómetro</b>	
<b>MECANISMO RRRR</b>					Acotaciones mm	Hoja 18 / 43

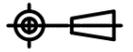


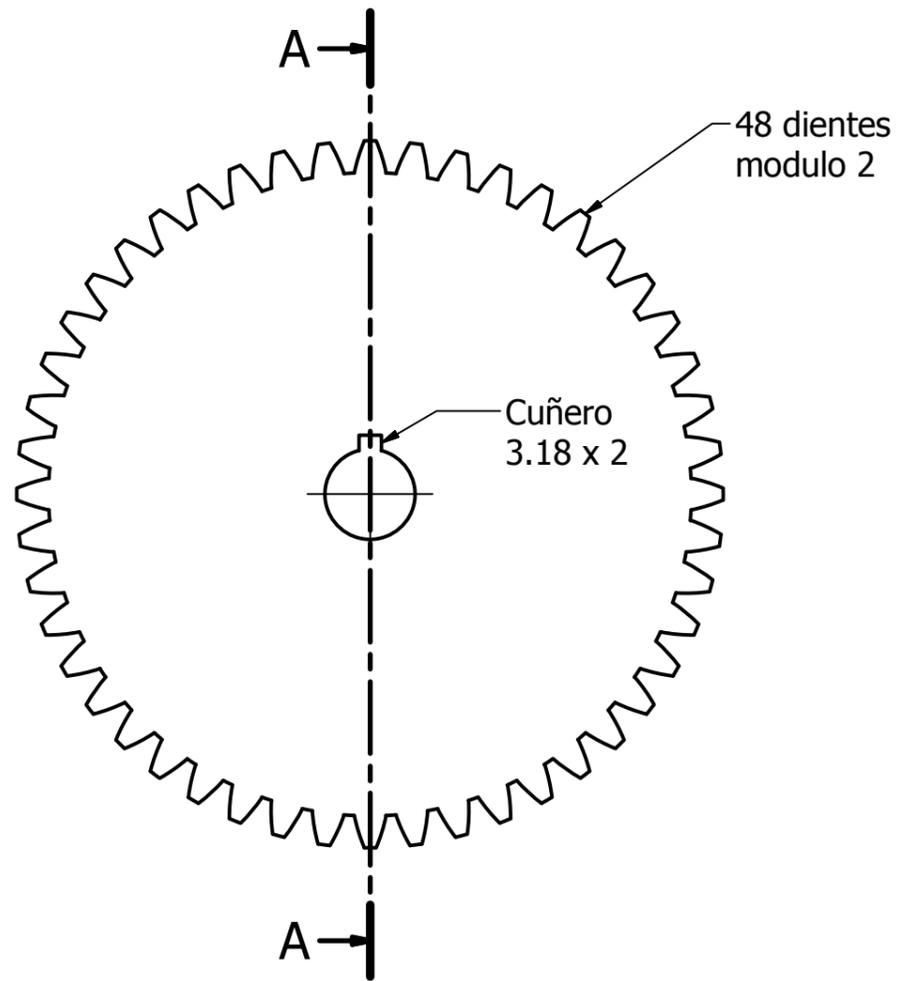
**CANTIDAD: 4 PIEZAS**  
**ACABADO SUPERFICIAL: NINGUNO**

Dibujó Víctor García Gutiérrez	Revisó Ing. Romy Pérez Moreno	Aprobado por Ing. Romy Pérez Moreno	Fecha	Escala 2:1	Material Aluminio 6063	
			Pieza Separador		Acotaciones mm	

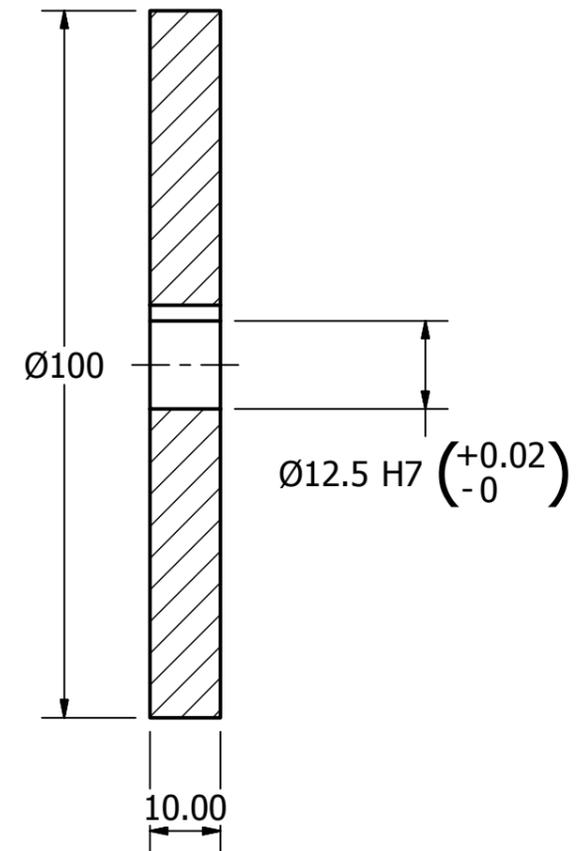


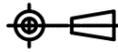
**CANTIDAD: 2 PIEZAS**  
**ACABADO SUPERFICIAL: NINGUNO**

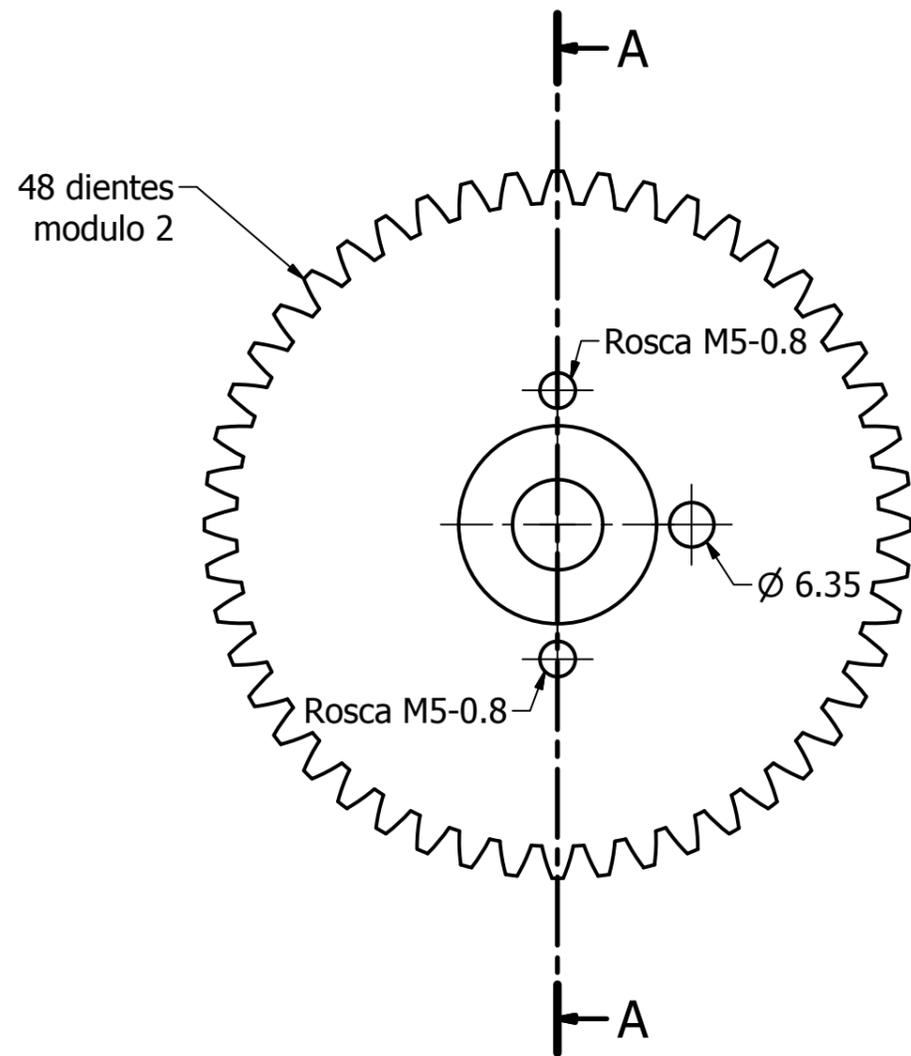
Dibujó Víctor García Gutiérrez	Revisó Ing. Romy Pérez Moreno	Aprobado por Ing. Romy Pérez Moreno	Fecha	Escala 1:1	Material Aluminio 6063	
				Pieza Base de potenciometro		
				MECANISMO RRRR		Acotaciones mm



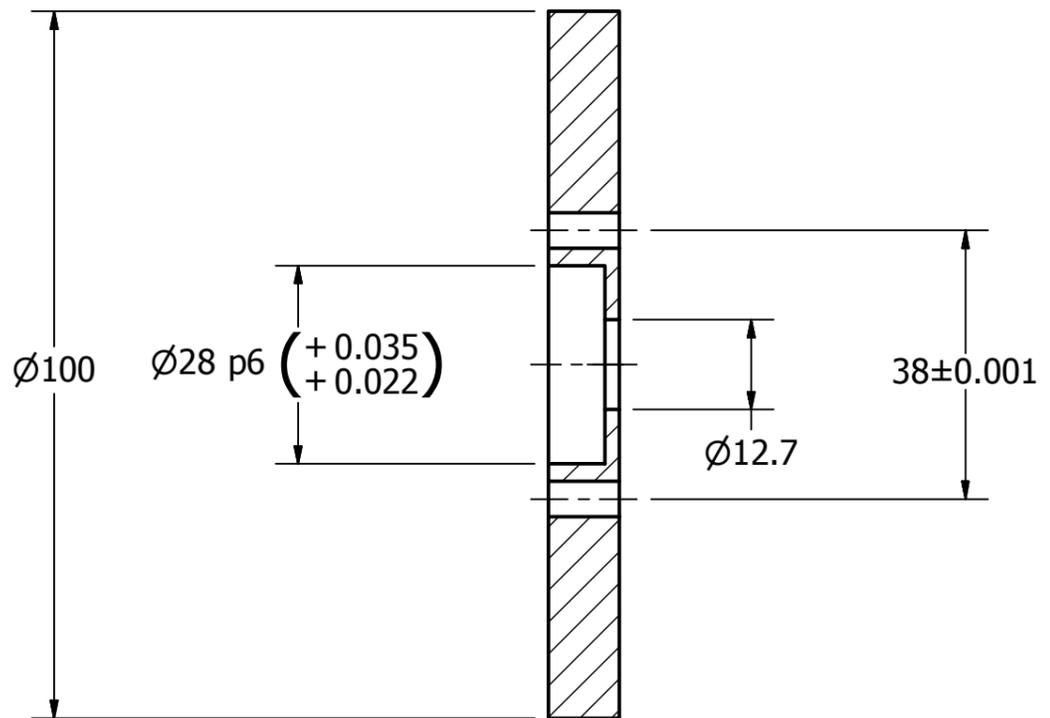
A-A ( 1 : 1 )

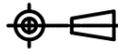


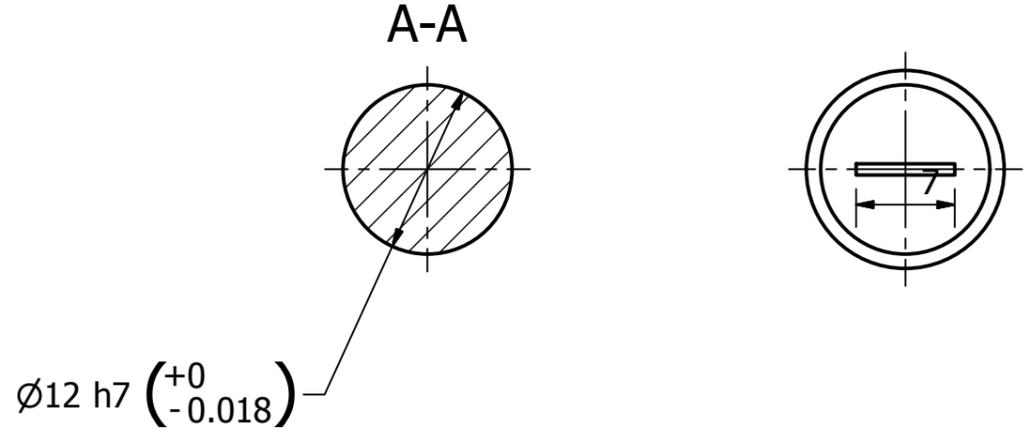
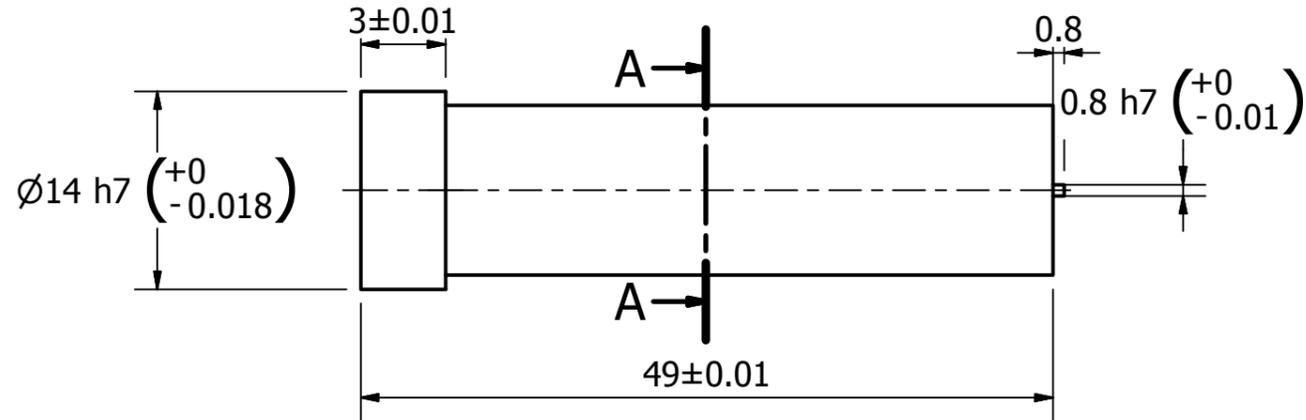
Dibujó Víctor García Gutiérrez	Revisó Ing. Romy Pérez Moreno	Aprobado por Ing. Romy Pérez Moreno	Fecha	Escala 1:1	Material Aluminio 6063	
				Pieza Engrane de transmisión		
				MECANISMO RRRR		Acotaciones mm



A-A ( 1 : 1 )

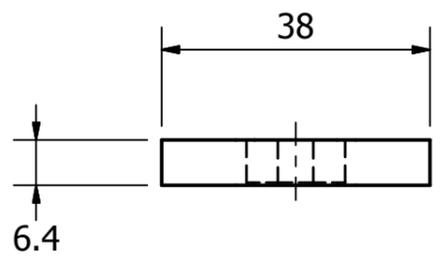
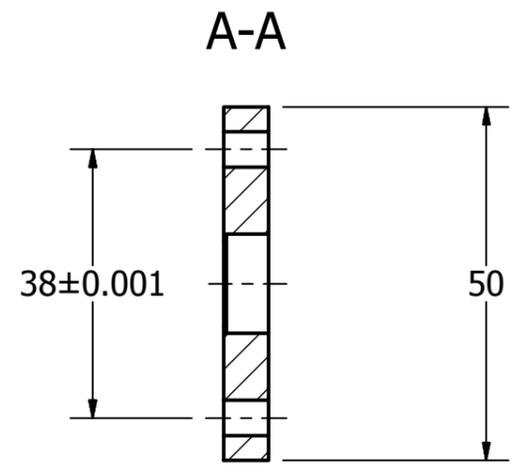
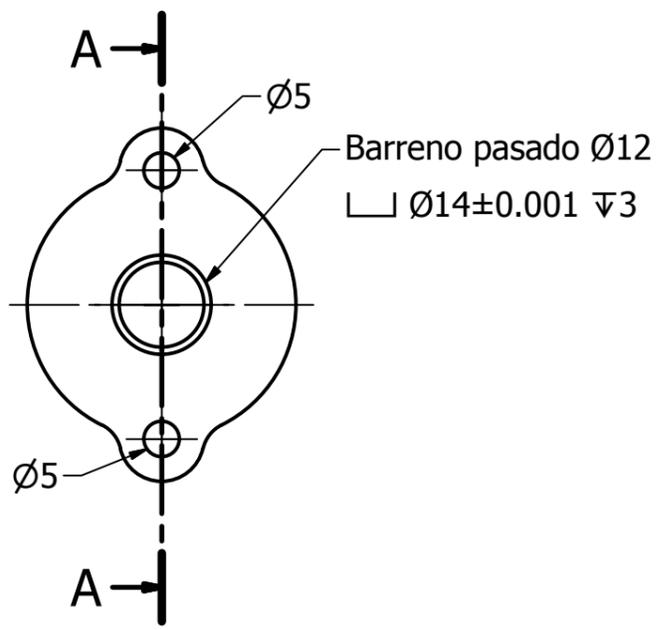
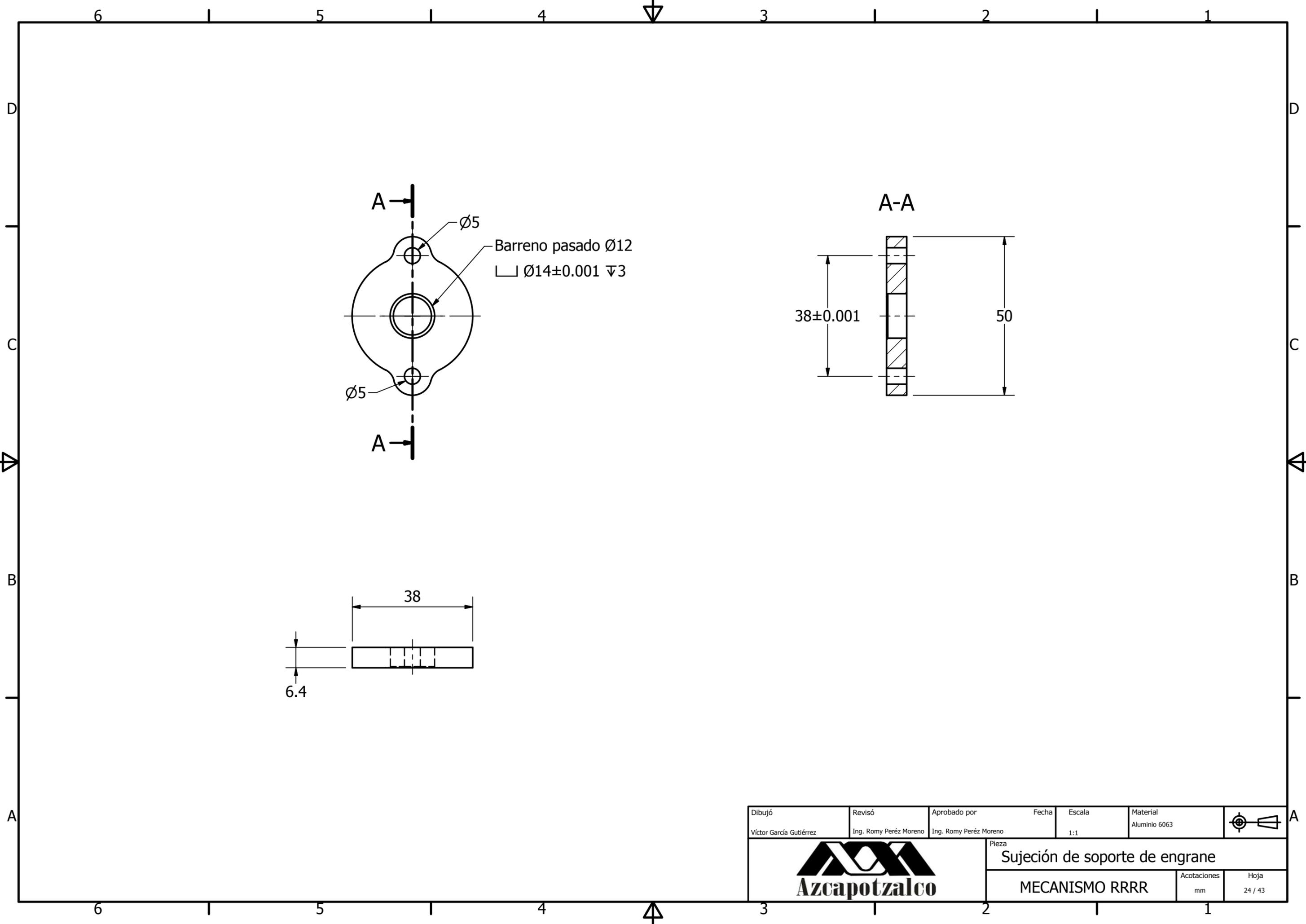


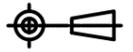
Dibujó Víctor García Gutiérrez	Revisó Ing. Romy Pérez Moreno	Aprobado por Ing. Romy Pérez Moreno	Fecha	Escala 1:1	Material Aluminio 6063	
					Pieza <b>Engrane de potenciómetro</b>	
					Acotaciones mm	Hoja 22 / 43

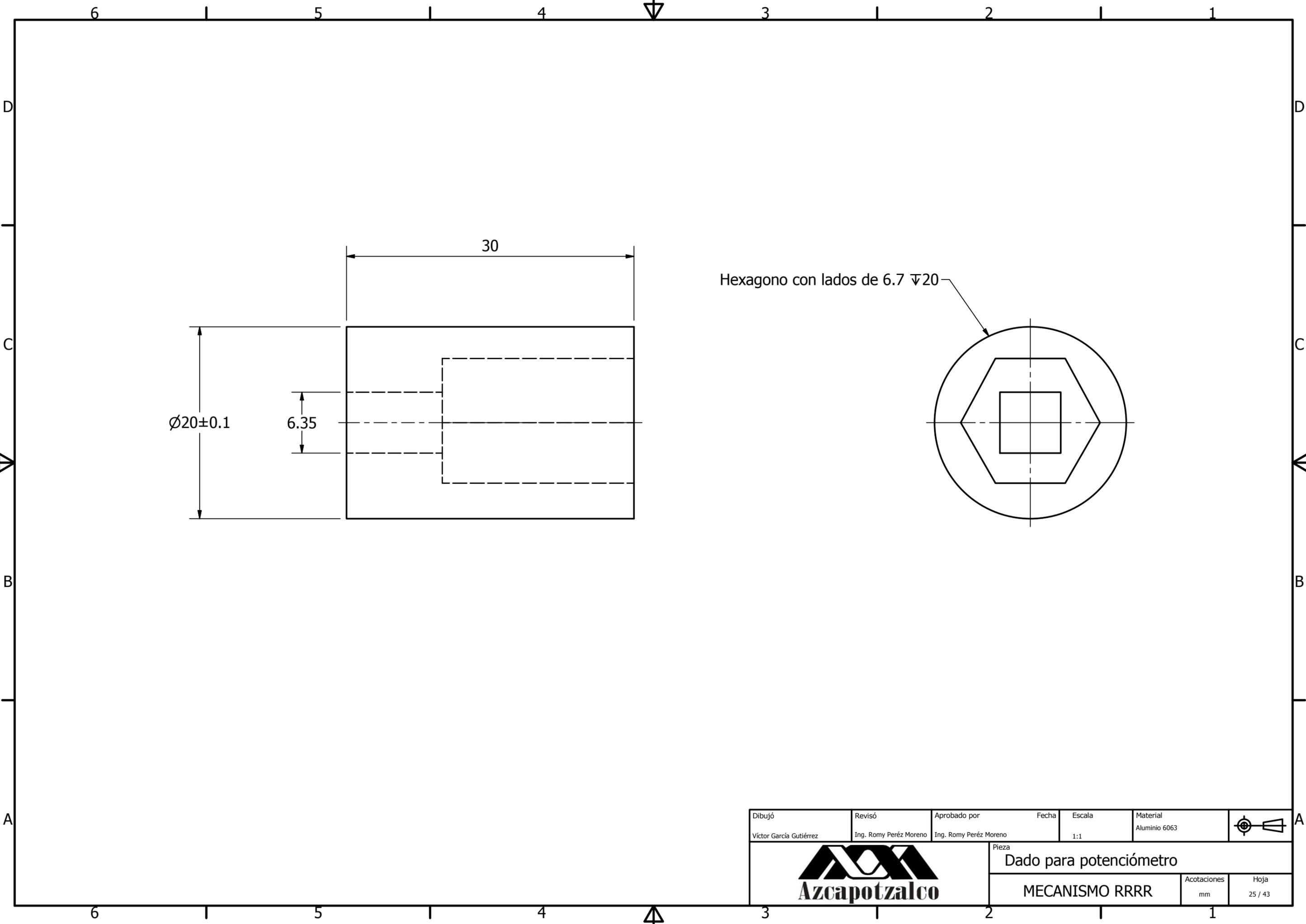


**CANTIDAD: 2 PIEZAS**  
**ACABADO SUPERFICIAL: NINGUNO**

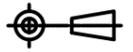
Dibujó Víctor García Gutiérrez	Revisó Ing. Romy Pérez Moreno	Aprobado por Ing. Romy Pérez Moreno	Fecha	Escala 2:1	Material Aluminio 6063	
			Pieza Soporte de engrane		Acotaciones mm	
			MECANISMO RRRR			

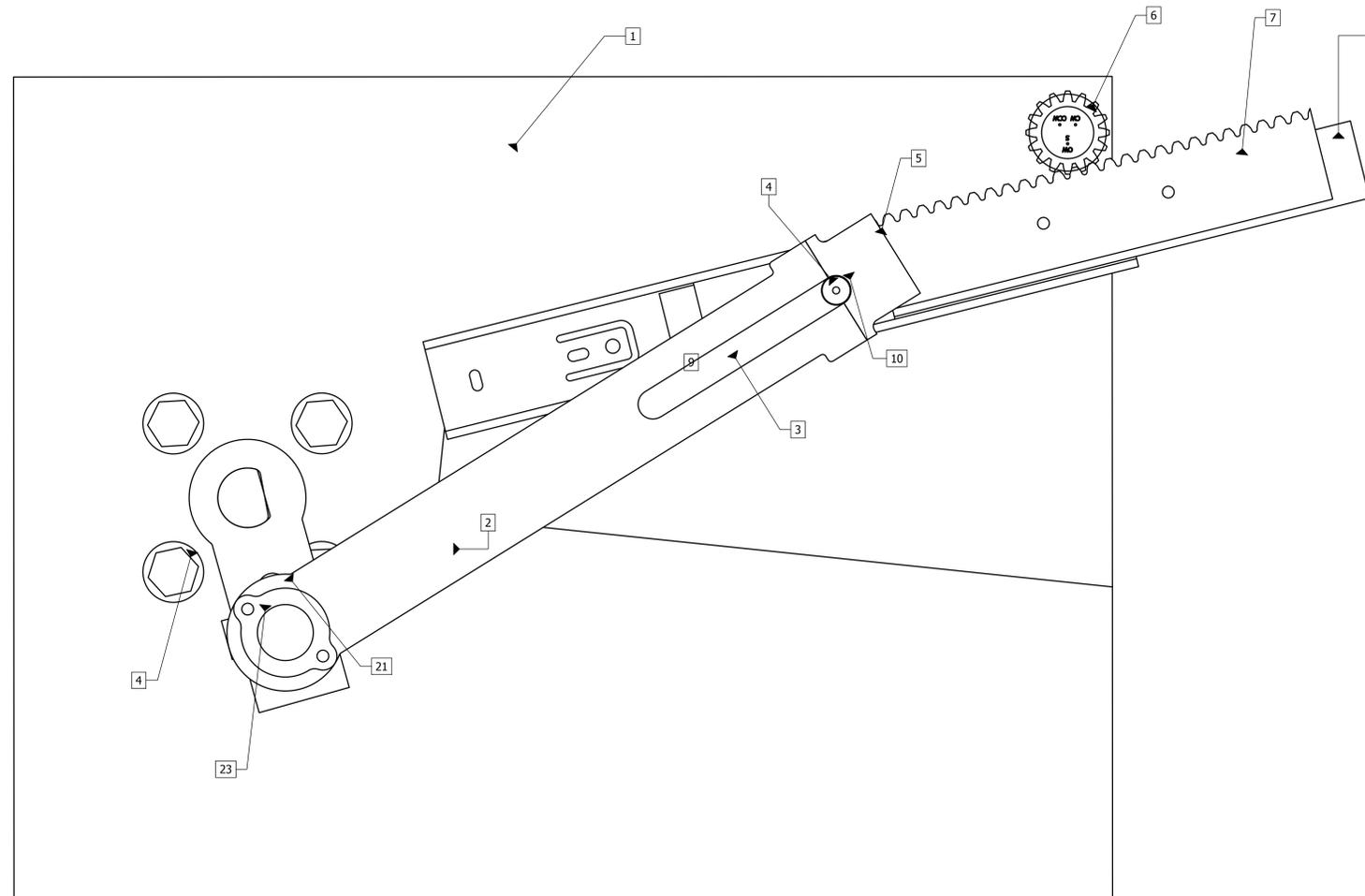
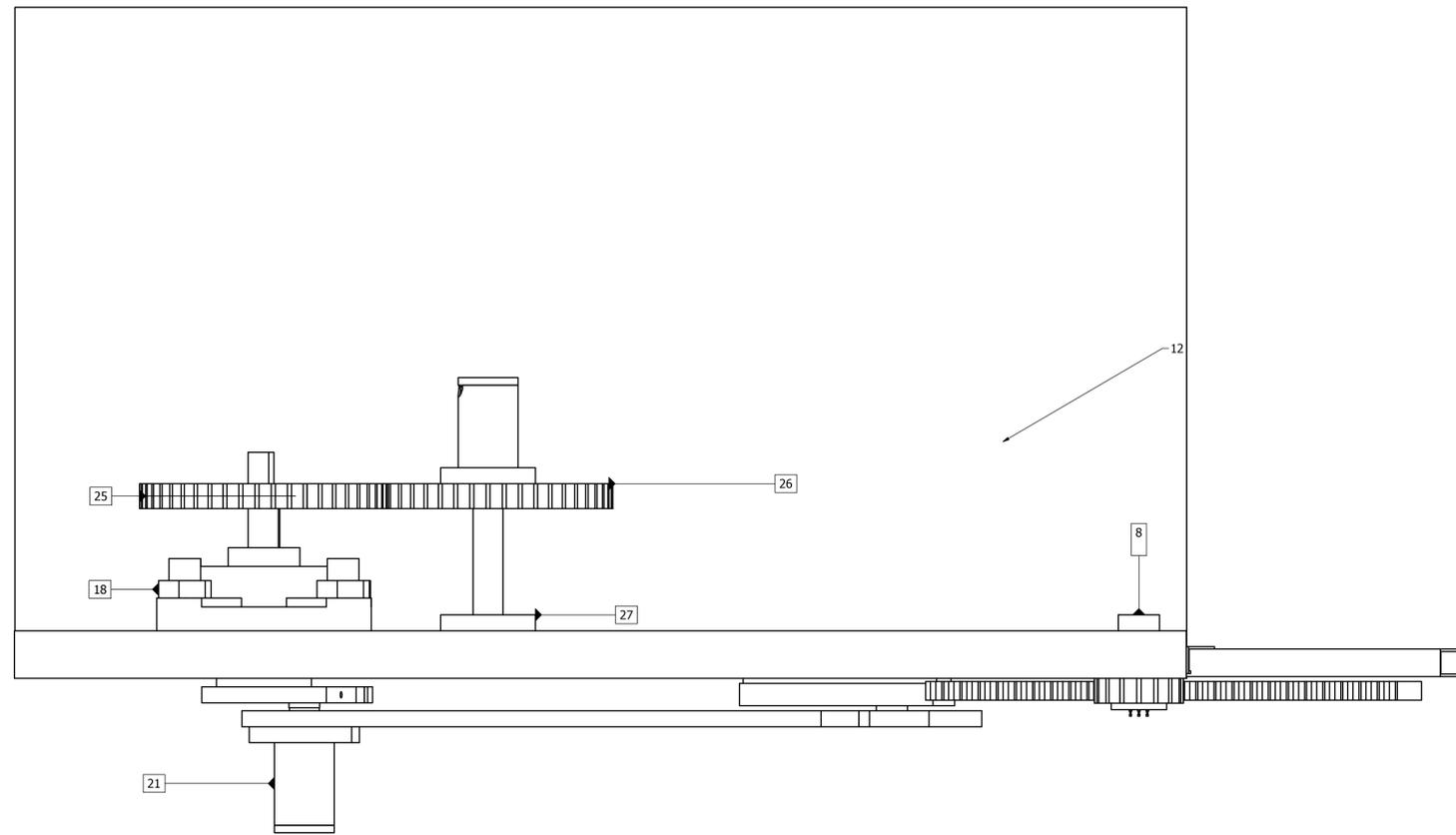


Dibujó Víctor García Gutiérrez	Revisó Ing. Romy Pérez Moreno	Aprobado por Ing. Romy Pérez Moreno	Fecha	Escala 1:1	Material Aluminio 6063	
			Pieza Sujeción de soporte de engrane		Acotaciones mm	
			MECANISMO RRRR			



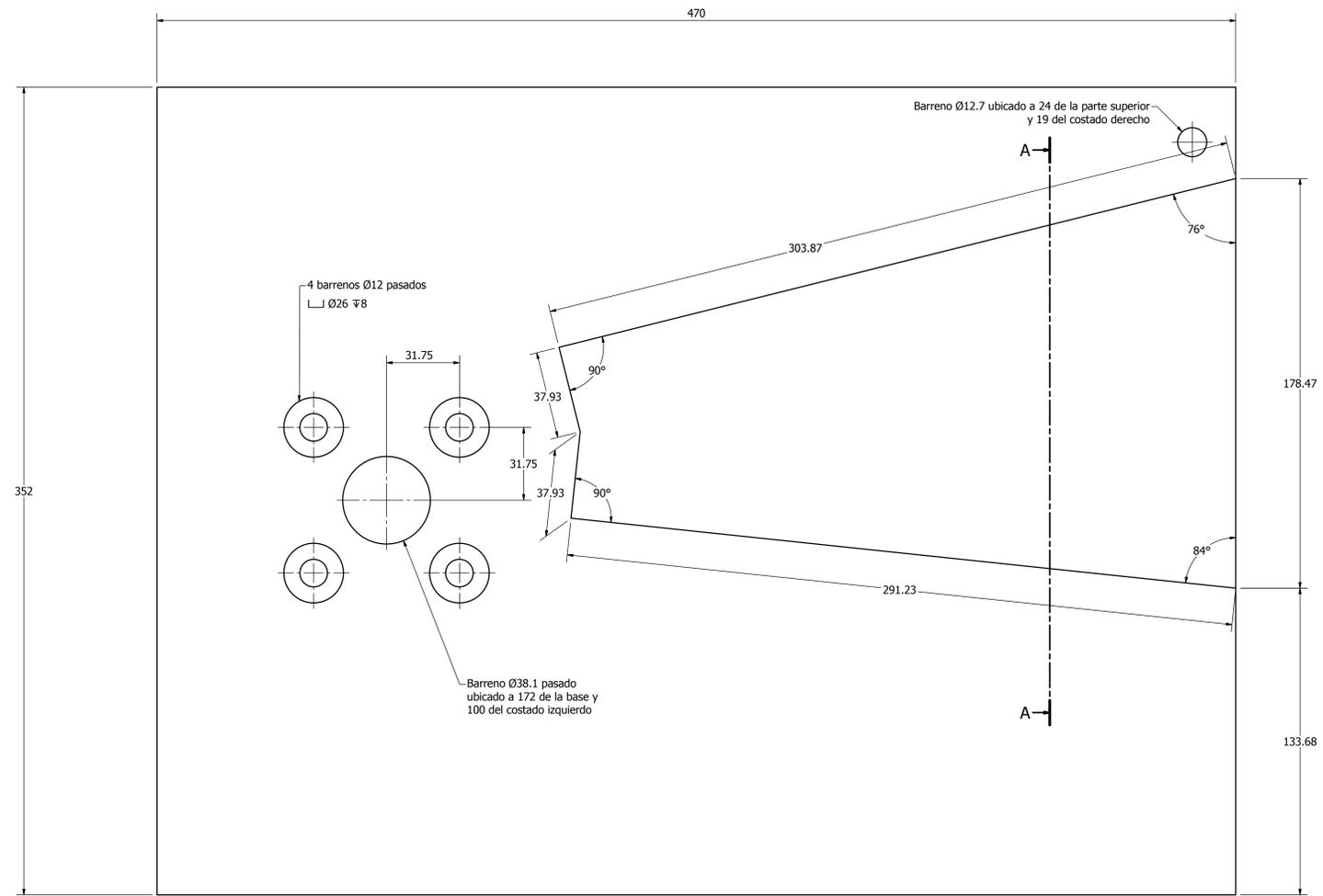
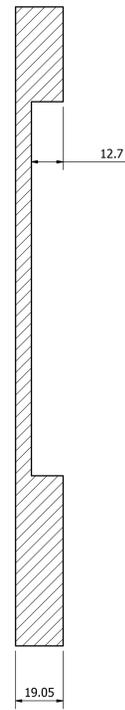
Hexagono con lados de 6.7  $\nabla$ 20

Dibujó	Revisó	Aprobado por	Fecha	Escala	Material	
Víctor García Gutiérrez	Ing. Romy Pérez Moreno	Ing. Romy Pérez Moreno		1:1	Aluminio 6063	
					Pieza	
					Dado para potenciómetro	
					Acotaciones	Hoja
					mm	25 / 43



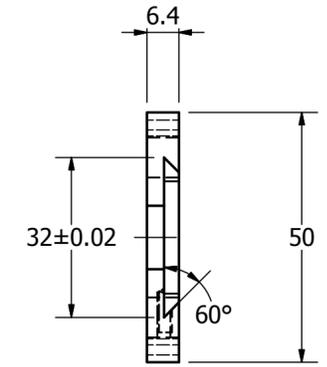
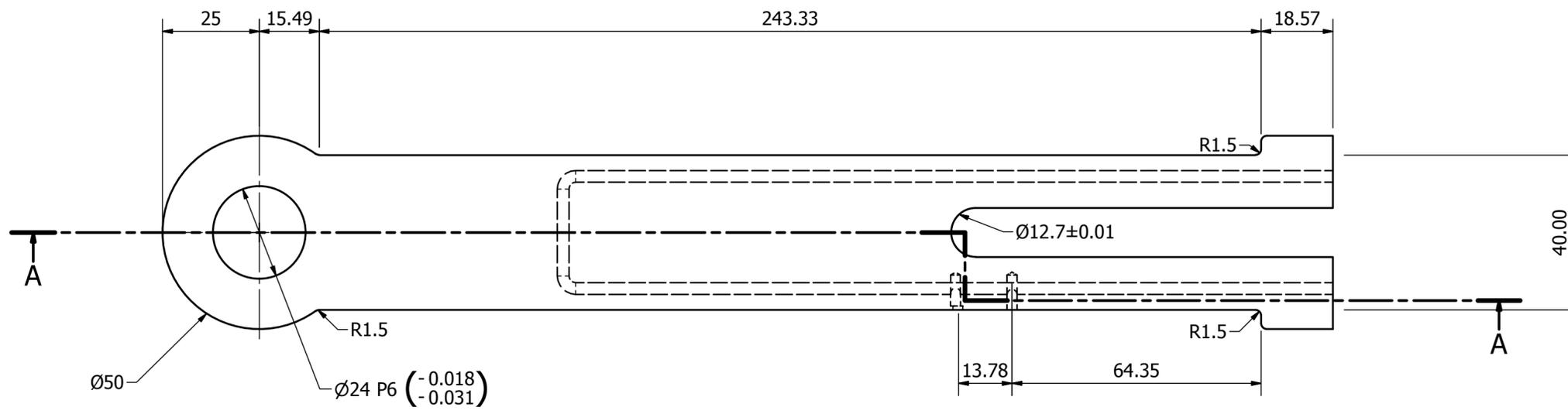
Lista de partes			
No.	Cantidad	Descripción	Plano
1	1	Base de mecanismo RRPR	27 / 43
2	1	Acoplador para mecanismo RRPR	28 / 43
3	1	Junta para acoplador de mecanismo RRPR	29 / 43
4	1	Perno de junta de acoplador mecanismo RRPR	30 / 43
5	1	Junta para corredera RRPR	31 / 43
6	1	Piñon	32 / 43
7	1	Cremallera	33 / 43
8	1	Soporte de piñon RRPR	34 / 43
9	1	Manivela para mecanismo RRPR	6 / 43
10	2	Tapa de eslabones	-----
11	1	Corredera de extensión 12"	-----
12	1	Soporte para mecanismos RRPR	-----
13	1	Acoplador motor-eje	-----
14	2	Rodamiento 6901	-----
15	1	Rodamiento 6001	-----
16	4	Tornillo 3/8-16UNC-2A	-----
17	4	Rondana 3/8	-----
18	4	Tuerca 3/8-16UNC-2B	-----
19	2	Mensula	-----
20	2	Potenciometro de precisión 6187R10	-----
21	2	Portapotenciometro	-----
22	2	Tapa de portapotenciometro	-----
23	2	Sujeción de potenciometro	-----
24	4	Tornillo M5x0.5 longitud 1/2"	-----
25	1	Engrane de transmisión	-----
26	1	Engrane de potenciometro	-----
27	1	Base de engrane	-----

A-A ( 1 : 1 )

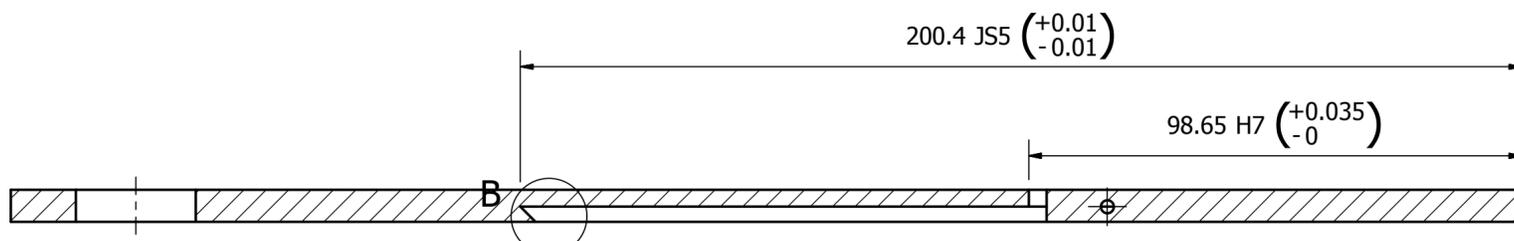


CANTIDAD: 1 PIEZA  
 ACABADO SUPERFICIAL: MELAMINA PRENSADA

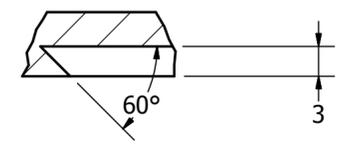
	Base de mecanismo RRPR MECANISMO RRPR	27 / 43
--	--	---------



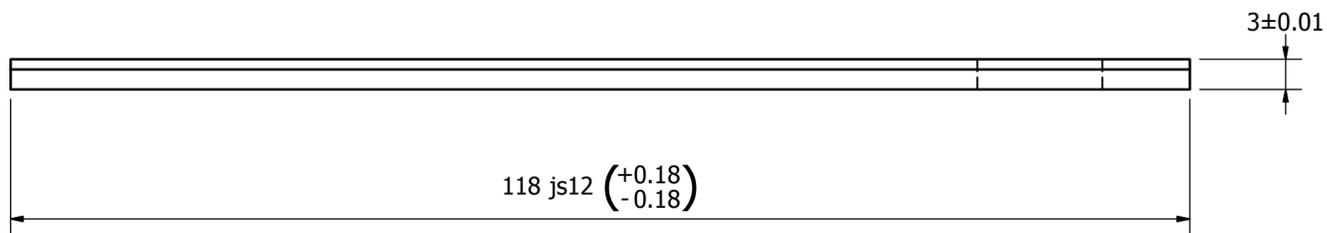
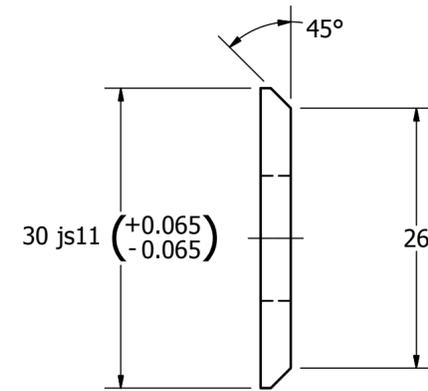
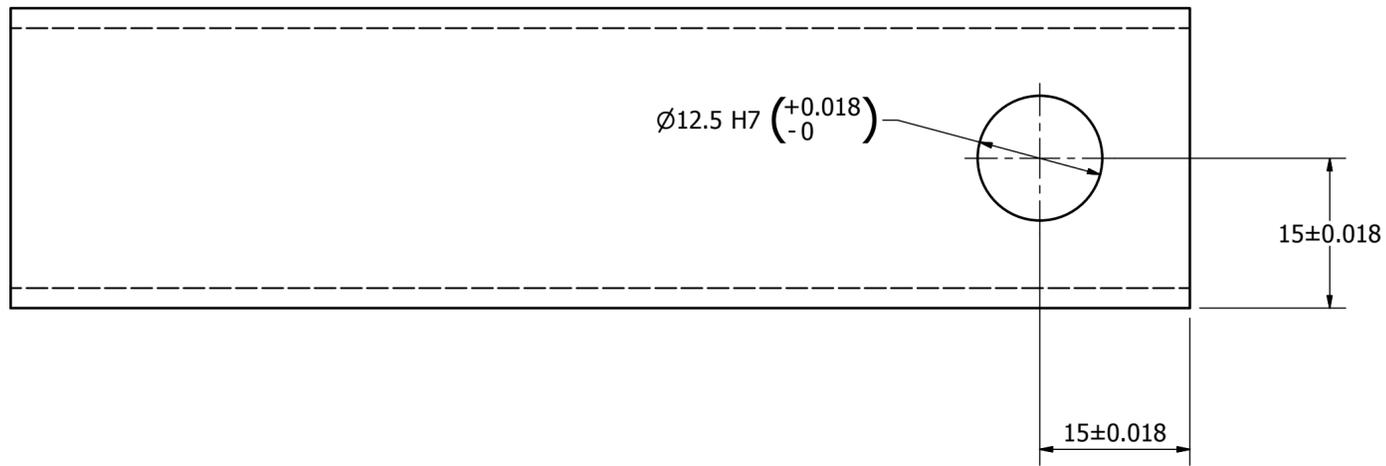
A-A ( 1 : 1 )



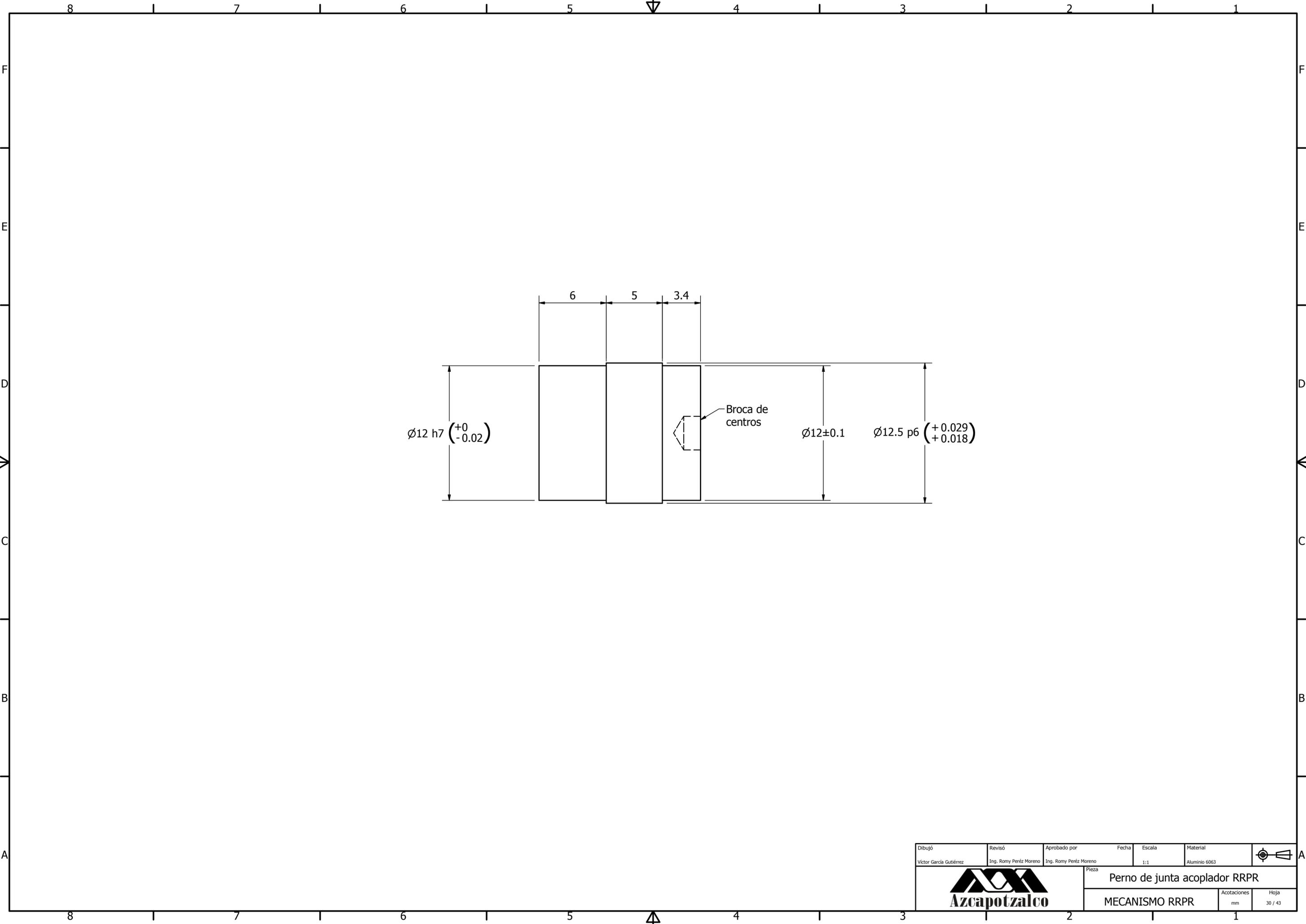
B ( 2 : 1 )

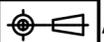


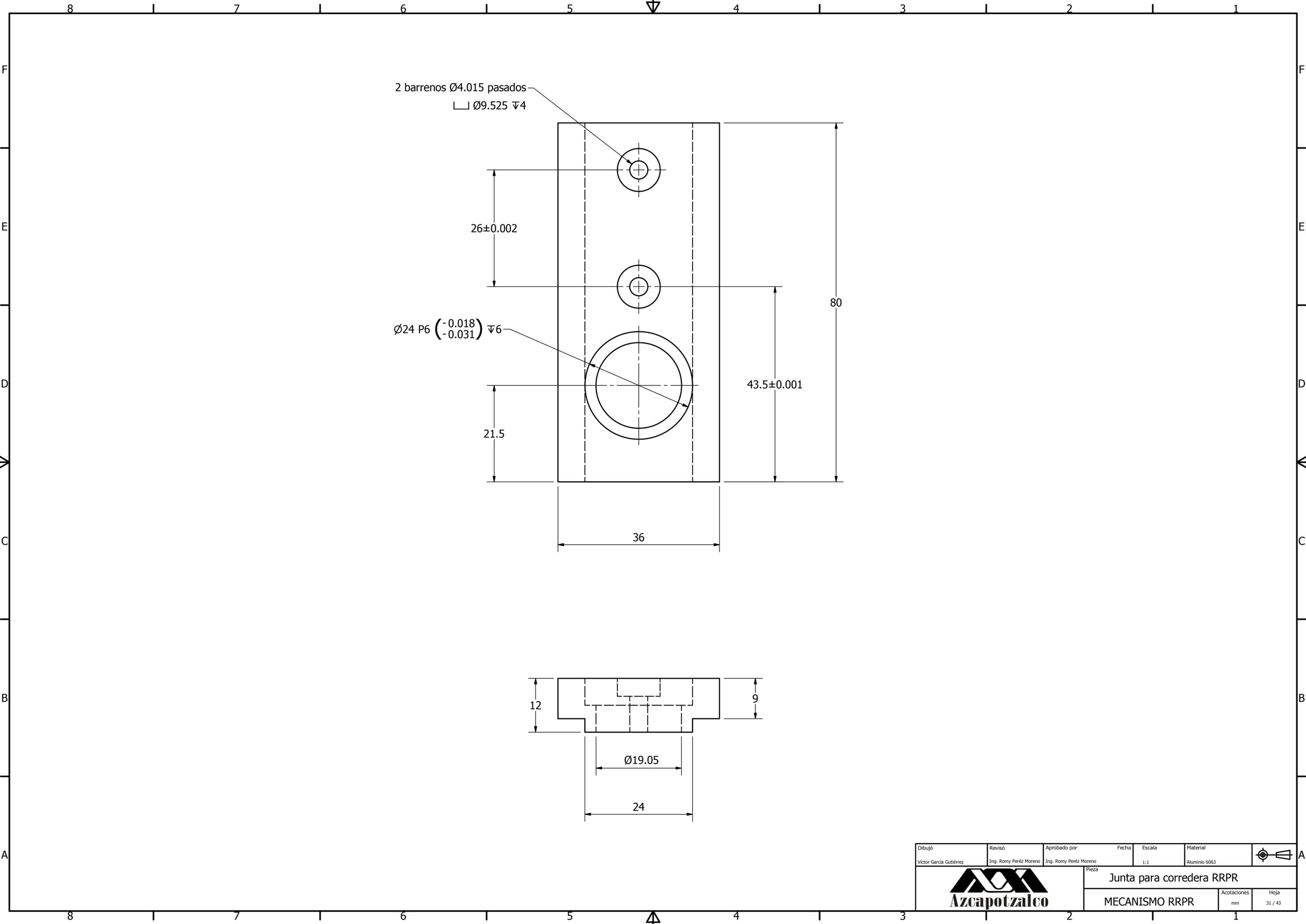
Dibujó Víctor García Gutiérrez	Revisó Ing. Romy Peréz Moreno	Aprobado por Ing. Romy Peréz Moreno	Fecha	Escala 1:1	Material Aluminio 6063	
					<b>Acoplador para mecanismo RRPR</b> <b>MECANISMO RRPR</b>	
					Acotaciones mm	Hoja 28 / 43



Dibujó Víctor García Gutiérrez	Revisó Ing. Romy Pérez Moreno	Aprobado por Ing. Romy Pérez Moreno	Fecha	Escala 1:1	Material Aluminio 6063	
					Pieza <b>Junta de acoplador mecanismo RRPR</b> <b>MECANISMO RRPR</b>	
					Acotaciones mm	Hoja 29 / 43

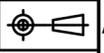


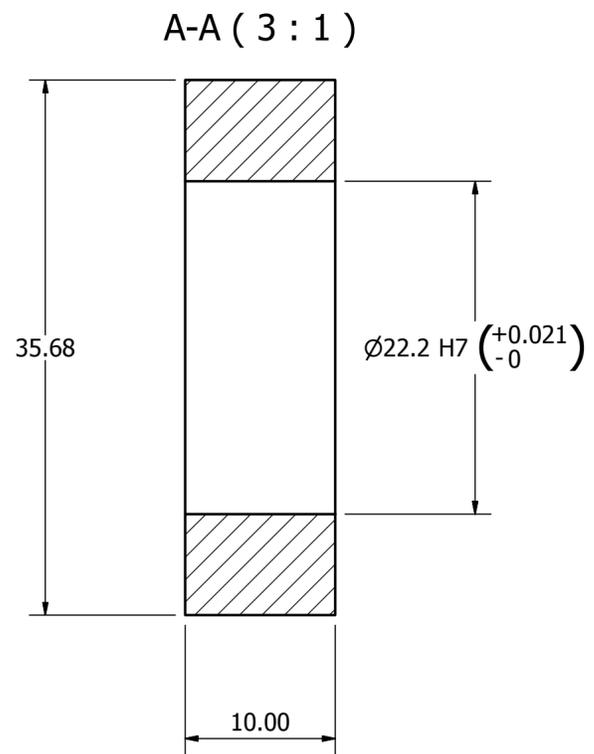
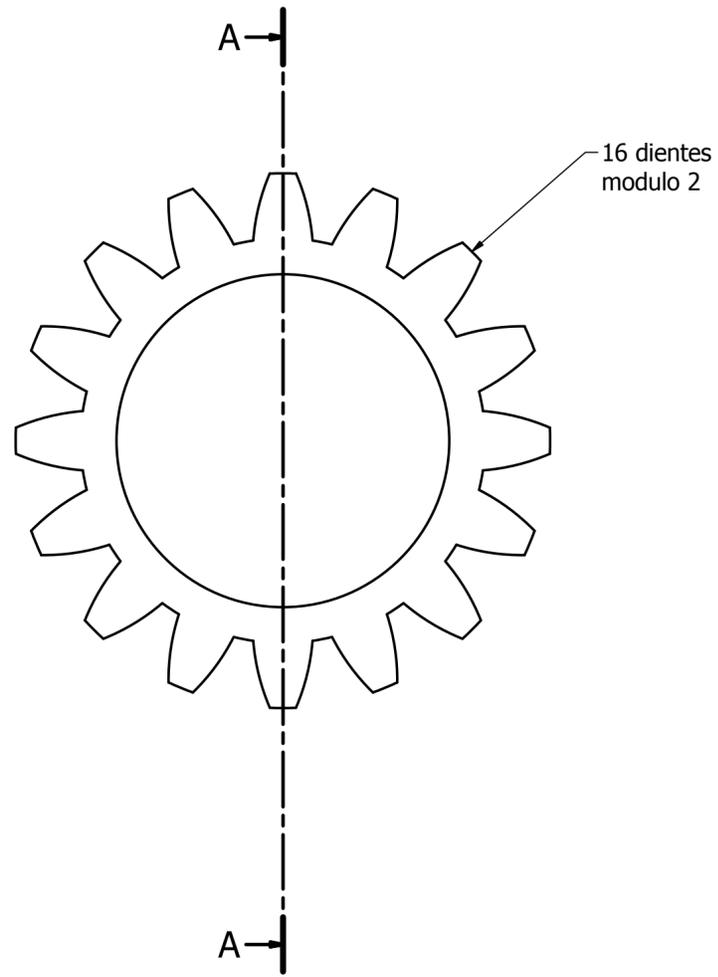
Dibujó	Revisó	Aprobado por	Fecha	Escala	Material	
Víctor García Gutiérrez	Ing. Romy Peréz Moreno	Ing. Romy Peréz Moreno		1:1	Aluminio 6063	
			Pieza			
			Perno de junta acoplador RRPR			
			MECANISMO RRPR		Acotaciones	Hoja
					mm	30 / 43



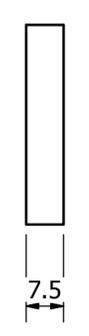
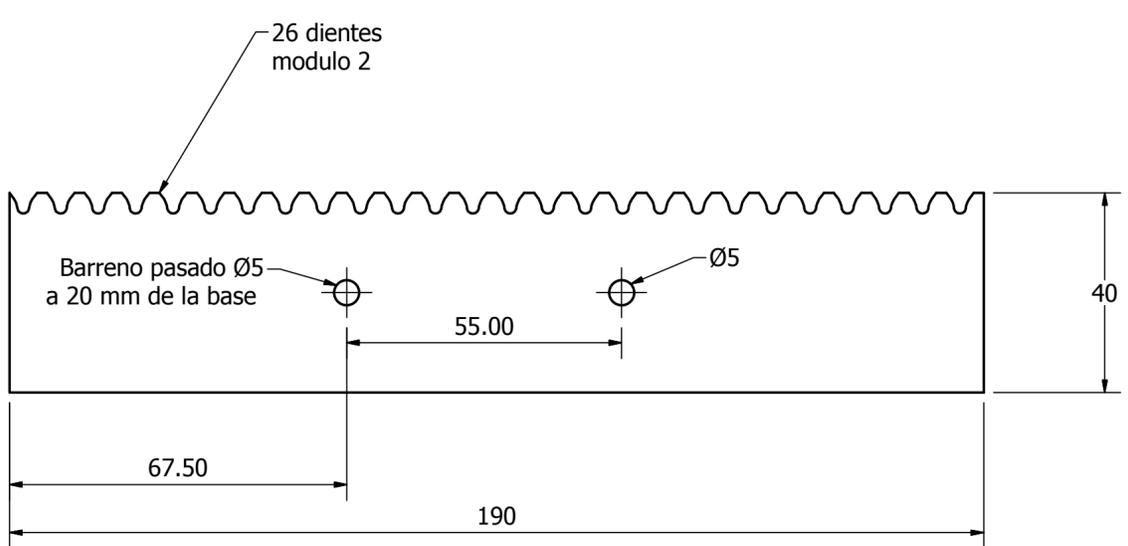
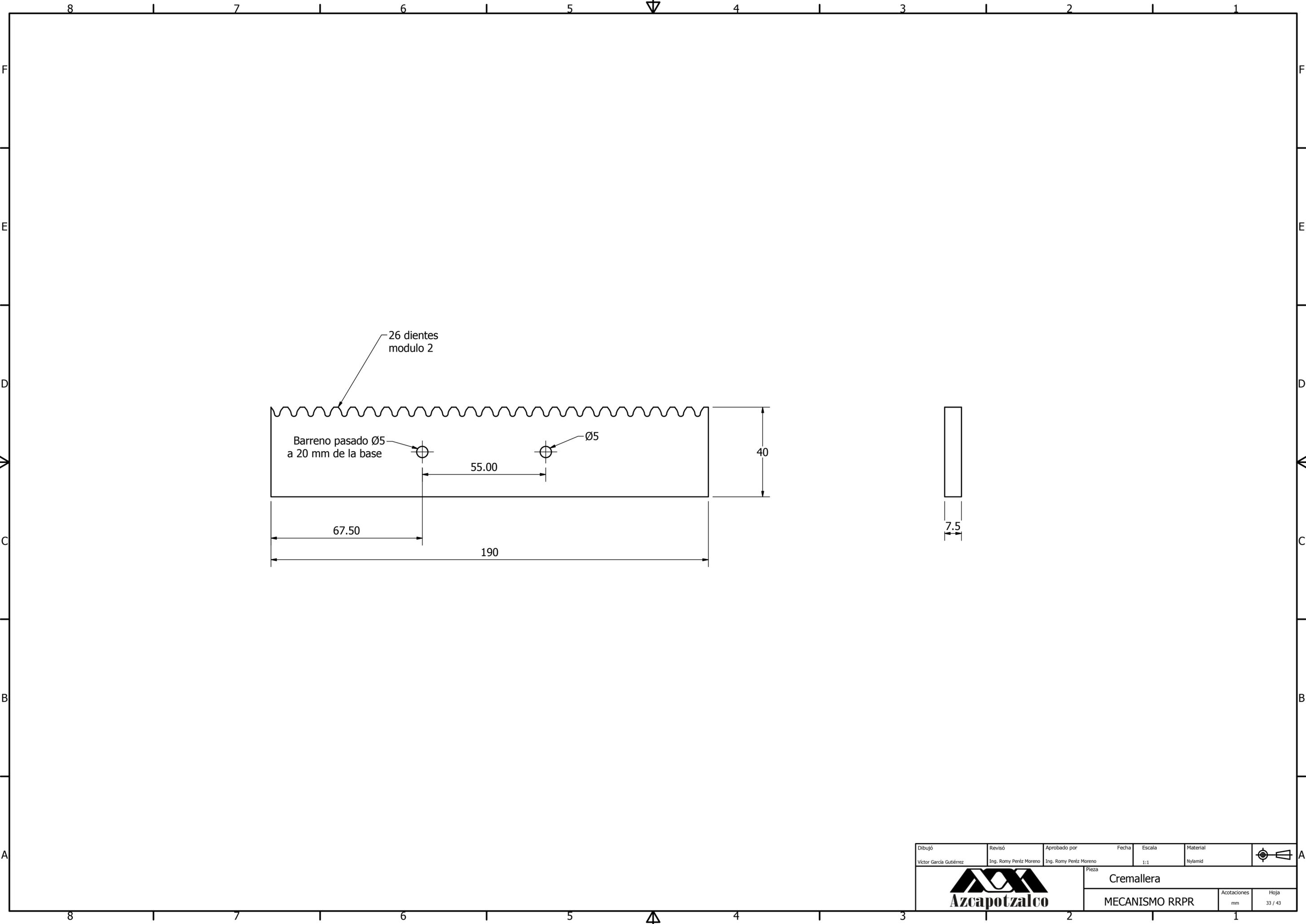
2 barrenos Ø4.015 pasados  
 □ Ø9.525 ∇4

Ø24 P6  $\begin{pmatrix} -0.018 \\ -0.031 \end{pmatrix}$  ∇6

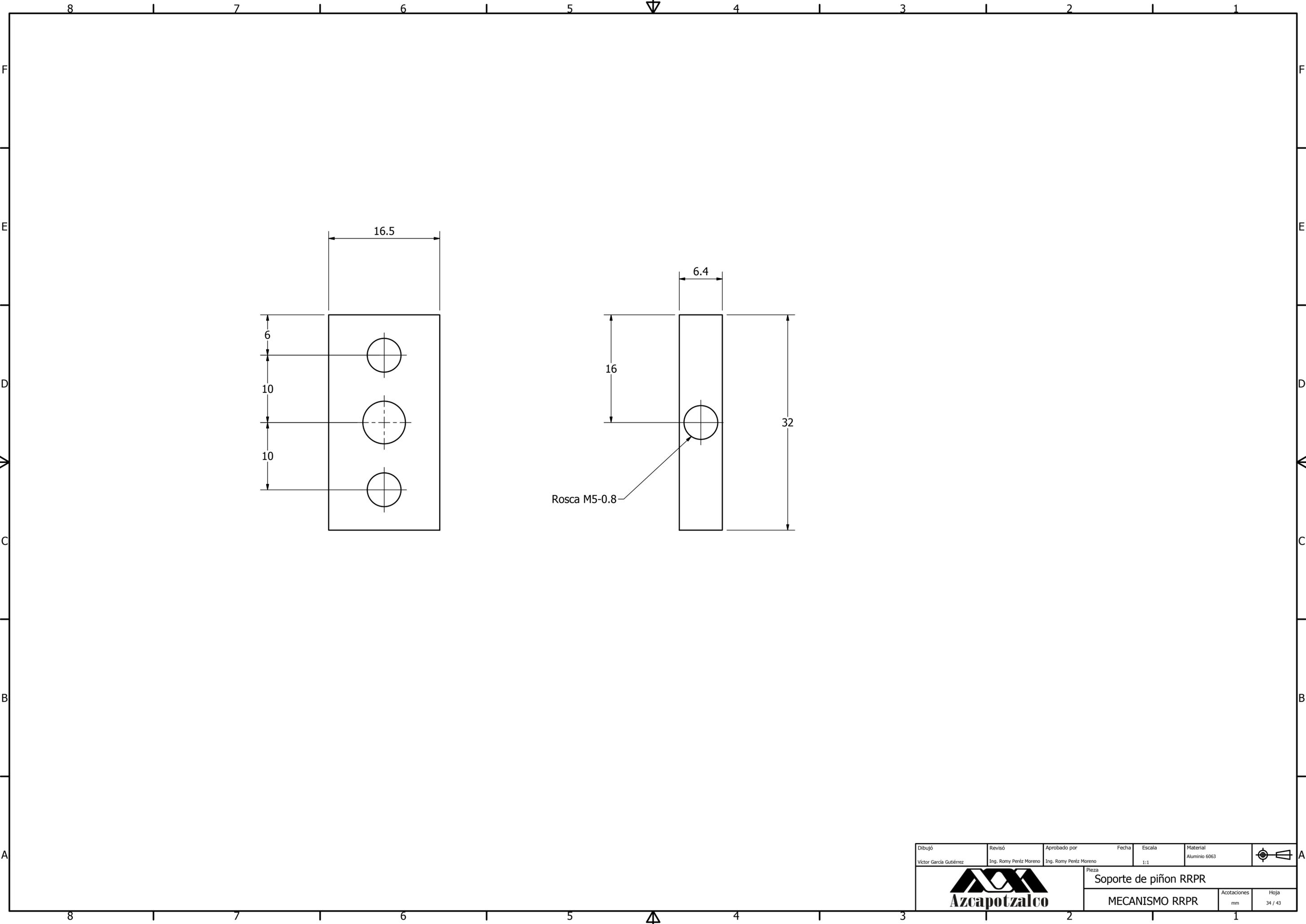
Dibujó	Revisó	Aprobado por	Fecha	Escala	Material	
Víctor García Gutiérrez	Ing. Romy Peréz Moreno	Ing. Romy Peréz Moreno		1:1	Aluminio 6063	
					Pieza	
					Junta para corredera RRPR	
					MECANISMO RRPR	Acotaciones mm
						Hoja 31 / 43



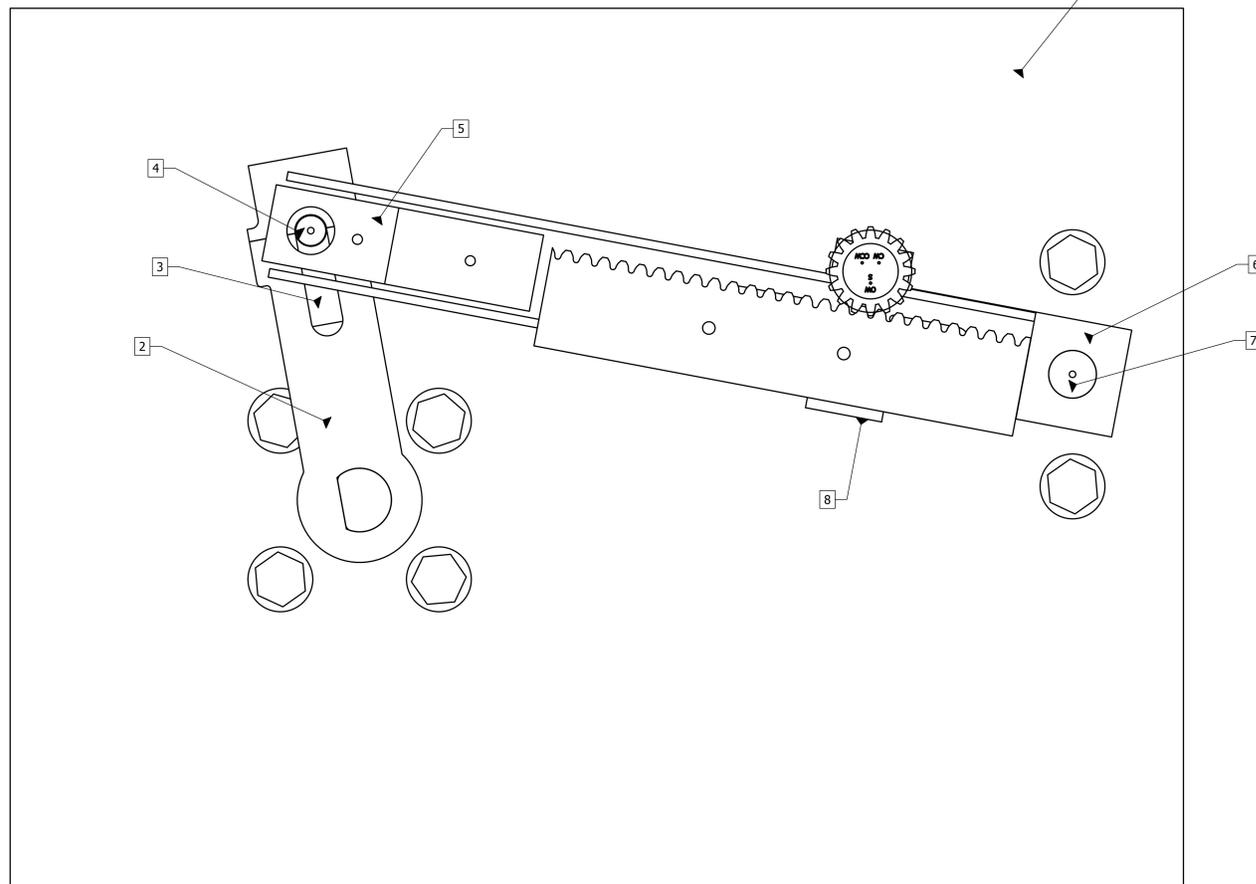
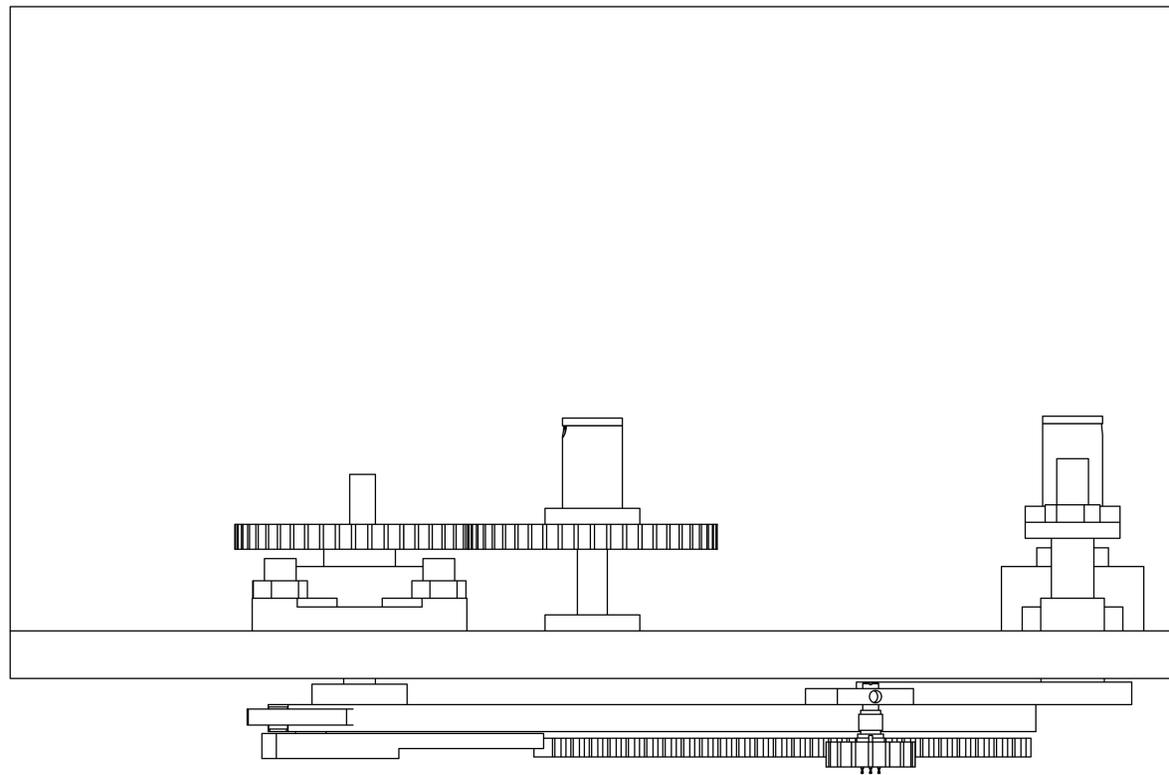
Dibujó Víctor García Gutiérrez	Revisó Ing. Romy Peréz Moreno	Aprobado por Ing. Romy Peréz Moreno	Fecha	Escala 1:1	Material Nylamid	
			Pieza Piñon		Acotaciones mm	Hoja 32 / 43
			MECANISMO RRPR			



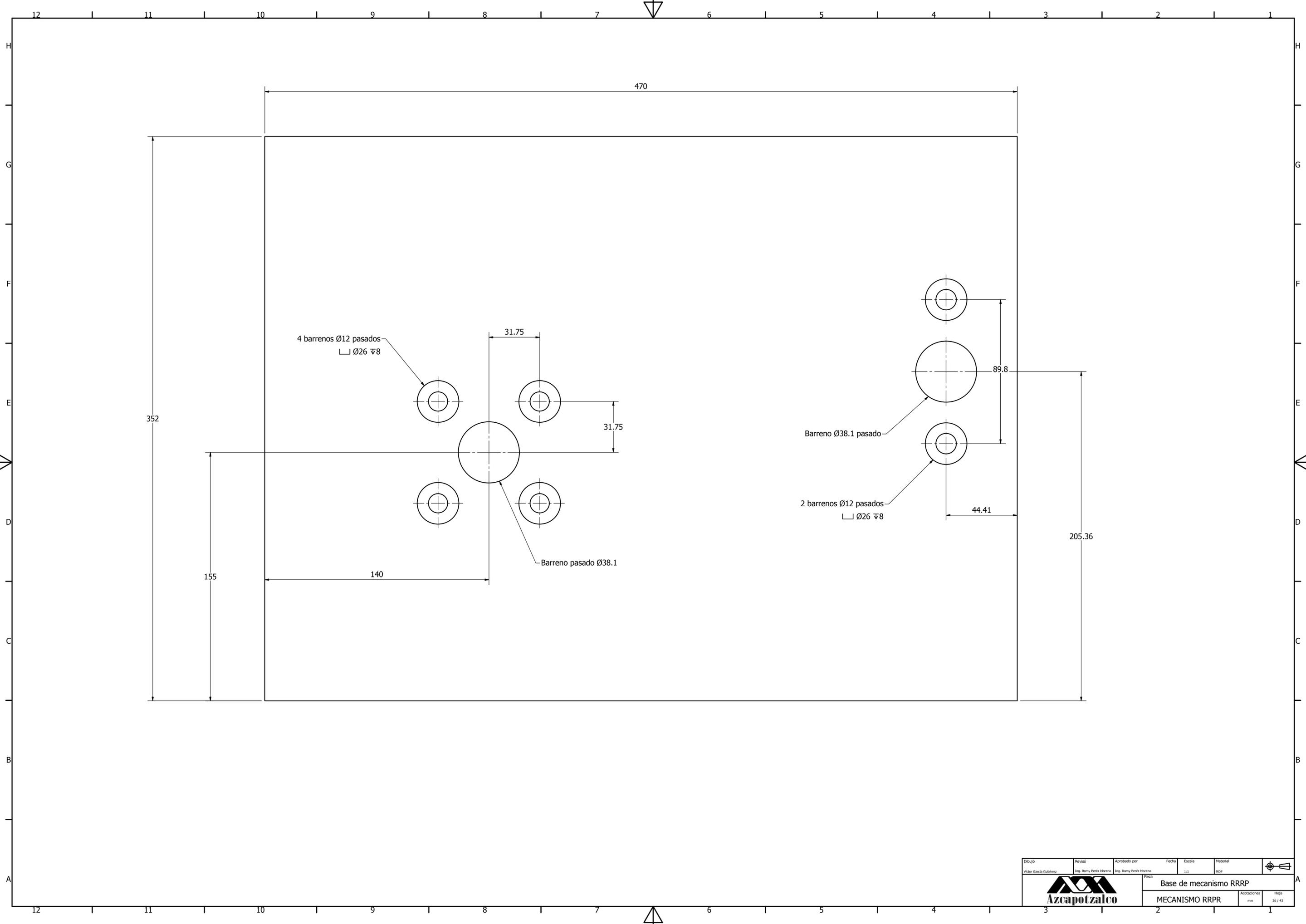
Dibujó Víctor García Gutiérrez	Revisó Ing. Romy Peréz Moreno	Aprobado por Ing. Romy Peréz Moreno	Fecha	Escala 1:1	Material Nylamid	
			Pieza Cremallera		Acotaciones mm	Hoja 33 / 43
			MECANISMO RRPR			



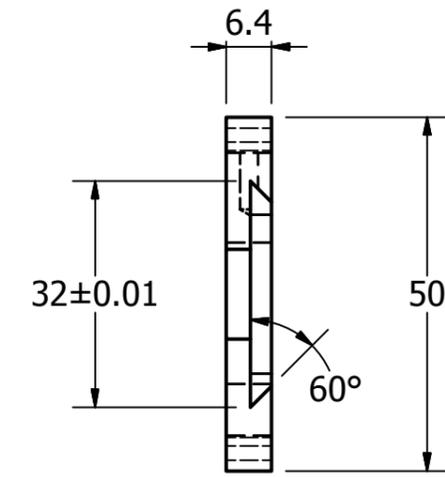
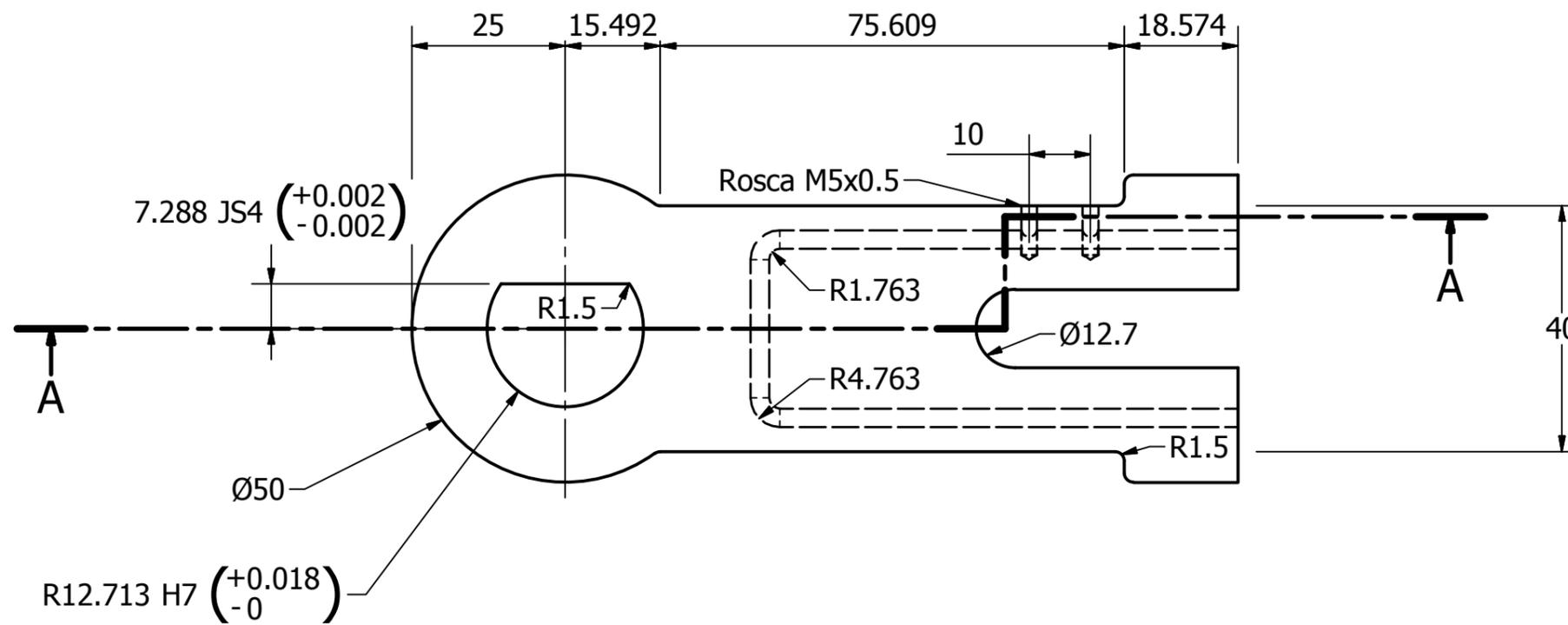
Dibujó Víctor García Gutiérrez	Revisó Ing. Romy Peréz Moreno	Aprobado por Ing. Romy Peréz Moreno	Fecha	Escala 1:1	Material Aluminio 6063	
			Pieza Soporte de piñon RRPR			
			MECANISMO RRPR		Acotaciones mm	Hoja 34 / 43



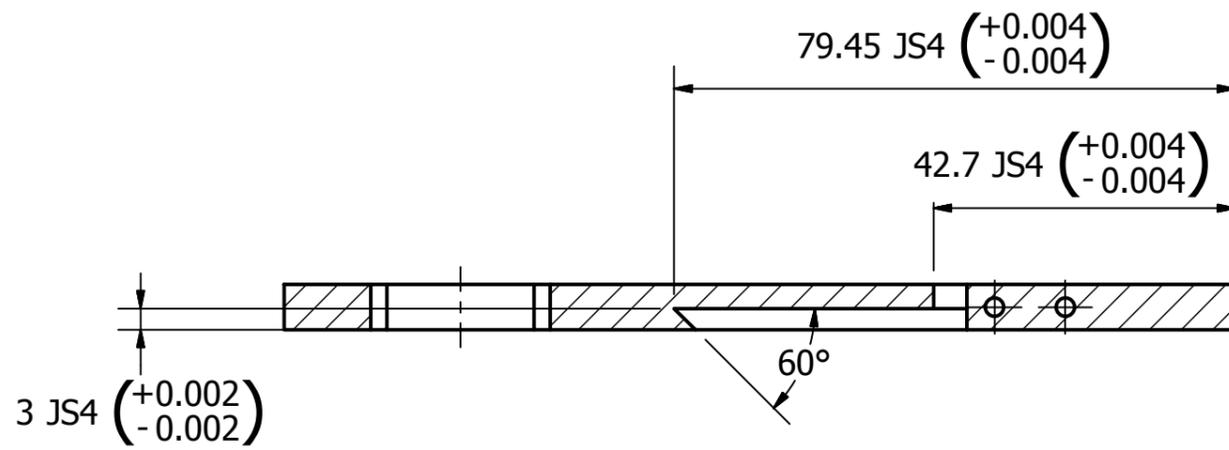
Lista de partes			
No.	Cantidad	Descripción	Hoja
1	1	Base de mecanismo RRRR	36 / 43
2	1	Manivela para mecanismos RRRP	37 / 43
3	1	Junta para manivela RRRP	38 / 43
4	1	Perno de junta para manivela RRRP	39 / 43
5	1	Extremo guia lado manivela	40 / 43
6	1	Extremo guia lado chumacera	41 / 43
7	1	Eje de salida	42 / 43
8	1	Soporte para piñon RRRP	43 / 43
9	1	Acoplador motor-eje	
10	1	Rodamiento 6901	
11	2	Rodamiento 6001	
12	1	Tornillo 3/8-16UNC-2A	
13	6	Rondana 3/8	
14	4	Tuerca 3/8-16UNC-2B	
15	2	Mensula	
16	3	Potenciometro de precisión 6187R10	
17	2	Portapotenciometro	
18	2	Tapa de portapotenciometro	
19	2	Sujeción de potenciometro	
20	2	Tornillo M5x0.5 longitud 1/2"	
21	4	Engrane de transmisión	
22	1	Engrane de potenciometro	
23	1	Base de engrane	

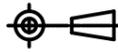


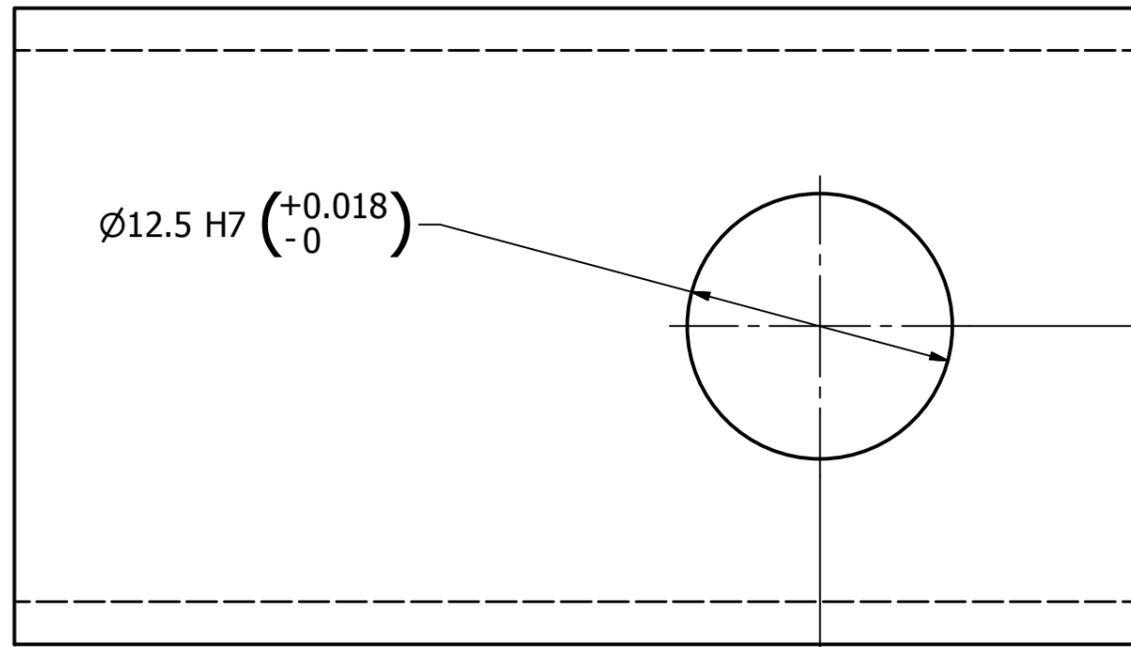
Dibujó Victor García Gutiérrez	Revisó Ing. Romy Peréz Moreno	Aprobado por Ing. Romy Peréz Moreno	Fecha	Escala 1:1	Material MDF	
Base de mecanismo RRRP						
MECANISMO RRRP					Acotaciones mm	Hoja 36 / 43



A-A ( 1 : 1 )



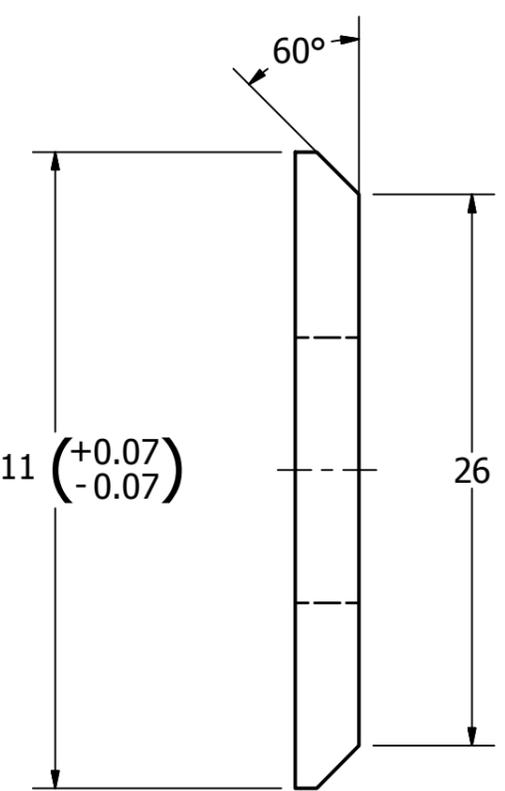
Dibujó Víctor García Gutiérrez	Revisó Ing. Romy Pérez Moreno	Aprobado por Ing. Romy Pérez Moreno	Fecha	Escala 1:1	Material Aluminio 6063	
			Pieza Manivela para mecanismo RRRP		Acotaciones mm	



$\text{Ø}12.5 \text{ H7 } \left( \begin{smallmatrix} +0.018 \\ -0 \end{smallmatrix} \right)$

$15 \pm 0.01$

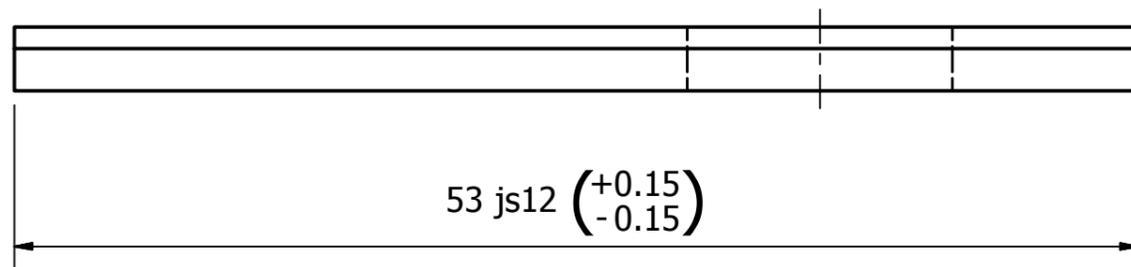
$15 \pm 0.01$



$30 \text{ js11 } \left( \begin{smallmatrix} +0.07 \\ -0.07 \end{smallmatrix} \right)$

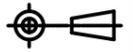
26

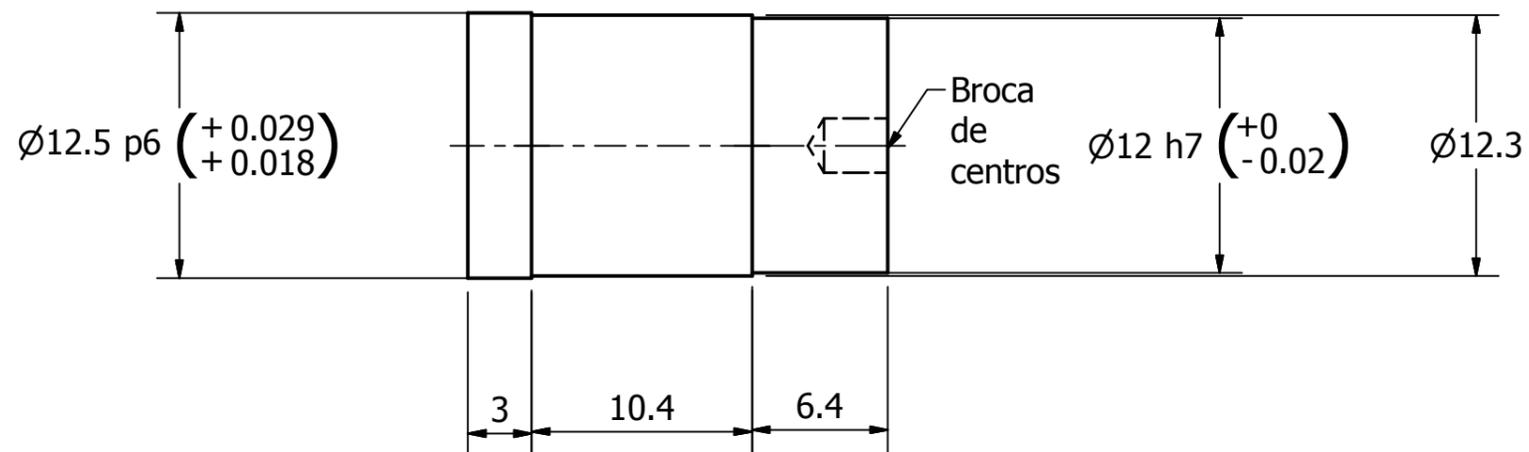
$60^\circ$



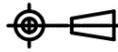
$53 \text{ js12 } \left( \begin{smallmatrix} +0.15 \\ -0.15 \end{smallmatrix} \right)$

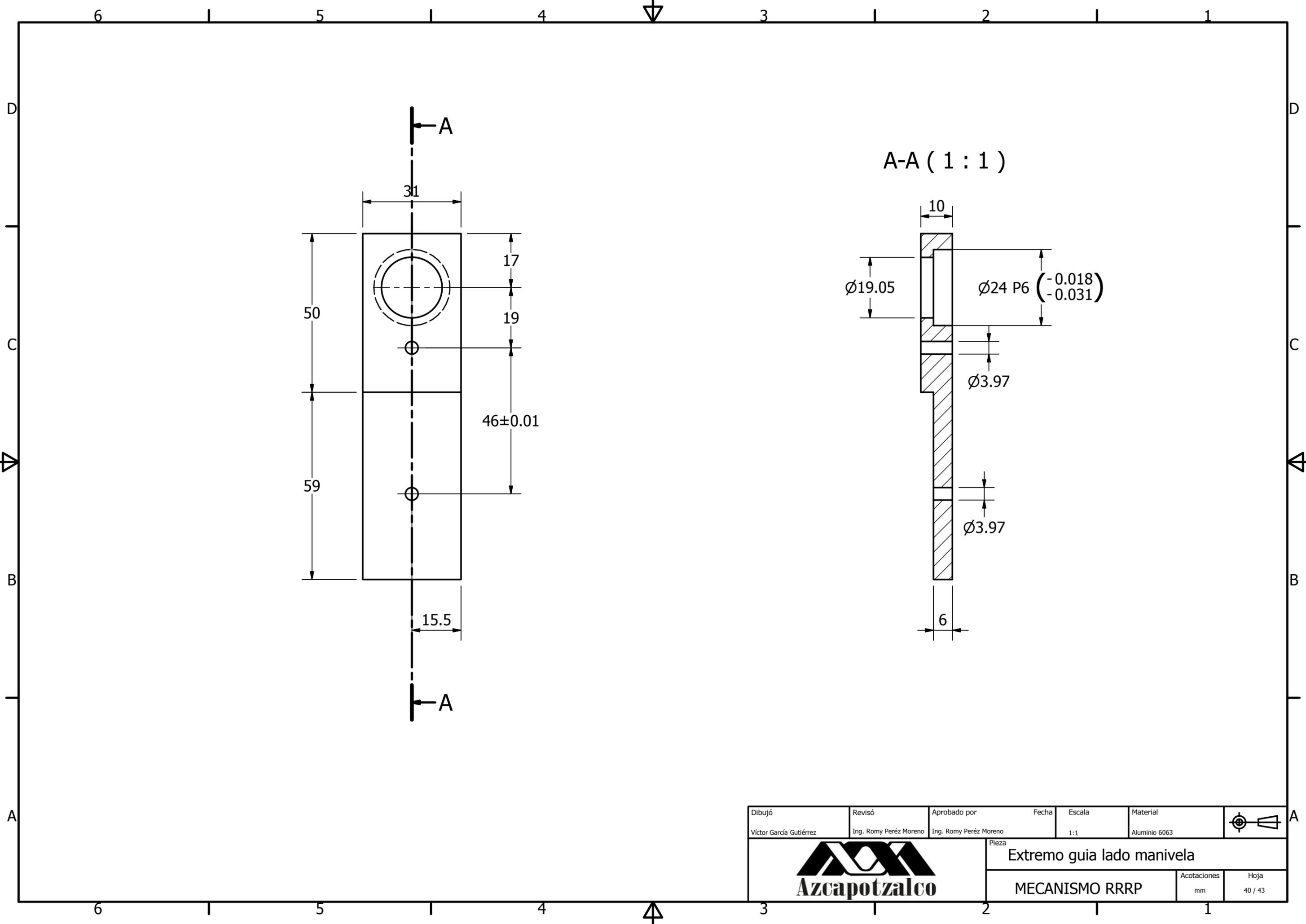
$3 \pm 0.01$

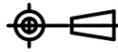
Dibujó Víctor García Gutiérrez	Revisó Ing. Romy Pérez Moreno	Aprobado por Ing. Romy Pérez Moreno	Fecha	Escala 1:1	Material Aluminio 6063	
					Pieza <b>Junta de Manivela para mecanismo RRRP</b>	
<b>MECANISMO RRRP</b>					Acotaciones mm	Hoja 38 / 43

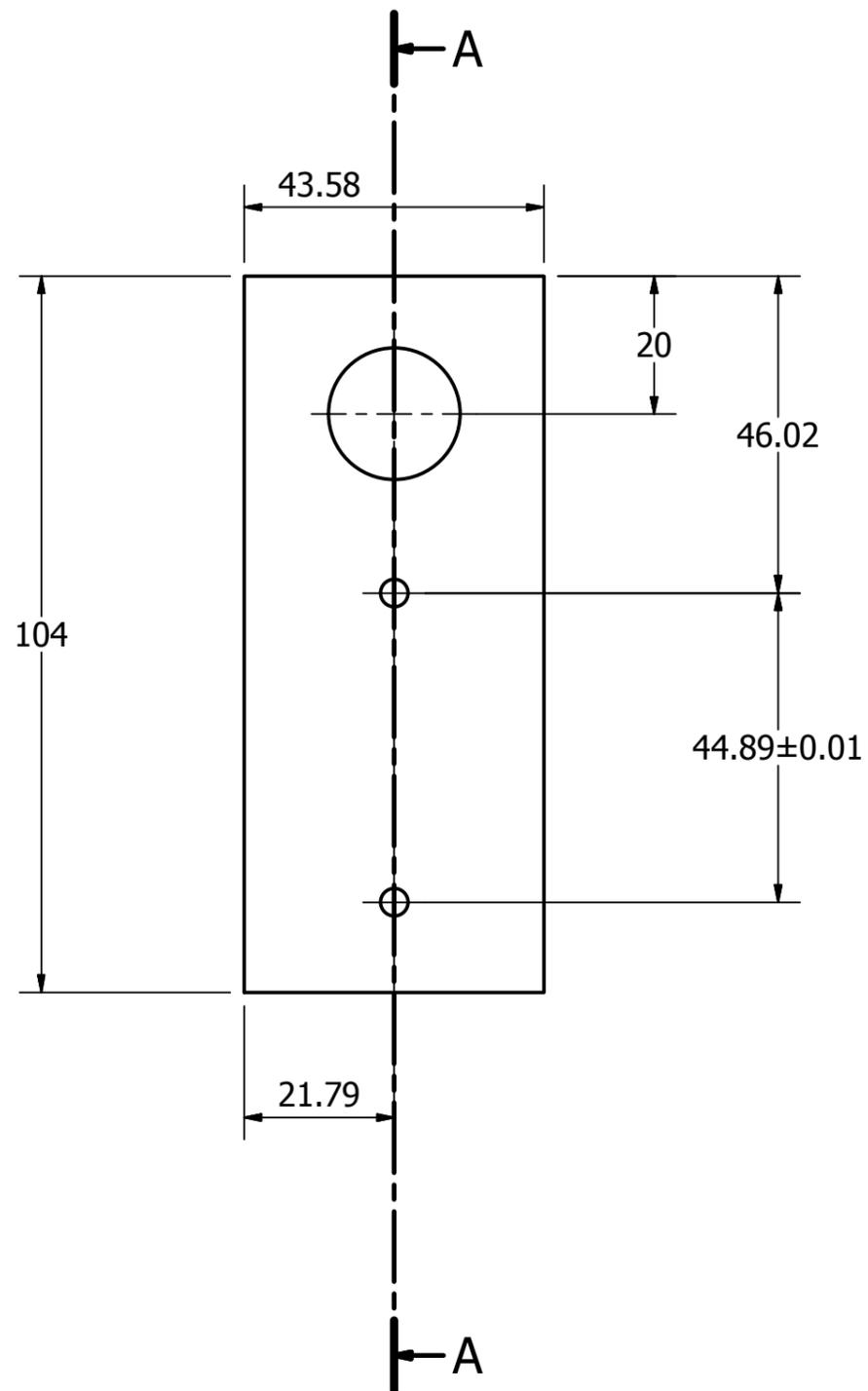


CANTIDAD: 1 PIEZA  
 ACABADO SUPERFICIAL: NINGUNO

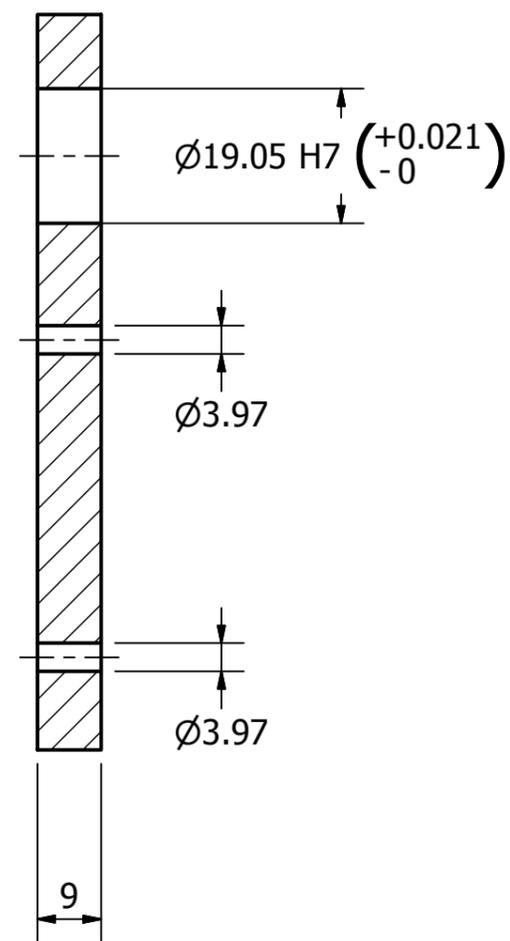
Dibujó	Revisó	Aprobado por	Fecha	Escala	Material	
Víctor García Gutiérrez	Ing. Romy Pérez Moreno	Ing. Romy Pérez Moreno		1:1	Aluminio 6063	
					Pieza	
					Perno de junta de manivela RRRP	
					Acotaciones	Hoja
					mm	39 / 43

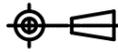


Dibujó	Revisó	Aprobado por	Fecha	Escala	Material	
Víctor García Gutiérrez	Ing. Romy Pérez Moreno	Ing. Romy Pérez Moreno		1:1	Aluminio 6063	
						Pieza
						Extremo guia lado manivela
MECANISMO RRRP						Acotaciones
						mm
						Hoja
						40 / 43



A-A ( 1 : 1 )



Dibujó Víctor García Gutiérrez	Revisó Ing. Romy Pérez Moreno	Aprobado por Ing. Romy Pérez Moreno	Fecha	Escala 1:1	Material Aluminio 6063	
					Pieza <b>Extremo guia lado chumacera</b>	
<b>MECANISMO RRRP</b>					Acotaciones mm	Hoja 41 / 43

6 5 4 3 2 1

D

D

C

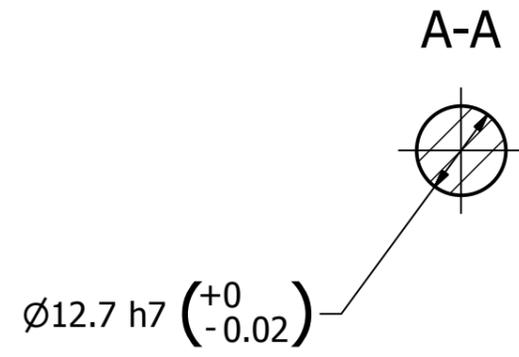
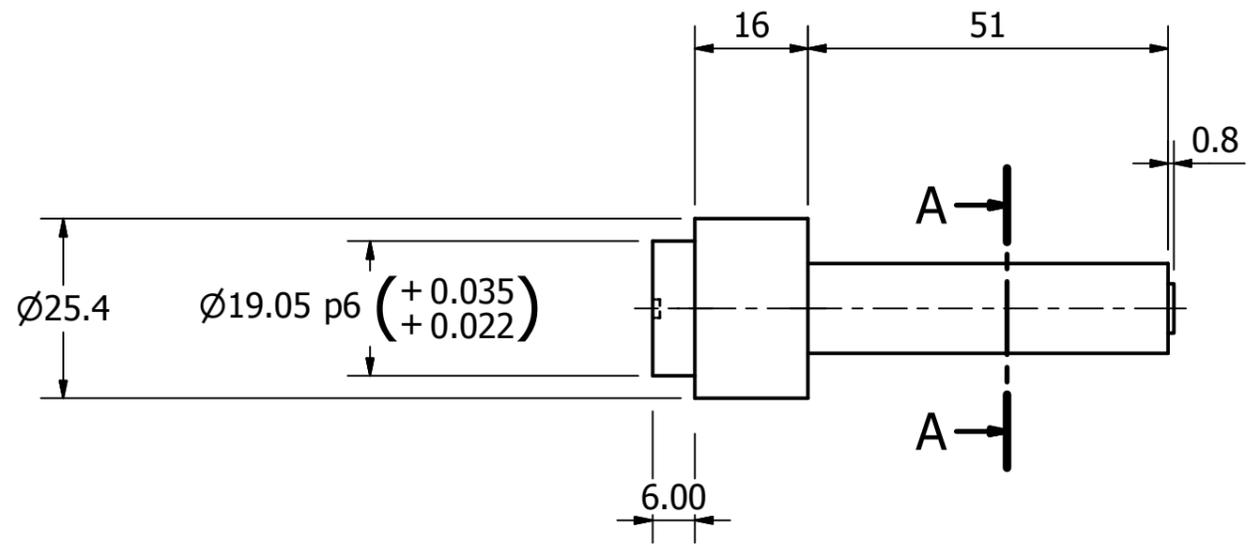
C

B

B

A

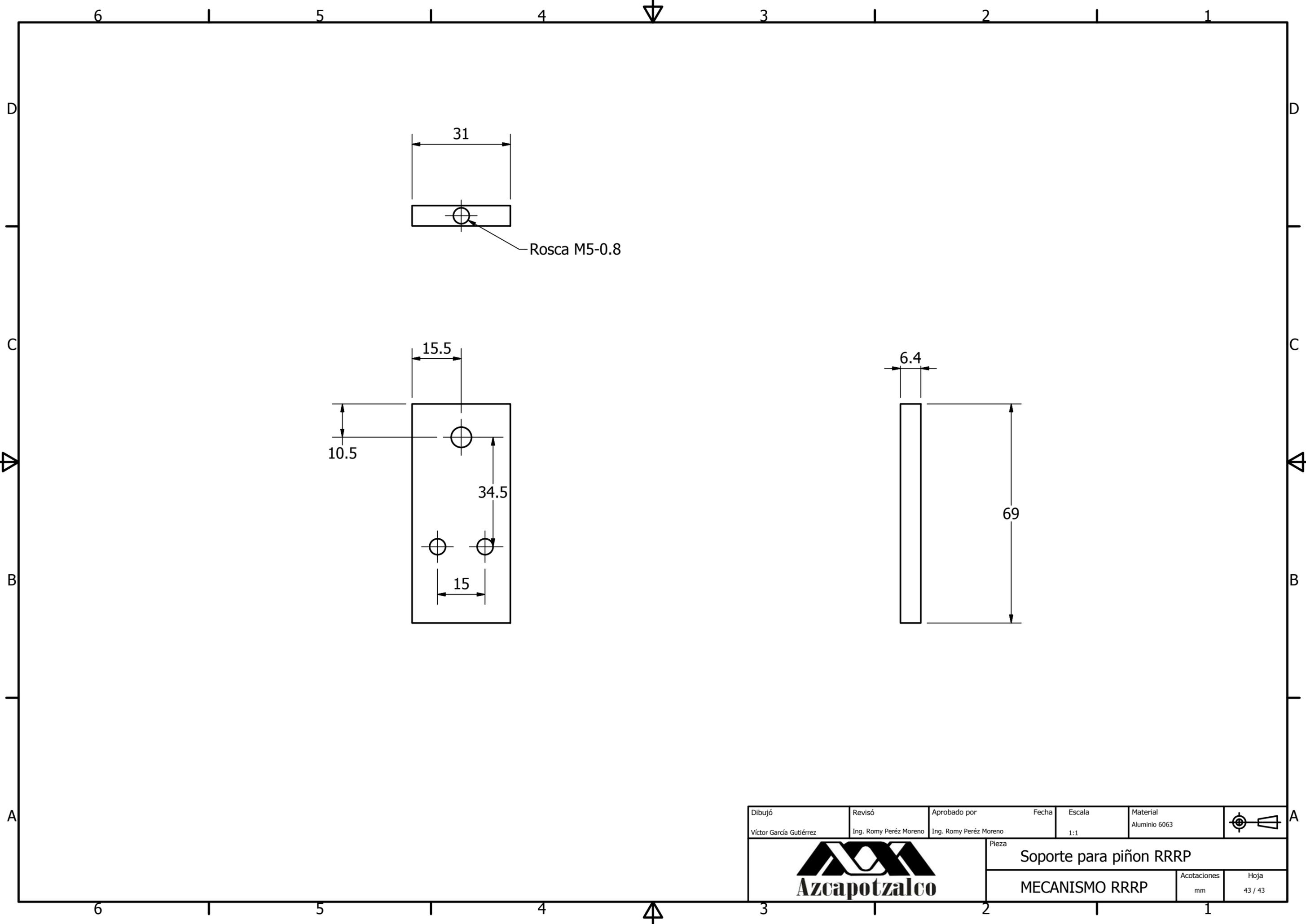
A



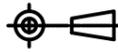
Dibujó Víctor García Gutiérrez	Revisó Ing. Romy Pérez Moreno	Aprobado por Ing. Romy Pérez Moreno	Fecha	Escala 1:1	Material Aluminio 6063	
			Pieza Eje de salida			
			MECANISMO RRRP	Acotaciones mm	Hoja 42 / 43	

6 5 4 3 2 1

A



Rosca M5-0.8

Dibujó Víctor García Gutiérrez	Revisó Ing. Romy Pérez Moreno	Aprobado por Ing. Romy Pérez Moreno	Fecha	Escala 1:1	Material Aluminio 6063	
			Pieza Soporte para piñon RRRP		Acotaciones mm	
			MECANISMO RRRP			

## 7. Resultados y conclusiones

Logramos construir tres mecanismos: cuatro barras RRRR, manivela corredera RRPR y la inversión de la manivela corredera. Los instrumentamos con potenciómetros de precisión que serán capaces de medir posición.

El proceso de manufactura estaba proyectado para que fuera a través de CNC, pero por circunstancias adversas no se pudo realizar, el proceso se hizo de manera convencional, con métodos de fresado y torneado. Por lo que tuvimos que tomar muchas precauciones con los ajustes del portapotenciómetro y los pernos de junta modificados.

Esa condición nos hizo perder bastante tiempo ya que las ventajas que ofrecía una maquina CNC era precisamente disminuir el tiempo de maquinado, sin embargo y a pesar de los contratiempos presentes durante el proceso logramos concluir el proyecto.

Entregamos 3 mecanismos funcionales conservando las características primordiales, que sus eslabones puedan variar su distancia en un intervalo del 20% por lo que puede ser de mucha ayuda para los siguientes trimestres, ya que ahora el laboratorio contará con dos mecanismos, la ventaja será que el nuevo diseño les permitirá medir posición, lo que ayudará a los alumnos a elaborar su reporte en un menor tiempo. El alumno y el profesor dispondrán de más tiempo, lo que resulta en beneficio de repasos, consultas y resolución de dudas.

Los mecanismos pueden seguir desarrollándose, el alcance de este proyecto solo fue el lograr instrumentarlos, pero se puede desarrollar un software para que el mecanismo pueda calcular velocidad y aceleración. Los potenciómetros brindan posición, el mecanismo anterior ya contaba con un cronometro, entonces utilizando cálculos y programación el software podrá resolver los parámetros fundamentales del análisis de mecanismos.

Podría optarse por seguir un procedimiento estandarizado para la manufactura del mecanismo, ya que durante el proceso hubo algunos inconvenientes de sujeción, lo que dificultaba la correcta ubicación de algunos elementos y era un factor sumado a la pérdida de tiempo.

En el capítulo 6 se encuentran los planos normalizados, necesarios para construir los mecanismos deseados o para próximas modificaciones.

Por ultimo le dimos un acabado superficial en esmalte rojo para los eslabones y dorado para los carros de junta, esto para dar una imagen que se acerque más a un producto comercializable y proporcionándole más estética, el diseño ya por si solo era atractivo a la vista por sus eslabones redondeados, pero el toque de esmalte resalta aún más el diseño original.

Otra parte que ayudó bastante a la estética fue el MDF prensado con melanina blanca al alto brillo.

El conjunto de todo lo redactado y construido en este proyecto hace que las próximas generaciones de alumnos de ingeniería mecánica, que cursen el Laboratorio de mecanismos, logren una mayor comprensión de los temas elementales y así podrán explotar sus habilidades y seguir contribuyendo al avance tecnológico de nuestro país y de la industrias en general.

## 8. Bibliografía

- [1] Hiram Ezequiel Chávez Bedoy “Diseño y construcción de tres mecanismos didácticos de cuatro elementos (RRRR, RRRP y RRPR)”, Tesis, Ing. Universidad Autónoma Metropolitana, 2007, México, DF.
- [2] PÉREZ MORENO ROMY, “Análisis de Mecanismos y problemas resueltos”, 2° Ed. Editorial Alfa Omega, México 2006.
- [3] Arthur G. Erdman, George N. Sandor “Diseño de mecanismos análisis y síntesis” 3ª. Ed. Prentice Hall, México 1998.
- [4] Richard G. Budynas y J. Keith Nisbett, “Diseño en ingeniería mecánica de Shigley” 9ª Ed. Mc. Graw Hill, México 2008.
- [5] Victoriano Ángel Martínez Sánchez “Automatización Industrial Moderna” Ed. Alfa-Omega, México 2001.
- [6] Enrique mandado, Perfecto marino y Alfonso Lago “Instrumentación Electrónica” Ed. Alfa-omega, México 1996.
- [7] Villanueva P. Sergio A. Ramos W. Jorge. “Manual de métodos de fabricación metalmecánica” Ed. AGT editor, México, 2001.
- [8] Galero P, Carta G, Fundamentos de mecánica”, Ed. MC GRA HILL, España, 1999.