



Proyecto de integración en ingeniería mecánica I

# Diseño y construcción del sistema de movilidad para la Silla Jansen.

**Licenciatura:** Ingeniería Mecánica

**Modalidad:** Proyecto Tecnológico

**Trimestre:** 17 – I

**Alumnos:**

Arano Herrera Manuel	209330941
Caballero Daniel Jaime Iván	2113001542

**Asesor:**

Ing. Romy Pérez Moreno

**Co-Asesores:**

Ing. Mario Jesús Ocaña y González  
M. en C. Roberto Alfonso Alcántara Ramírez

## Declaratoria

Yo, Romy Pérez 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.

Nombre y Firma:   
Ing. Romy Pérez Moreno.

## Declaratoria

Yo, Mario Jesús Ocaña y González, 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.

Nombre y Firma: \_\_\_\_\_

Ing. Mario Jesús Ocaña y Gonzáles.



## Declaratoria

Yo, Roberto Alfonso Alcántara Ramírez, 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.

Nombre y Firma: \_\_\_\_\_

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized cursive letters. Below the signature, the initials 'RRA' are written in a simple, blocky font.

M. en C. Roberto Alfonso Alcántara Ramírez.

## Declaratoria

Yo, Jaime Iván Caballero Daniel, 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.

Nombre y Firma: \_\_\_\_\_

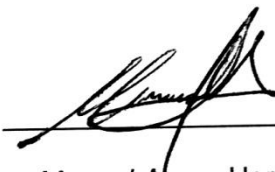


Jaime Iván Caballero Daniel.

## Declaratoria

Yo, Manuel Arano Herrera, 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.

Nombre y Firma: \_\_\_\_\_



Manuel Arano Herrera.

PI-A-MEC

Trimestre en que se autoriza la propuesta:  Fecha:  PI-A-MEC

DATOS DEL ALUMNO

Nombre:  Matrícula:   
Correo personal:

  
Firma

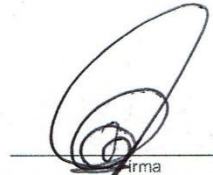
ASESOR RESPONSABLE / DATOS DE LA EMPRESA

Nombre del asesor/Empresa:   
No. económico:  Adscripción/Departamento/Sección:   
Área de investigación:   
Correo institucional:

  
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 del sistema de movilidad para la Silla Jansen.

Proyecto de Integración asociado a un Proyecto de Investigación:  No  Si Clave (?):

OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir un prototipo de silla hospitalaria implementando un mecanismo de Theo Jansen para trasladar a un paciente de 70 a 100 kg.

UNIDADES DE ENSEÑANZA APRENDIZAJE ASOCIADAS AL PROYECTO DE INTEGRACIÓN

Clave	UEA	UEA Autorizada	Vigencia
1100118	Proyecto de Integración en Ingeniería Mecánica I	<input type="text" value="SI"/>	Inicio <input type="text" value="16-0"/>
1100128	Proyecto de Integración en Ingeniería Mecánica II	<input type="text"/>	Término <input type="text" value="17-1"/>
1100138	Introducción al Trabajo de Investigación en Ingeniería Mecánica	<input type="text"/>	

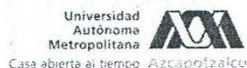
Nombre y firma del Coordinador de Estudios  
  
Ug. Romy Pérez Moreno

Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco CBI DIVISIÓN DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA  
**07 SEP 2016**  
COORDINACIÓN DE MECÁNICA  
Sello de la Coordinación de Estudios

Revisión: Febrero 2016

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

Diseño y construcción del sistema de movilidad para la Silla Jansen.



**AUTORIZACIÓN DE INSCRIPCIÓN A PROYECTO DE INTEGRACIÓN EN INGENIERÍA MECÁNICA**



PI-A-MEC

Trimestre en que se autoriza la propuesta:  Fecha:  PI-A-MEC

**DATOS DEL ALUMNO**

Nombre:  Matrícula:   
 Correo personal:

Firma

**ASESOR RESPONSABLE / DATOS DE LA EMPRESA**

Nombre del asesor/Empresa:   
 No. económico:  Adscripción/Departamento/Sección:   
 Área de investigación:   
 Correo institucional:

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**

Proyecto de Integración asociado a un Proyecto de Investigación:  No  Sí    Clave (2):

**OBJETIVO GENERAL**

**UNIDADES DE ENSEÑANZA APRENDIZAJE ASOCIADAS AL PROYECTO DE INTEGRACIÓN**

Clave	UEA	UEA Autorizada	Vigencia
1100118	Proyecto de Integración en Ingeniería Mecánica I	<input type="text" value="57"/>	Inicio <input type="text" value="16-0"/>
1100128	Proyecto de Integración en Ingeniería Mecánica II	<input type="text"/>	Término <input type="text" value="17-1"/>
1100138	Introducción al Trabajo de Investigación en Ingeniería Mecánica	<input type="text"/>	

Nombre y firma del Coordinador de Estudios

Ing. Romy Pérez Moreno

Sede de la Coordinación de Estudios

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

Revisión: Febrero 2016



Diseño y construcción del sistema de movilidad para la Silla Jansen.



**AUTORIZACIÓN DE INSCRIPCIÓN A PROYECTO DE INTEGRACIÓN EN INGENIERÍA MECÁNICA**



PI-A-MEC

Trimestre en que se autoriza la propuesta:  Fecha:  PI-A-MEC

**DATOS DEL ALUMNO**

Nombre:  Matrícula:

Correo personal:

Firma

**ASESOR RESPONSABLE / DATOS DE LA EMPRESA**

Nombre del asesor/Empresa:

No. económico:  Adscripción/Departamento/Sección:

Área de investigación:

Correo institucional:

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**

Proyecto de Integración asociado a un Proyecto de Investigación:  No  Sí Clave (2):

**OBJETIVO GENERAL**

**UNIDADES DE ENSEÑANZA APRENDIZAJE ASOCIADAS AL PROYECTO DE INTEGRACIÓN**

Clave	UEA	UEA Autorizada	Vigencia
1100118	Proyecto de Integración en Ingeniería Mecánica I	<input type="text" value="Si"/>	Inicio <input type="text" value="16-O"/>
1100128	Proyecto de Integración en Ingeniería Mecánica II	<input type="text"/>	Término <input type="text" value="17-I"/>
1100138	Introducción al Trabajo de Investigación en Ingeniería Mecánica	<input type="text"/>	

Nombre y firma del Coordinador de Estudios  
  
Ing. Romy Pérez Moreno



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

Revisión: Febrero 2016



**AUTORIZACIÓN DE INSCRIPCIÓN A PROYECTO DE INTEGRACIÓN EN INGENIERÍA MECÁNICA**



PI-A-MEC

Trimestre en que se autoriza la propuesta:  Fecha:  PI-A-MEC

**DATOS DEL ALUMNO**

Nombre:  Matricula:

Correo personal:

Firma

**ASESOR RESPONSABLE / DATOS DE LA EMPRESA**

Nombre del asesor/Empresa:

No. económico:  Adscripción/Departamento/Sección:

Área de investigación:

Correo institucional:

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**

Proyecto de Integración asociado a un Proyecto de Investigación:  No  Si    Clave (?):

**OBJETIVO GENERAL**

**UNIDADES DE ENSEÑANZA APRENDIZAJE ASOCIADAS AL PROYECTO DE INTEGRACIÓN**

Clave	UEA	UEA Autorizada	Vigencia
1100118	Proyecto de Integración en Ingeniería Mecánica I	<input type="text" value="Si"/>	Inicio <input type="text" value="18-0"/>
1100128	Proyecto de Integración en Ingeniería Mecánica II	<input type="text"/>	Término <input type="text" value="17-1"/>
1100138	Introducción al Trabajo de Investigación en Ingeniería Mecánica	<input type="text"/>	

Nombre y firma del Coordinador de Estudios  
  
Ing. Romy Pérez Moreno



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

Revisión: Febrero 2016

## Agradecimientos

Primeramente agradecemos a la Universidad Autónoma Metropolitana por habernos dado el privilegio de formar parte de ella al abrirnos las puertas del conocimiento para poder instruirnos en esto que nos apasiona, de igual manera agradecemos a los diferentes docentes quienes nos aportaron sus conocimientos y apoyo para seguir adelante y ser mejores día con día.

Agradecemos también a los asesores del proyecto, al Ing. Romy Pérez Moreno por la disposición que siempre mantuvo, por el acompañamiento y el tiempo dedicado, ya que estos fueron elementos clave para disipar nuestras dudas y concluir el proyecto.

Al M. en C. Roberto Alfonso Alcántara Ramírez por su compromiso permanente y por las facilidades brindadas, ya que sin su colaboración no se habría llevado a cabo dicho proyecto.

Sin dejar de lado el agradecimiento al Ing. Mario Jesús Ocaña y González por el tiempo dedicado, por el compromiso que mantuvo y las asesorías brindadas.

Nuestro agradecimiento también va dirigido al M. en C. Pedro García Segura por su dedicación, empeño y compromiso, así como el apoyo que nos brindó cuando lo necesitamos, finalmente por la muestra de amistad que tuvo para con nosotros.

Ya para concluir, agradecemos a los técnicos y a todos aquellos quienes conforman el equipo de mantenimiento. Así como a los compañeros que participaron en el desarrollo del proyecto, mismos que nos mostraron su amistad y ayuda excepcional en el desarrollo del mismo. Hoy les agradecemos más que su compañerismo, su amistad.

Nuestros más sinceros agradecimientos.

Manuel Arano Herrera

Jaime Iván Caballero Daniel

## **Dedicatoria**

A mis padres y hermanos, a quienes agradecemos los esfuerzos andados y apoyo que me manifiestan día con día. Gracias por el ejemplo y las lecciones de vida que nos han enseñado.

## Resumen

En este proyecto se diseñó y construyó un prototipo del mecanismo Jansen, el cual se adaptó a una silla hospitalaria, para el traslado de pacientes con dificultades motrices. El mecanismo de Jansen es un conjunto de 4 barras y al prototipo se le anexaron algunos eslabones más, mismos que no generaron cambio alguno en la configuración del sistema mecánico, a su vez se proporcionó un grado de libertad a cada una de las piernas.

El diseño del prototipo mencionado se consolidó en 3 secciones:

La primera sección consistió en elaborar el modelo cinemático, el cual dio como resultado las dimensiones ideales de los eslabones para el correcto funcionamiento del mecanismo. El propósito principal de esta primera sección fue que el mecanismo en la parte inferior de su recorrido tuviese un recorrido lineal.

En la segunda sección se realizó la simulación dinámica, la cual reveló la velocidad angular y el torque que proporcionaba el motorreductor con el que se contaba, para así seleccionar el juego de poleas dentadas que se requerían para mover el mecanismo.

En la tercera etapa se efectuó la selección del material para la elaboración del prototipo y el análisis de cargas, consiguiente a ello se realizó una simulación en la que se obtuvo el peso total del mecanismo y se comprobó que resiste a una persona de entre 70 y 100 kg.

Se maquinaron los eslabones y las piezas que conforman el prototipo, cabe mencionar que los eslabones y la gran mayoría de piezas fueron maquinadas por externos a la Universidad, mientras que una mínima parte fue elaborada dentro de la Institución, ya que no se cuenta con la herramienta necesaria para efectuar el tipo de corte que se requería.

Se compraron los materiales previamente seleccionados para el ensamblado, se continuó con el ensamble del prototipo para posteriormente ejecutar pruebas que permitieron el análisis detallado de su funcionamiento.

El prototipo resultó como se tenía planeado pues entre algunos aciertos se presenta que mantuvo una buena estabilidad cuando se encontraba contra el suelo y cumplía con las dimensiones requeridas, aunque el único detalle que se presentó fue un juego entre algunos baleros y pernos, los cuales en algunas ocasiones tendían a trabar al mecanismo.

## Contenido.

Declaratoria.....	I
Declaratoria.....	II
Declaratoria.....	III
Declaratoria.....	IV
Declaratoria.....	V
Agradecimientos .....	X
Dedicatoria.....	XI
Resumen.....	XII
CAPITULO 1. PROYECTO .....	1
1.1 Introducción .....	1
1.2- Antecedentes .....	3
1.3 Justificación .....	3
1.4 Objetivos .....	4
1.4.1 Objetivo general:.....	4
1.4.2 Objetivo específicos: .....	4
CAPITULO 2. MARCO TEORICO.....	5
2.1 Diseño de un prototipo .....	5
2.1.1 Etapas del diseño en ingeniería.....	6
2.2 Importancia del mecanismo.....	8
2.2.1 Mecanismos .....	8
2.2.2 Maquinas.....	9
2.3 Grados de libertad.....	10
2.4 Cuatro barras.....	11
2.5 Cadenas de seis barras .....	11
2.6 Manivela corredera .....	12
2.6.1 Corredera .....	13
2.7 Mecanismos para el traslado de personas.....	13
2.7.1 Mecanismo de James Watt. ....	13
2.7.2 Mecanismo de Chebyshev.....	14

Diseño y construcción del sistema de movilidad para la Silla Jansen.

2.7.3 Mecanismo de Jansen .....	15
2.8 Poleas .....	17
2.9 Estudio de los materiales .....	20
2.9.1 Acero al carbón .....	20
2.9.2 Aluminio .....	21
CAPITULO 3. DESARROLLO DEL PROYECTO.....	22
3.1 Desarrollo .....	22
3.2 Características del motor y batería .....	22
3.3 Dimensionamiento de los eslabones .....	25
3.3.1 Diseño 1.....	26
3.3.2 Diseño 2.....	27
3.3.3 Diseño 3.....	28
3.3.4 Diseño 4 (Seleccionado para el prototipo de la silla Jansen) .....	29
3.4 Análisis cinemático .....	30
3.4.1 Cadena cinemática 1 .....	31
3.4.2 Cadena cinemática 2 .....	33
3.4.3 Cadena cinemática 3 .....	36
3.5 Diseño de piezas.....	38
3.5.1 Sub – ensamble 1 .....	39
3.5.2 Sub – ensamble 2. ....	42
3.5.3 Sub - ensamble 3 .....	45
3.5.4 Ensamble final .....	50
3.6 Selección de material .....	52
3.6.1 Acero al carbón .....	52
3.6.2 Aluminio 6061_T5 .....	54
3.6.3 Acero colado.....	54
3.6.4 Peso total del mecanismo .....	55
3.7 Reporte del análisis de esfuerzo .....	56
3.7.1 Aplicación de la fuerza .....	57
3.7.2 Puntos fijos.....	58
3.7.3 Mallado.....	59

3.7.4 Tablas de resultados.....	59
3.8 Manufactura del prototipo .....	65
CAPITULO 4. RESULTADOS .....	68
4.1 Dibujos normalizados .....	69
4.2 Dimensiones generales del mecanismo .....	103
4.3 Velocidad del mecanismo .....	104
4.4 Peso del mecanismo.....	105
4.5 Análisis y discusión de resultados. ....	106
CAPITULO 5. CONCLUSIONES .....	109
Referencias bibliográficas .....	110
Apéndice.....	112



## Contenido de imágenes.

Imagen 1. Escultura de Theo Jansen. [2].....	2
Imagen 2. Descripción de la pata del mecanismo. [3].....	2
Imagen 3. Procesos del diseño.....	5
Imagen 4. Reductor de velocidad de engranes. [10].....	9
Imagen 5. Molino de viento. [11].....	9
Imagen 6. Mecanismo Watt I de seis barras. [8].....	10
Imagen 7. Mecanismo de cuatro barras. [12].....	11
Imagen 8. Mecanismo de Stephenson. [8].....	12
Imagen 9. Mecanismo manivela corredera. [12].....	12
Imagen 10. Mecanismo de Watt aplicado en la suspensión de un automóvil. [13].....	13
Imagen 11. Mecanismo de Chebyshev. [15].....	14
Imagen 12. Pie de traslado del mecanismo Chebyshev. [14].....	15
Imagen 13. Mecanismos construidos por Theo Jansen. [2].....	15
Imagen 14. Movimiento de trayectoria. [5].....	16
Imagen 15. Posible prototipo de la silla Jansen.....	17
Imagen 16. Polea de banda abierta.....	18
Imagen 17. Polea por banda cruzada.....	18
Imagen 18. Polea de banda semicruzada.....	18
Imagen 19. Polea de banda con tensor externo.....	19
Imagen 20. Polea de banda con tensor interna.....	19
Imagen 21. Polea de banda con múltiples poleas.....	19
Imagen 22. Motor para prototipo.....	23
Imagen 23. Dimensiones del motor. [18].....	23
Imagen 24. Batería para los motores.....	24
Imagen 25. Mecanismo Theo Jansen.....	25
Imagen 26. Diseño 1 (cotas en cm).....	26
Imagen 27. Diseño 2 (cotas en cm).....	27
Imagen 28. Diseño 3 (cotas en cm).....	28
Imagen 29. Diseño 4 (cotas en cm).....	29
Imagen 30. Análisis del mecanismo Jansen.....	30
Imagen 31. Cadena cinemática 1.....	31
Imagen 32. Velocidad angular $\omega_2$ y aceleración angular $\alpha_2$ del eslabón 2.....	32
Imagen 33. Velocidad angular $\omega_3$ y aceleración angular $\alpha_3$ del eslabón 3.....	33
Imagen 34. Velocidad angular $\omega_4$ y aceleración angular $\alpha_4$ del eslabón 4.....	33
Imagen 35. Cadena cinemática 2.....	33
Imagen 36. Velocidad angular $\omega_5$ y aceleración angular $\alpha_5$ del eslabón 5.....	35
Imagen 37. Velocidad angular $\omega_6$ y aceleración angular $\alpha_6$ del eslabón 6.....	35
Imagen 38. Cadena cinemática 3.....	36
Imagen 39. Velocidad angular $\omega_7$ y aceleración angular $\alpha_7$ del eslabón 7.....	37

Imagen 40. Velocidad angular $\omega_8$ y aceleración angular $\alpha_8$ del eslabón 8. ....	37
Imagen 41. Desplazamiento que se genera del eslabón final en los ejes Y y X.....	38
Imagen 42. Desplazamiento que genera del eslabón final en los ejes Y y X acoplados en una sola gráfica. ....	38
Imagen 43. Cigüeñal derecho. ....	39
Imagen 44. Cigüeñal izquierdo.....	40
Imagen 45. Eslabón de cigüeñal.....	40
Imagen 46. Eslabón de cigüeñal desfasado 120°.....	41
Imagen 47. Perno 1.....	41
Imagen 48. Perno 2.....	41
Imagen 49. Perno 3.....	41
Imagen 50. Seguro tipo "e" de 5 mm (comercial).....	42
Imagen 51. Pierna del mecanismo (vista 1).....	42
Imagen 52. Pierna del mecanismo (vista 2).....	43
Imagen 53. Eslabón de 21.9 cm y 18.8 cm.....	43
Imagen 54. Eslabón de 12.9 cm y 12.6 cm.....	43
Imagen 55. Triángulo superior e inferior.....	44
Imagen 56. Perno 4 y 5. ....	44
Imagen 57. Perno 6 y 7. ....	44
Imagen 58. Apoyo del mecanismo y balero de 5 mm (comercial).....	44
Imagen 59. Balero de 6 mm (comercial) y seguro tipo "e" de 4 mm (comercial).....	45
Imagen 60. Base del motor y batería (vista superior).....	45
Imagen 61. Base del motor y batería (vista frontal).....	46
Imagen 62. Base del motor y batería (vista isométrica).....	46
Imagen 63. Soporte en l y soporte recto. ....	47
Imagen 64. Base interna y base externa. ....	47
Imagen 65. Soporte para cigüeñal y ángulo para motor. ....	47
Imagen 66. Ángulo para soporte de batería.....	47
Imagen 67. Buje para cigüeñal y perno 8.....	48
Imagen 68. Perno 9 y 10.....	48
Imagen 69. Perno 11 y 12.....	48
Imagen 70. Tornillo tipo Allen de 1/4" y tuerca de 1/4".....	49
Imagen 71. Seguro tipo "e" de 5 mm y 1/2". ....	49
Imagen 72. Ménsula y banda de transmisión. ....	49
Imagen 73. Polea dentada de 1 y 2 pulgadas. ....	49
Imagen 74. Batería y motor de engranes. ....	50
Imagen 75. Balero de 6 mm.....	50
Imagen 76. Mecanismo (Vista isométrica).....	50
Imagen 77. Mecanismo (vista frontal).....	51
Imagen 78. Mecanismo (vista lateral). ....	51
Imagen 79. Mecanismo (vista superior).....	51

Imagen 80. Ensamble de cigüeñal en acero al carbón. ....	52
Imagen 81. Piezas en acero al carbón para el mecanismo de Jansen. ....	53
Imagen 82. Ensamble de piezas al carbón (soporte del prototipo) ....	53
Imagen 83. Mecanismo de Jansen con eslabones de aluminio 6061_T5.....	54
Imagen 84. Ángulos para soporte de batería y motor (acero colado).....	55
Imagen 85. Propiedades generales del ensamble final. ....	56
Imagen 86. Resultado obtenido por la computadora.....	56
Imagen 87. Aplicación de la fuerza de -1000N en el mecanismo de Jansen. ....	57
Imagen 88. Puntos de apoyo del mecanismo.....	58
Imagen 89. Mallado para la simulación de esfuerzos del prototipo. ....	59
Imagen 90. Simulación de Von Mises.....	62
Imagen 91. Simulación de la fuerza desplazada.....	63
Imagen 92. Simulación de factor de seguridad. ....	64
Imagen 93. Cortado y maquinado por la empresa Drex CNC.....	65
Imagen 94. Chequeo de las piezas. ....	66
Imagen 95. Piezas para el soporte (acero al carbón).....	66
Imagen 96. Eslabones (aluminio 6061_T5). ....	67
Imagen 97. Pernos (acero pulido). ....	67
Imagen 98. Piezas en acero al carbón.....	67
Imagen 99. Ensamble de los eslabones.....	68
Imagen 100. Ensamble del mecanismo.....	68
Imagen 101. Adaptación de piernas a la base. ....	69
Imagen 102. Toma de medida a lo ancho del mecanismo. ....	103
Imagen 103. Toma de medida a la altura del mecanismo. ....	104
Imagen 104. Toma de medida a lo largo del mecanismo. ....	104
Imagen 105. Prueba de peso del mecanismo. ....	105
Imagen 106. Resultado del peso. ....	105
Imagen 107. Captura de peso.....	106
Imagen 108. Mecanismo sometido a pruebas.....	106
Imagen 109. Prototipo del mecanismo para la Silla Jansen ensamblado.....	108

## Contenido de tablas.

Tabla 1. Descripción de la batería.....	24
Tabla 2. Cotas del diseño 1.....	26
Tabla 3. Cotas del diseño 2.....	27
Tabla 4. Cotas del diseño 3.....	28
Tabla 5. Cotas del diseño 4.....	29
Tabla 6. Condiciones de operación (fuerza 1).....	57
Tabla 7. Fuerzas de reacción y restricciones en los momentos.....	59
Tabla 8. Resumen de los resultados.....	60
Tabla 9. Dimensiones del mecanismo.....	103
Tabla 10. Tolerancias principales.....	112
Tabla 11. Tolerancias recomendadas.....	113
Tabla 12. Tolerancias geométricas.....	115
Tabla 13. Catálogo de los baleros seleccionados.....	116
Tabla 14. Tabla de dimensiones de chavetera para polea.....	117
Tabla 15. Tabla para selección de seguros en “e”.....	118

## CAPITULO 1. PROYECTO

### 1.1 Introducción

Theo Jansen es un escultor quien a partir de 1968 efectuó sus primeros estudios profesionales en la Delft University of Technology, en la Academia de Física. Posteriormente, en 1975, se inclinó por el estudio y aplicación de las artes plásticas; la obra más contundente de Jensen se ha constituido desde 1990 con base en la creación de una colección de esculturas cinéticas que construye e idea tras imitar esqueletos zoomorfos (imagen 1). Estas obras tienen la capacidad de ser impulsadas por el viento. Las esculturas de Jansen, denominadas *Strandbeests* o *bestias de la playa*, son consideradas por el artista como “nuevas formas de vida artificial”, creadas a partir de un programa de simulación algorítmica, dando lugar a auténticos organismos vivientes. [1]

A través de sus esculturas, Theo Jansen muestra la configuración de un diseño mecánico que proporciona a sus obras cierta estabilidad cinética; resultado del empleo de un considerable número de piernas móviles ajustadas por dos ejes fijos y uno rotativo. Dicha firmeza cinética deriva, a su vez, del análisis mecánico de cada uno de los apéndices y su funcionamiento algorítmico, mismo que permite a “las bestias de Jansen” desplazarse sin dificultades sobre superficies tanto firmes como irregulares, gestando así una diferencia considerable con el empleo de la rueda, cuya funcionalidad se ve gravemente limitada en suelos escabrosos.

El presente Proyecto de Integración tiene como finalidad integrar el sistema mecánico de Theo Jansen en una silla para pacientes con limitaciones de capacidad física y proporcionarles un mejor traslado y manejo sobre superficies irregulares (gravilla, césped, alfombra o suelos escabrosos), sobre los cuales las sillas de ruedas convencionales presentan un desempeño muy limitado.

El sistema mecánico debe de ser capaz de generar movimientos impulsado por dos motores de corriente directa, para ejecutar desplazamientos hacia adelante, hacia atrás y dar giros en su propio eje vertical.



Imagen 1. Escultura de Theo Jansen. [2]

Dentro del diseño se propone calcular el mecanismo cinemático y la dinámica de cada pierna móvil, por separado, como se muestra en la imagen 2, para obtener su velocidad y así controlar el giro de la silla [3], el cual será capaz de avanzar a una velocidad promedio de 5 km/h y máxima de 7 km/h. Dentro del diseño se debe determinar la composición de las piezas, que éstas cumplan con las dimensiones generales al ser maquinado y finalmente ensamblado.

Sólido	Nº de nudos	Nudos
Bancada	2	O - C
1	2	O - A
2	2	A - B
3	3	B - C - D
4	2	D - F
5	2	C - E
6	2	A - E
7	3 (2 en maqueta)	E - F (- G)

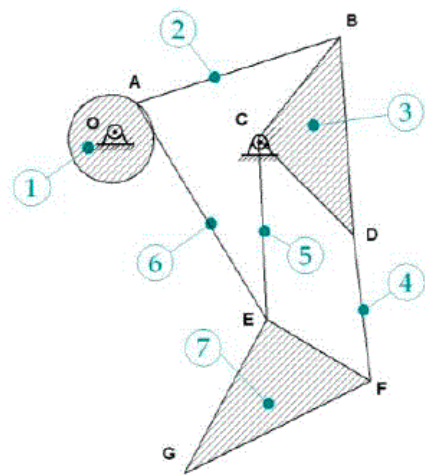


Imagen 2. Descripción de la pata del mecanismo. [3]

## 1.2- Antecedentes

A comienzos de los 80, el artista holandés Theo Jansen comenzó a crear programas de simulación algorítmica de vida artificial. Su interés por diseñar organismos vivos independientes por medio de software lo llevó a iniciar su serie de esculturas cinéticas Strandbeest, el proyecto le ha proporcionado un reconocimiento a nivel internacional. [4]

La Universidad de Málaga realizó un proyecto de investigación que especifica los mecanismos de Jansen, el cual titularon “Vehículos sin ruedas basados en el mecanismo de Theo Jansen”, donde se expone una amplia información referente al comportamiento, estudio cinemático y algunas aplicaciones que pueden tener estos mecanismos, según el uso que se le quiera dar. [5]

Los estudiantes Víctor Mayén Flores y Ramiro Jiménez Habanero, de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco (UAM AZC); Ricardo Abel Valdés Aguilar, del Instituto Tecnológico de Toluca (ITT), y Fernando Alcántara Segura, del Instituto Politécnico Nacional (IPN), realizaron el proyecto de investigación acerca de la Silla Jansen. Ellos han representado a la UAM con este proyecto en distintos concursos nacionales e internacionales de tecnología. [6]

## 1.3 Justificación

Las sillas de ruedas convencionales presentan una máxima eficiencia en terrenos planos y lisos, pero presenta problemas en superficies irregulares y con dificultad de rodamiento. En estas condiciones no ideales se requieren de un esfuerzo mayor para trasladar a los pacientes, cuando se logra el desplazamiento.

En este proyecto se realizará el diseño, análisis, simulación y la manufactura del prototipo del sistema impulsor basado en los mecanismos de Theo Jansen. Con el mecanismo se tratará de mejorar la movilidad y accesibilidad en espacios con superficies irregulares donde difícilmente pueda ingresar una persona que emplee una silla de ruedas convencional.

Diseño y construcción del sistema de movilidad para la Silla Jansen.

## 1.4 Objetivos

### 1.4.1 Objetivo general:

Diseñar y construir un prototipo de silla hospitalaria implementando un mecanismo de Theo Jansen para trasladar a un paciente de 70 a 100 kg.

### 1.4.2 Objetivo específicos:

Diseñar cinemáticamente el sistema con dimensiones generales entre 85 y 95 cm de largo, 58 cm de ancho y con una altura proporcional a las dimensiones mencionadas impulsado por motores eléctricos.

Simular el funcionamiento del prototipo del sistema impulsor mediante el software Inventor, hasta conseguir a una velocidad de entre 5 y 7 km/h.

Optimizar la estructura mecánica del sistema impulsor para garantizar un peso máximo del mismo de 50 kg.

Construir y evaluar el prototipo.



## CAPITULO 2. MARCO TEORICO

### 2.1 Diseño de un prototipo

El objetivo de la elaboración de un proyecto nace con base en una necesidad, y para poder cumplir dicho objetivo es necesaria la recopilación de información para posteriormente elaborar los dibujos técnicos del proyecto, los ensayos y correcciones correspondientes para la construcción del prototipo. [7]

La información recopilada ayudará a poder seleccionar qué tipos de herramientas, equipo, maquinaria y dispositivos son los adecuados para el proceso de las piezas del prototipo, el cual va a ser elaborado y ensamblado con instrucciones de los dibujos técnicos especificando la cantidad de piezas y lugar donde va a ser ensamblado. [7]

Teniendo en cuenta los errores y correcciones del prototipo, se realizan los dibujos técnicos definitivos para elaborar un producto final y ser analizados por el departamento de métodos, así posteriormente llevar acabo la concepción del producto; finalmente se hace la distribución del producto a los medios que lo requieran. En el caso del presente proyecto se elaboró un prototipo con base en los pasos que se muestran a continuación.

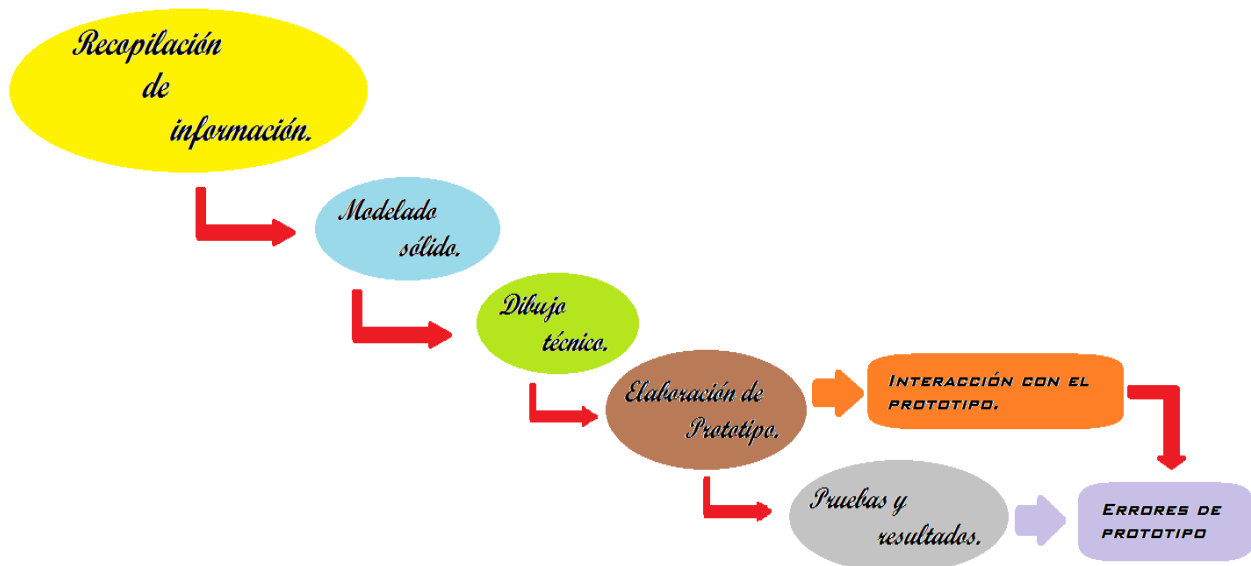


Imagen 3. Procesos del diseño.

El diseño interactúa y consta de varias etapas las cuales van a depender de la complejidad del proceso dentro de los factores competentes del impacto, costo y funcionamiento del prototipo. Para poder determinar los resultados satisfactorios del prototipo se parte de la relación con el cliente.

El modelado en CAD facilita interpretación de la información de la pieza para poder tener un mayor manejo de simulación en propiedades físicas, tolerancias de manufactura, acabado superficial y otras características para la elaboración de piezas y su ensamble en general.

El empleo del dibujo técnico tiene como finalidad poder comunicar al lector lo que desea el ingeniero o diseñador respecto a la elaboración de una pieza o montaje. El formato del dibujo normalizado debe de contener sus vistas adecuadas, recuadro con datos, cotas necesarias, tamaño de la hoja dependiendo de la adecuación de la pieza y la organización del dibujo, todo esto sirve para la construcción correcta de la pieza [7]. El interactuar con el ensamble del prototipo servirá dentro de la funcionalidad del diseño para poder encontrar pequeños errores de los cuales se pueden ir modificando al diseñar e ir corrigiendo los dibujos técnicos hasta tener un diseño definitivo.

Los resultados de la prueba de funcionamiento son los puntos más importantes de un prototipo, donde se notan las correcciones que el ingeniero o diseñador puede mejorar; ya teniendo los resultados concretos para un producto sólido se dirigen al departamento de calidad para su producción masiva.

### 2.1.1 Etapas del diseño en ingeniería

Mediante un diagrama de flujo es posible explicar el desarrollo, paso por paso, de la elaboración de un diseño específico. Por otra parte, el uso de la ingeniería y otras herramientas como lo es la computadora facilitan el desenvolvimiento del método.

- Confrontación y fuentes de información. Actualmente se encuentran infinitas necesidades las cuales llevan al ingeniero a buscar información para confrontar una problemática de ingeniería. Existen problemas de estudio que difícilmente pueden confrontarse únicamente con fuentes, ya que éstas a menudo resultan insuficientes por su carencia. Es aquí donde el ingeniero

debe hacer empleo de su experiencia y la aplicación de sus conocimientos básicos para hacer frente a esta disyuntiva. [8]

- Formulación del problema para la preparación de la información y de la hipótesis: La necesidad real se formula con base en una pregunta relacionada con la problemática previamente establecida, la cual es clave para obtener información adecuada y generar una hipótesis del proyecto. El ingeniero debe averiguar la necesidad real y definirla en términos cuantitativos para adecuarse a una acción. [8]
- Conceptos del diseño. Los conceptos del diseño se formulan en esquemas o de forma gráfica, los cuales son útiles para conceptualizar una selección previa de ideas a ejecutar. De ello, surgen alternativas de soluciones para la realización del diseño, teniendo en cuenta los requisitos y las restricciones que se presenten. [8]
- Síntesis. Es necesario tener en cuenta la relación de los elementos que se van a llevar a cabo en el diseño, (información, simulaciones gráficas, dibujos técnicos, selección de materiales y elaboración) través de la síntesis cinemática, síntesis de eslabonamientos y síntesis de circuitos eléctricos. [8]
- Modelo analizable. El modelo del diseño debe ser analizado por medio de una computadora (Software CAD) para obtener, a través de la simplificación, los valores mínimos del diseño ya que algunos sistemas o componentes físicos son usualmente complejos para ser digeridos. [8]
- Experimentación y optimización. De manera física y comparativa se hace una serie de pruebas para determinar qué tan factible es el diseño, y por medio de diversos software se obtienen resultados gráficos o analíticos. Al obtener una derivación del diseño, el ingeniero toma la decisión para optimizarlo a una elaboración más eficiente. [8]
- Presentación. Cuando el proyecto ya está concluido es necesario ser presentado en una exposición dirigida a quienes van hacer uso de él y a quienes van a manufacturarlo. Después de ser aprobado se presenta un conjunto de planos, hijos de cálculo, versiones en perspectiva, modelos y animación de sistemas físico para su ensamble. [8]

## 2.2 Importancia del mecanismo

Diseñar un mecanismo apropiado implica seleccionar el tipo particular de eslabonamientos como lo podría ser un eslabonamiento de cuatro barras, una combinación de sistemas de leva, un juego de engranes, entre otros. También es importante determinar las dimensiones apropiadas al mecanismo y óptimas en sus diversas partes del sistema.

En un mecanismo la fuerza lleva un camino de entrada ya sea rotatorio (motores eléctricos, motores de CD, motores de CA, servomotores); lineal (cilindro neumático, cilindro hidráulico, tornillo de bola); manual (palanca, manivela) y de almacenamiento (volantes, resortes, músculos). El trabajo de entrada es conducido por un transmisor como lo son las levas y los seguidores (levas de placa, levas cilíndricas, seguidor de rodillo y de oscilación); trenes de engranes (planetarios, tornillos sin fin, cilíndricos, externos o internos); transmisión por correa (banda, cuerda y cadena); eslabonamiento (cuatro barras, mecanismo de pistón y manivela, eslabonamiento de seis barras). Dicha fuerza necesita ser expulsada por una salida, existen métodos como cronometración de válvulas; reductores de velocidad, dispositivo protésico, mecanismo de embrague o mecanismo de freno. [8]

### 2.2.1 Mecanismos

Los mecanismos transforman los movimientos en secuencias que se le ordene mediante el trabajo de un dispositivo mecánico, es decir, el sistema de elementos acomodados transmite movimientos de una forma predeterminada por el desarrollo de bajas fuerzas y poca potencia. [9]

Diseño y construcción del sistema de movilidad para la Silla Jansen.

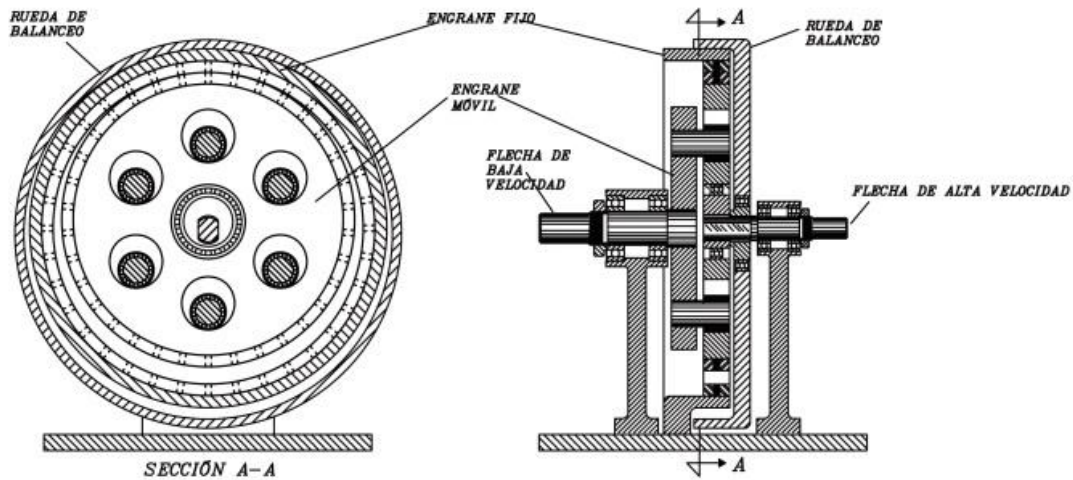


Imagen 4. Reductor de velocidad de engranes. [10]

## 2.2.2 Maquinas

Las máquinas son un conjunto de uno o varios mecanismos con el propósito de producir y transmitir fuerzas significativas, partiendo de sistemas dinámicos, donde la energía cinética interactúa con fuerzas estáticas y dinámicas para generar una velocidad y/o aceleración [9]. Existen diferencias entre máquina y mecanismo, sin embargo, su definición depende de su grado y no en su clase, sino en fuerzas o niveles de energía en el dispositivo.

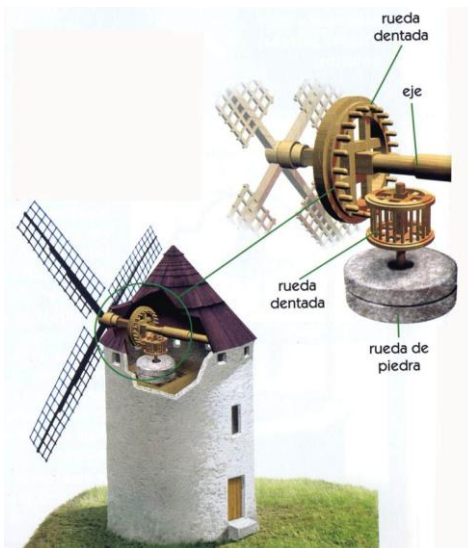


Imagen 5. Molino de viento. [11]

### 2.3 Grados de libertad

Se entiende como el número de entradas independientes que determina la posición del mecanismo determinado por los eslabones o el número de relaciones de una estructura. Por medio de pares en contacto con los eslabones, se restringe el movimiento relativo, para obtener los grados de libertad de nuestro mecanismo se interpreta como [8]:

$$F=3(n-1)-2f \quad (1.1)$$

Dicha ecuación es conocida como ecuación de Gruebler, teniendo en cuenta como  $(n-1)$  como el número de eslabones móviles y  $f$  como juntas de pasador. En la imagen 6 observamos un mecanismo de seis barras con un grado de libertad, contando con 6 eslabones obtenemos a  $n= 6$  y  $f=7$  por la cantidad de juntas que requiere el mecanismo, llegamos a la ecuación de  $F=3(6-1)-2(7)=1$ .

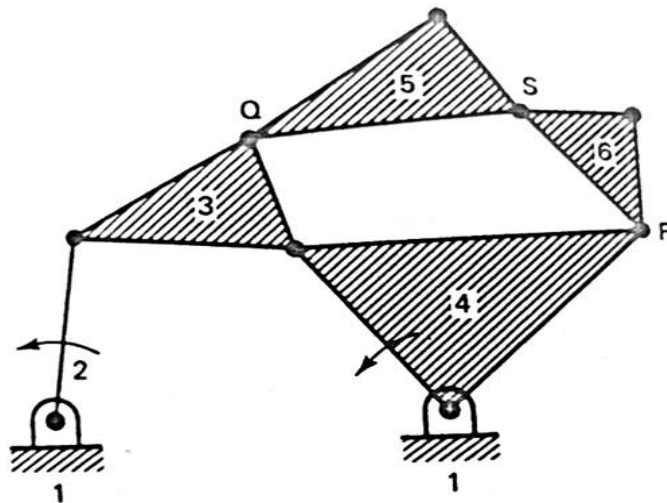
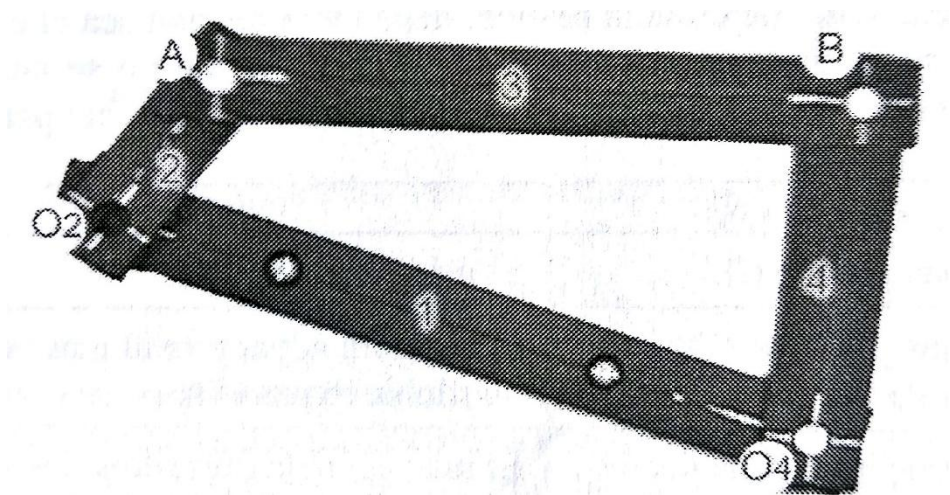


Imagen 6. Mecanismo Watt I de seis barras. [8]

## 2.4 Cuatro barras

El mecanismo de eslabonamiento de cuatro barras se utiliza en gran variedad de máquinas y dispositivos, consta de 4 eslabones ensamblados por medio de pernos o juntas de revoluta, donde un eslabón debe de estar unido firmemente a un marco de referencia. En la Imagen 7 podemos ver puntos de articulación en  $O_2, A, B$  y  $O_4$ ; en el eslabón  $O_2$  y  $O_4$  es el eslabón fijo que por lo tanto se toma como marco de referencia, seguido de un movimiento de entrada asignado en  $O_2A$  (eslabón manivela), en el eslabón  $AB$  se considera como consecutiva (acoplador) y el eslabón  $O_4B$  como punto de salida (eslabón oscilador). [12]



*Imagen 7. Mecanismo de cuatro barras. [12]*

## 2.5 Cadenas de seis barras

Los eslabones de seis barras de un solo grado de libertad son ocupados cuando un mecanismo de cuatro barras no cumple con el rendimiento que se necesita. En la Imagen 6 tenemos un mecanismo de cadena Watt de seis eslabones adyacentes a siete juntas, y también se encuentra el mecanismo de Stephenson, donde los eslabones están separados por eslabones binarios como se muestra en la Imagen 8. [8]

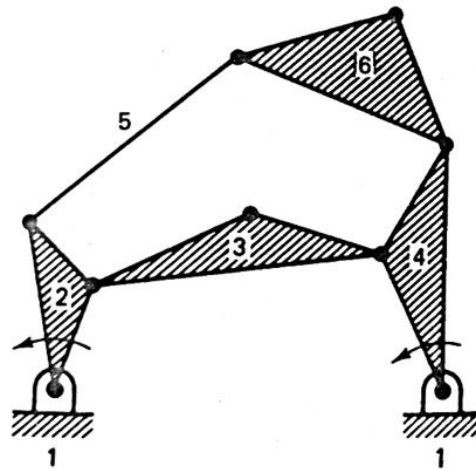


Imagen 8. Mecanismo de Stephenson. [8]

## 2.6 Manivela corredera

Mecanismo que se encarga de transformar un movimiento rotacional en un movimiento de traslación, en la Imagen 9 se muestra un mecanismo del tipo manivela corredera. En el cual el eslabón fijo se encuentra entre los puntos  $O_2$ ,  $O_4$  y  $B$ . De las posibles combinaciones de entrada y salida se ha elegido la entrada en la manivela y la salida en el eslabón 4. Bajo esas consideraciones el mecanismo transformará un movimiento angular constante en un movimiento lineal recíprocante. [12]

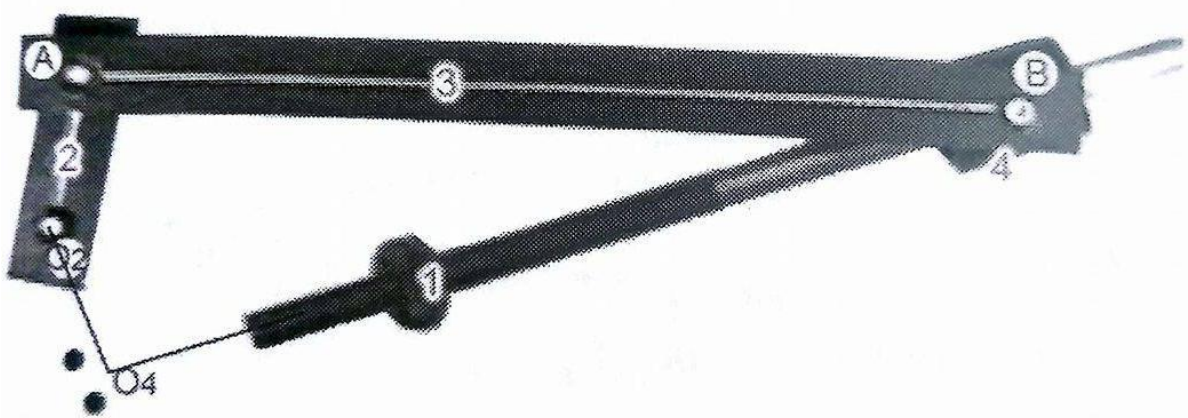


Imagen 9. Mecanismo manivela corredera. [12]



### 2.6.1 Corredera

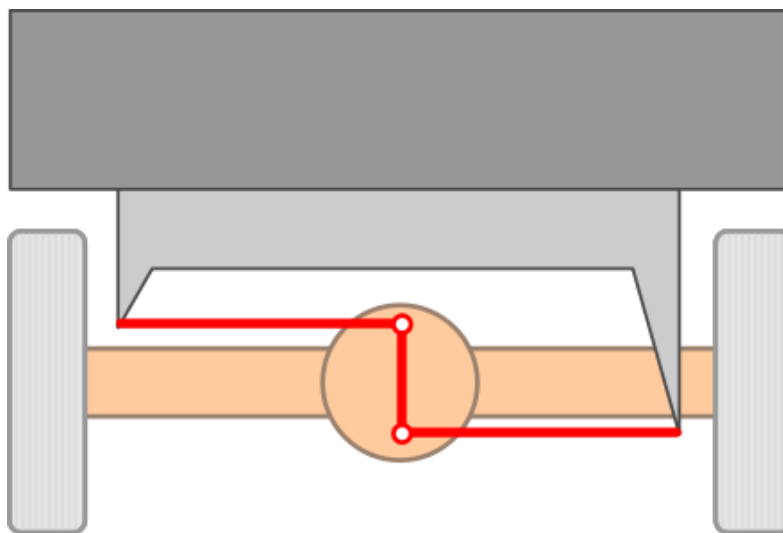
Es fabricado por medio de un cojinete que requiere un cuidadoso maquinado y una ranura o barra recta que es escogido por el cliente. La lubricación es complicada de mantener ya que no es geoméricamente capturado, por mismo se debe de aplicar en un baño de aceite.

### 2.7 Mecanismos para el traslado de personas

Son mecanismos los cuales se utilizan en un sistema general para poder trasladar a una persona, estos sistemas como lo son los mecanismos de cuatro barras o corredera manivela cumplen cierta función de esfuerzo, velocidad y aceleración con el objetivo de ejercer con su desplazamiento y así aprovechar su eficiencia.

#### 2.7.1 Mecanismo de James Watt.

El mecanismo de James Watt es un sistema de tres barras articuladas donde dos eslabones son idénticos y una de menor longitud, el cual las une a los dos eslabones como se muestra en la Imagen 10. El mecanismo no genera un movimiento rectilíneo exacto, pero el propósito de Watt es generar un arco para una mayor estabilidad. [13]

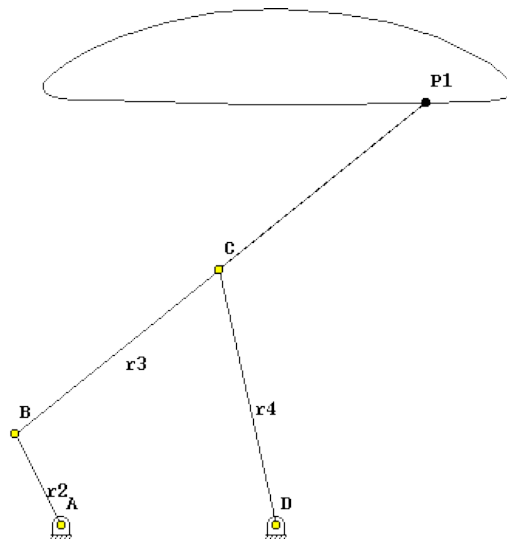


*Imagen 10. Mecanismo de Watt aplicado en la suspensión de un automóvil. [13]*

La aplicación del sistema de Watt se puede encontrar en las suspensiones de un automóvil para generar un contrapeso, gracias al arco que marca el mecanismo; en los motores rotativos se denominan "mecanismo de movimiento paralelo" desarrollado por el mecanismo de Watt, con el mismo principio de empujar y tirar a base del movimiento del sistema.

### 2.7.2 Mecanismo de Chebyshev

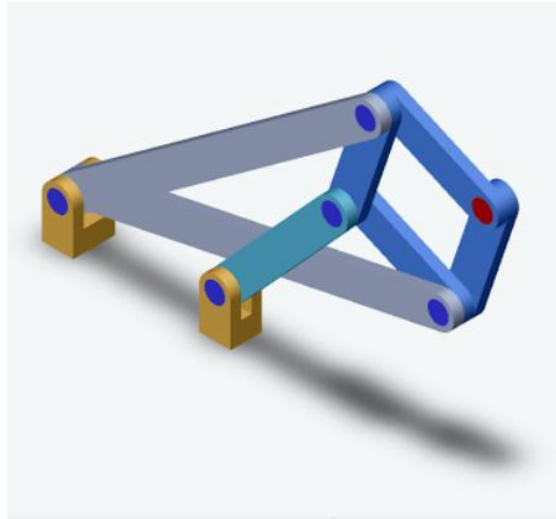
Es un mecanismo de cuatro barras que transfiere el movimiento de rotación de la manivela a un movimiento compuesto de la biela donde las articulaciones de los extremos realizan un movimiento rectilíneo, por lo que es llamado mecanismo lineal. En la Imagen 11 se contempla el movimiento que forma el eslabón acoplador en el punto p1, dependiendo de las dimensiones de  $r_2$ ,  $r_3$  y  $r_4$  se va formando el movimiento elíptico. [14]



*Imagen 11. Mecanismo de Chebyshev. [15]*

Como sistema de traslado depende cuando un pie está en su totalidad de apoyo para ser el soporte del peso, mientras el otro pie va formando el movimiento elíptico provocando el traslado del mecanismo hasta que los dos pies se encuentren apoyado simultáneamente, como se muestra en la Imagen 12.

Diseño y construcción del sistema de movilidad para la Silla Jansen.



*Imagen 12. Pie de traslado del mecanismo Chebyshev. [14]*

### 2.7.3 Mecanismo de Jansen

El modelo del mecanismo de Jansen es semejante a la forma de moverse de la pata de un animal, retomando estas proporciones para poder ser adaptados en otros sistemas artificiales (Imágenes 13) impulsados por una fuerza de entrada que es transmitida por medio de un cigüeñal, poleas y cadenas.



*Imagen 13. Mecanismos construidos por Theo Jansen. [2]*

Diseño y construcción del sistema de movilidad para la Silla Jansen.

El eslabón de apoyo genera un movimiento rotatorio que, a través de su desplazamiento, hace que el mecanismo presente una trayectoria formando un movimiento tipo lagrimal. Dicho movimiento va a ser reflejado en el pie del mecanismo, como se muestra en la Imagen 14.

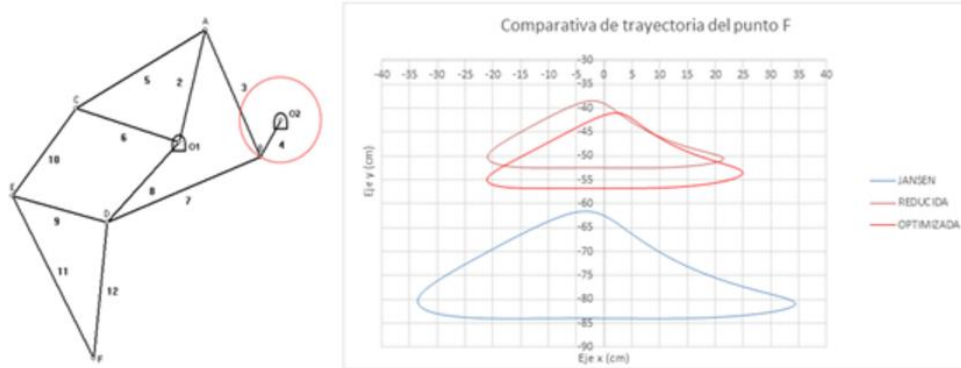


Imagen 14. Movimiento de trayectoria. [5]

### 2.7.3.1 Aplicación del mecanismo de Jansen en la silla.

El prototipo del mecanismo de Jansen fue construido para ser adaptado a una silla para personas con movilidad reducida, donde el mecanismo debe de ser estable en una superficie irregular gracias al movimiento de traslación, el cual es provocado por un cigüeñal rotatorio debido a una fuerza de entrada producida por un motor. Este movimiento hace que los eslabones de la pierna formen una trayectoria de tal forma que el punto de apoyo se encuentre de un punto A hasta un punto B, mientras las demás piernas están en descanso.

El sistema mecánico es controlado por un control electrónico que va a portar el paciente para poder manejar la velocidad y direcciones de la silla. Las direcciones son controladas por dos motores idénticos (Dayton 4ZJ47B) colocado uno en las piernas del sistema izquierdo y otro en las piernas del sistema derecho; así dar dicha dirección, y dependiendo de qué lado se quiera manejar sólo va a ser encendido un motor para poder girar. El tiempo que tome en desplazarse va a depender de la potencia del motor.

La silla Jansen le da la comodidad y eficiencia para que el paciente se pueda transportar, gracias al mecanismo de Jansen le da una posibilidad a la silla que la rueda no puede obtener, dando una mayor amplitud al desplazarse.



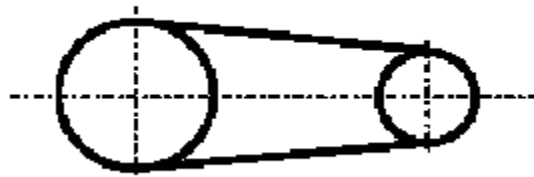
*Imagen 15. Posible prototipo de la silla Jansen.*

## 2.8 Poleas

Los cilindros rodantes con bandas son mecanismos que transfieren niveles de potencia mediante fricción, siempre que la banda presente una sección transversal lo suficientemente amplia para transferir la potencia que necesite el dispositivo. La longitud de las bandas auxilia en la absorción en cargas de choques y amortiguamiento de fuerzas vibrantes, esto es debido a la tensión a lo largo de la banda al ser transmitido de la polea conectada al motor o máquina de arranque a la polea conectada al dispositivo mecánico. Existen diferentes tipos de poleas de transmisión por bandas con diferentes funciones, donde van a actuar varios factores como la posición de las poleas, reducción de potencia, entre otras.

- Transmisión por banda abierta:

Transmisión mejor difundida por poleas paralelas rodando hacia el mismo sentido, la flexión de la correa es normal y el diámetro de la polea menor cumple con un trabajo fundamental. [16]



*Imagen 16. Polea de banda abierta.*

- Transmisión por banda cruzada

Se emplea en arboles paralelos si el giro de estos es en sentido opuesto. [16]



*Imagen 17. Polea por banda cruzada.*

- Transmisión por banda semicruzada

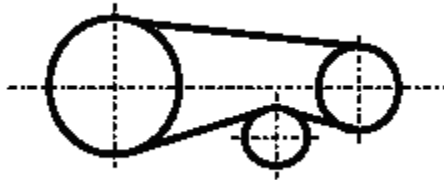
Se emplea cuando los arboles de la polea se cruzan (normalmente a 90°). [16]



*Imagen 18. Polea de banda semicruzada.*

- Transmisión de banda con polea de tensor externo

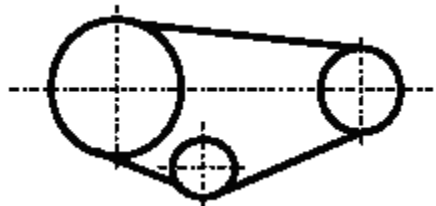
Se utiliza para tensar la banda y aumentar el ángulo de contacto provocando un desplazamiento de las bandas. [16]



*Imagen 19. Polea de banda con tensor externo.*

- Transmisión de banda con polea de tensor interna

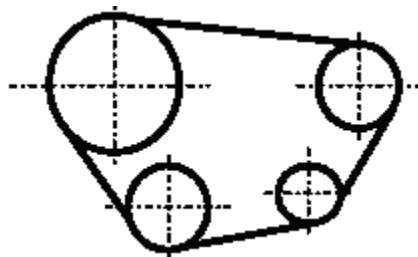
En este caso se disminuye el ángulo de contacto con las poleas, produce una mejora en la vida de la banda. [16]



*Imagen 20. Polea de banda con tensor interna.*

- Transmisión de banda con múltiples poleas

Transmite movimiento desde un árbol a varios árboles que se encuentran en paralelo. [16]



*Imagen 21. Polea de banda con múltiples poleas.*

## 2.9 Estudio de los materiales

### 2.9.1 Acero al carbón

El acero al carbón esta aleado con hierro en proporciones menores de 2% de carbón. La proporción de carbono y el tratamiento térmico del acero determinan las propiedades mecánicas como dureza y resistencia mecánica, en gran parte de las fábricas se controla estrictamente el carbono para posteriormente hacer su tratamiento térmico y finalmente pasar a control de calidad.

De acuerdo a la cantidad de carbono los aceros pueden clasificarse en:

- Aceros de bajo carbono (menos del 0.30%).
- Aceros medios en carbono (entre 0.30 y 0.50%).
- Aceros de alto carbono (más de 0.5%).

El tratamiento térmico se hace dentro de un horno con tiro forzado de aire, una mezcla de mineral y carbón. Las temperaturas durante el proceso van generando que elementos indeseados del mineral se combinen con oxígeno del aire para formar óxidos que flotan en el material fundido, estos óxidos son llamados escorias. Durante el enfriamiento, el carbono retenido interactúa con la estructura cristalina del hierro, deformando en mayor o menor grado con el propósito de hacer el material más o menos duro y/o resistente. [17]

Durante el enfriamiento del acero, la presencia del carbono ha definido una estructura cristalina, por lo que el material es blando y maleable facilitando su mecanización para formar la pieza. Luego se somete a un tratamiento térmico llamado "*temple*", por lo que la pieza se calienta por encima de 800° Celsius y luego se enfría rápidamente. [17]



### 2.9.2 Aluminio

El aluminio es un material muy común aprovechado por el oxígeno y silicio, metal ligero con una densidad de  $2700 \frac{kg}{m^3}$  y con bajo punto de fusión (660°C). Se considera como un material blando y maleable, con una resistencia de tracción de entre 160 – 200 MPa. Para mejorar estas propiedades se alea con otros metales, lo que permite hacer operaciones de fundición y forja, así como la extrusión del material. [18]

Se utiliza en forma pura, aleados con metales o en compuestos no metálicos, dando la facilidad de su uso, por lo mismo hoy en día sólo es superado por el hierro y el acero, provocando un mayor mecanizado para las piezas de aluminio, donde las fuerzas de corte es menor que en el caso del acero.

## CAPITULO 3. DESARROLLO DEL PROYECTO.

### 3.1 Desarrollo

Para el desarrollo del proyecto de la silla Jansen, se utilizaron dos programas que pudieran diseñar y simular, con la finalidad de obtener los resultados tomando en cuenta que se tiene la habilidad de interpretar las gráficas, imágenes o alguna tabla para el análisis de resultados y así es como se realizó el resultado del prototipo.

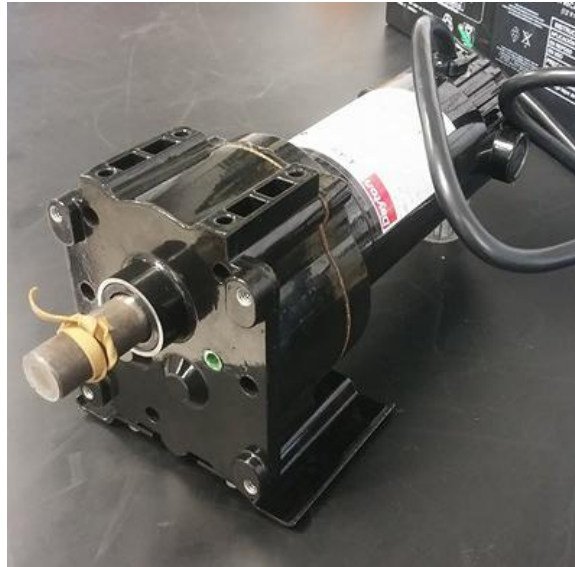
Para continuar con el desarrollo de la silla Jansen cabe mencionar que en el transcurso del proyecto se modificaron las dimensiones planteadas en los objetivos, por lo cual se tuvo que rediseñar el mecanismo, el cual ya se había encontrado y como nuevos parámetros de dimensionamiento se obtuvo que contará con una longitud lateral menor a 80 cm, un ancho menor de 65 cm y una altura menor de 50 cm.

### 3.2 Características del motor y batería

El diseño que se elaboró fue con base en las características dadas del motor y la batería, donde las dimensiones de dichos elementos abarcan ciertas dimensiones que obliga al mecanismo a cumplir con ciertas características para no atrofiar el movimiento y la resistencia mecánica del mecanismo.

Se propuso el motor reductor de engranes marca Dayton, cuenta con la torsión y potencia suficiente para el movimiento del mecanismo, ubicados en paralelo entre sí, y conectados por medio de poleas dentadas para cada mecanismo.

Diseño y construcción del sistema de movilidad para la Silla Jansen.



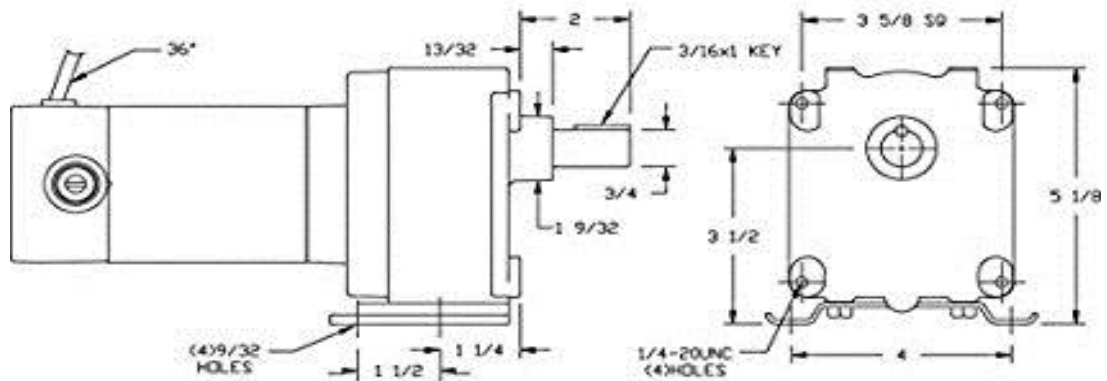
*Imagen 22. Motor para prototipo.*

Características del motor:

Motor Dayton de engranaje de corriente directa.

MODELO (4ZJ47B)

- Potencia: 1/8 hp
- Revoluciones: 64 RPM
- Corriente: 5.45 amps
- Voltaje: 24 volts DC
- Torque: 113 in-lbs



*Imagen 23. Dimensiones del motor. [18]*

Diseño y construcción del sistema de movilidad para la Silla Jansen.

Los motores dependen de dos baterías, conectadas en serie para poder dar el voltaje necesario a los motores y ponerlos a funcionar.



Imagen 24. Batería para los motores.

Características de batería:

Batería recargable.

Tabla 1. Descripción de la batería.

Aplicación	Voltaje	Corriente
En reposo	13.6 -13.8 V CD	Sin limite
En uso	14.5 -14.9 V CD	6.8 A Máx.

### 3.3 Dimensionamiento de los eslabones

Para realizar este proyecto y derivado de uno de los objetivos que fue cumplir con las dimensiones establecidas se requirió de un software que mostrara el comportamiento del mecanismo Jansen.

Para ello se utilizó un programa en 2D llamado WorkingModel, ya que este software logra mostrar el mecanismo de forma lateral, su altura y el comportamiento del mismo, es decir, muestra las dimensiones que tiene en forma estática así como la dinámica de los eslabones. Proyecta la amplitud máxima que alcanza para saltar obstáculos y finalmente se observa el comportamiento lineal que realiza cuando se encuentra contra el suelo.

De entre las simulaciones realizadas del mecanismo Jansen se eligió una para manufacturar, la cual tiene una medida de 78 cm. de largo por 44 cm de alto.

El diseño del mecanismo es un cuanto complejo, ya que al tener muchos eslabones, la resultante o el posicionamiento del eslabón final es dependiente a cada uno de ellos, por lo tanto el mecanismo Jansen puede tener un comportamiento muy variado, por ejemplo, la amplitud para evadir objetos, el comportamiento del eslabón de salida contra el suelo, la horizontal que se obtiene.

A continuación se muestran algunos diseños realizados en WorkingModel, los cuales permitieron encontrar el diseño ideal del mecanismo requerido para la silla y a su vez cumpliera con los objetivos planteados. Se tomaron algunas letras como referencia para denominar los eslabones que conforma el mecanismo, y como base se utilizó el siguiente diagrama:

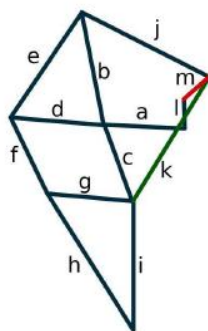


Imagen 25. Mecanismo Theo Jansen.

### 3.3.1 Diseño 1

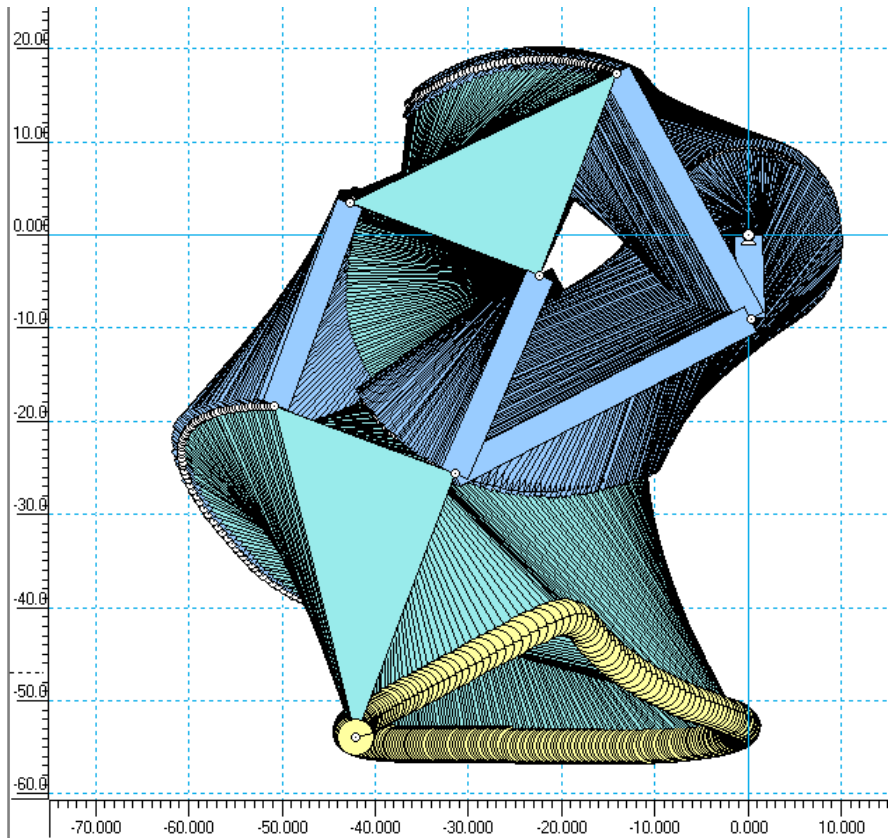


Imagen 26. Diseño 1 (cotas en cm)

Tabla 2. Cotas del diseño 1.

BARRA	LONGITUD (cm)
a	22
b	23
c	23.2
d	22
e	31.828
f	23.2
g	20.5
h	36.5
i	30.2
j	30
k	35.9
l	4
m	9

Altura del paso (cm)
14

Distancia recorrida (cm)
33

Ventajas
Presenta una estabilidad considerable, así como la altura de paso

Desventajas
El tamaño de los eslabones son grandes

### 3.3.2 Diseño 2

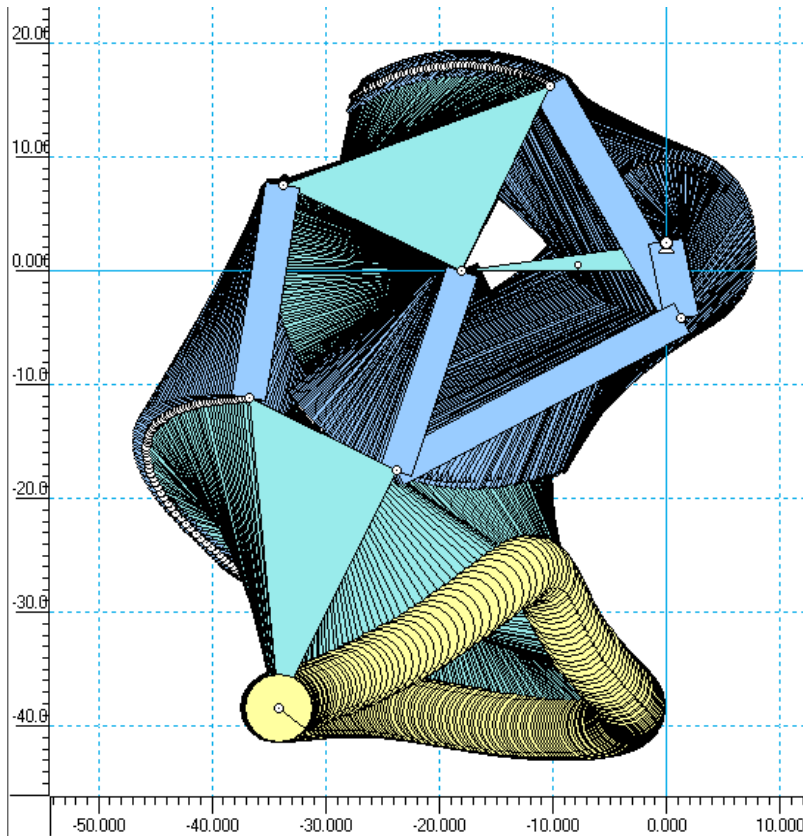


Imagen 27. Diseño 2 (cotas en cm)

Tabla 3. Cotas del diseño 2.

BARRA	LONGITUD (cm)
a	18
b	18
c	18.5
d	17.5
e	25.105
f	18.9
g	15
h	29.155
i	25
j	23.5
k	28.5
l	2
m	6.8

Altura del paso (cm)
12

Distancia recorrida (cm)
15

Ventajas
Buena proporción entre las dimensiones de los eslabones y la altura de paso

Desventajas
Poco apoyo en el suelo lo hace inestable

### 3.3.3 Diseño 3

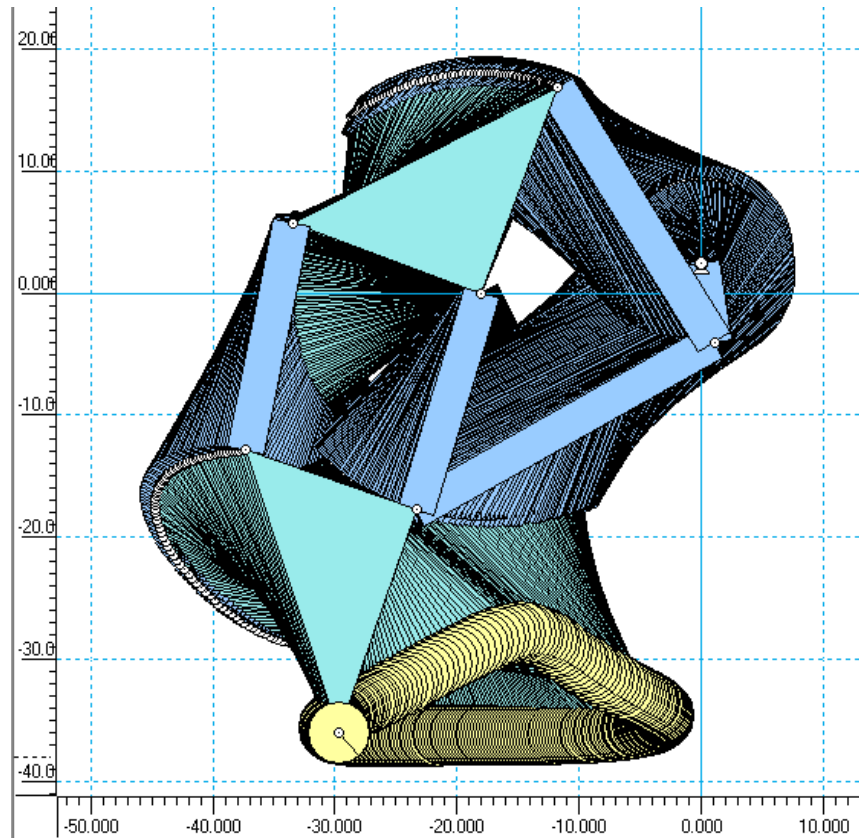


Imagen 28. Diseño 3 (cotas en cm)

Tabla 4. Cotas del diseño 3.

BARRA	LONGITUD (cm)
A	18
B	18
C	18.5
D	16.5
E	24.418
F	19
G	14.8
H	24.4
I	19.4
J	24.5
K	28
L	6.6
M	2.5

Altura del paso (cm)
9

Distancia recorrida (cm)
20

Ventajas
Diseño estable y con una altura de paso aceptable

Observación
Este diseño se pretendía realizar para las medidas planteadas inicialmente, pero se modificaron



### 3.3.4 Diseño 4 (Seleccionado para el prototipo de la silla Jansen)

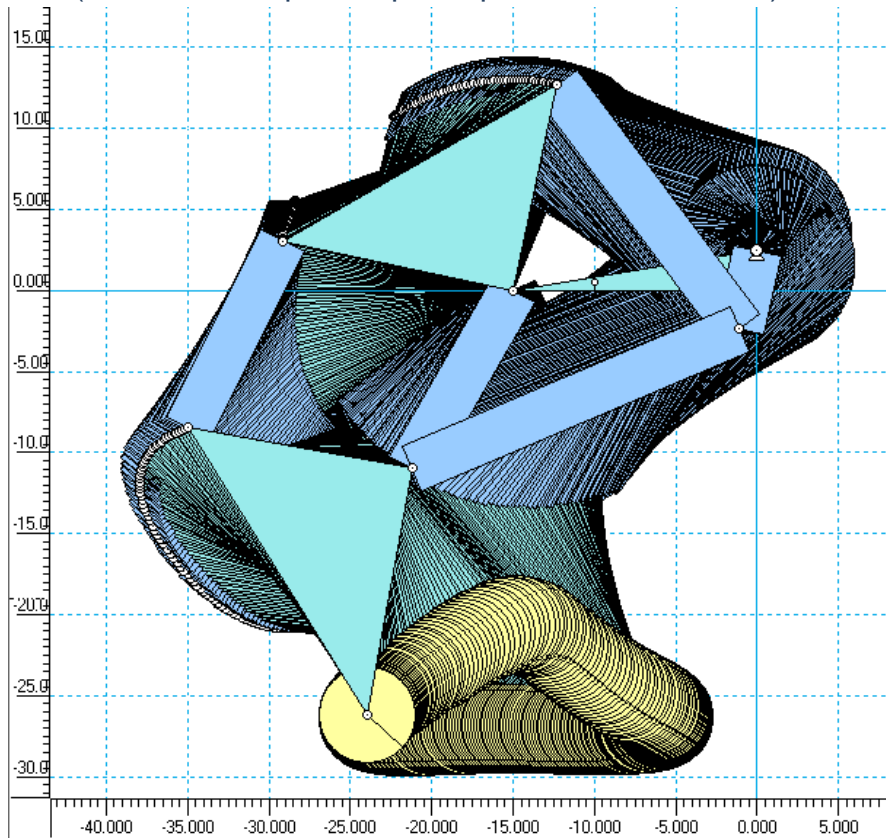


Imagen 29. Diseño 4 (cotas en cm)

Tabla 5. Cotas del diseño 4.

BARRA	LONGITUD (cm)
A	15
B	13
C	12.6
D	14.5
E	19.474
F	12.9
G	14
H	20.887
I	15.5
J	18.8
K	21.9
L	2.5
M	5

Altura del paso (cm)
6.5

Distancia recorrida (cm)
16

Ventajas
Presenta una buena estabilidad y lo mejor es la línea recta que genera contra el suelo, pero su altura de paso es un poco corta

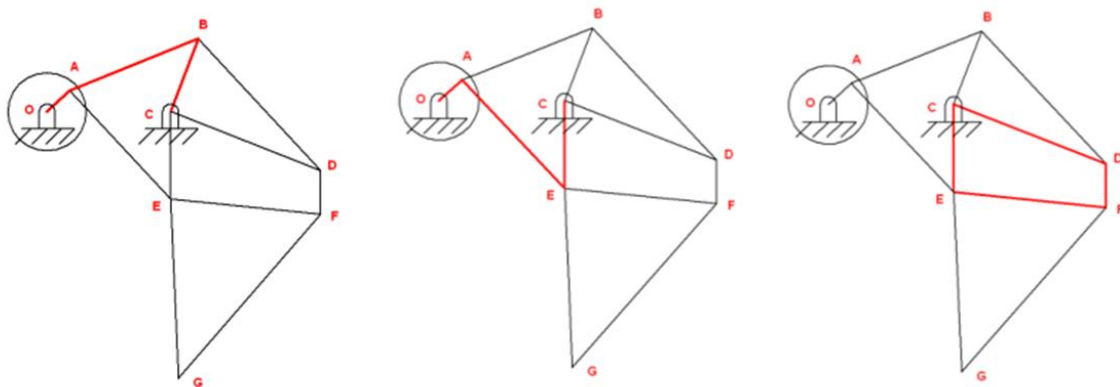
Observación
Con base del presente diseño, se tomaron las dimensiones de los eslabones para la realización del prototipo de la silla Jansen

### 3.4 Análisis cinemático

Una vez obtenidas las medidas de los eslabones se continuó con el análisis cinemático del mecanismo Jansen para evaluar el comportamiento que tiene con las medidas propuestas y las velocidades que se generan con los motores proporcionados por la Universidad. Finalmente se grafican los resultados de cada uno de los eslabones.

Los motorreductores DC que se le adaptaron al mecanismo tenían por características, una velocidad de 60 rpm y un torque de 1/8HP. En esta ocasión no se realizó una selección de motor, ya que los motores se habían comprado con anterioridad y eran a los que se debía ajustar el prototipo, por lo que se decidió hacer una configuración de poleas y así poder aumentar al doble la velocidad de salida del motorreductor para optimizar un poco más el comportamiento de la silla. Los resultados que se obtuvieron se grafican para cada eslabón.

El mecanismo Jansen se analiza segmentándolo en tres cadenas cinemáticas simples o en tres cuadriláteros (imagen 30). Una vez seccionados, se analizan uno por uno para obtener los resultados correspondientes de cada eslabón.



*Imagen 30. Análisis del mecanismo Jansen*

### 3.4.1 Cadena cinemática 1

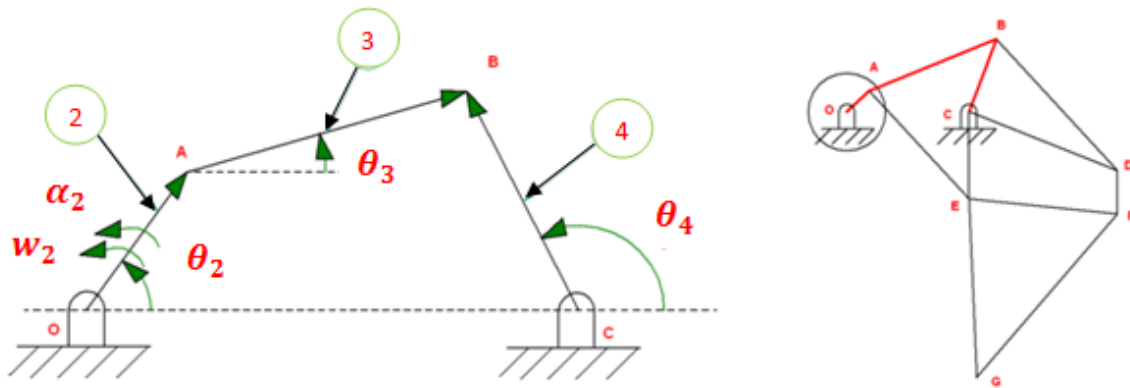


Imagen 31. Cadena cinemática 1.

Datos de entrada

$$\omega_2 = \text{Constante} \quad (\text{Velocidad angular})$$

$$\alpha_2 = 0 \quad (\text{Aceleración angular})$$

Ecuaciones de velocidad angular:

$$\omega_3 = -\omega_2 \left( \frac{OA}{AB} \right) \left[ \frac{\text{Sen}(\theta_4 - \theta_2)}{\text{Sen}(\theta_4 - \theta_3)} \right] \quad (3.1)$$

$$\omega_4 = \omega_2 \left( \frac{OA}{CB} \right) \left[ \frac{\text{Sen}(\theta_2 - \theta_3)}{\text{Sen}(\theta_4 - \theta_3)} \right] \quad (3.2)$$

Ecuaciones de aceleración angular:

$$\alpha_3 = -\frac{OA}{AB} \cdot \left[ \alpha_2 \cdot \frac{\text{Sen}(\theta_4 - \theta_2)}{\text{Sen}(\theta_4 - \theta_3)} + \omega_2 \cdot \frac{\text{Sen}(\theta_4 - \theta_3) \cdot \text{Cos}(\theta_4 - \theta_2) \cdot (\omega_4 - \omega_2) - \text{Sen}(\theta_4 - \theta_2) \cdot \text{Cos}(\theta_4 - \theta_3) \cdot (\omega_4 - \omega_3)}{\text{sen}^2(\theta_4 - \theta_3)} \right] \quad (3.3)$$

$$\alpha_4 = \frac{OA}{CB} \cdot \left[ \alpha_2 \cdot \frac{\text{Sen}(\theta_2 - \theta_3)}{\text{Sen}(\theta_4 - \theta_3)} + \omega_2 \cdot \frac{\text{Sen}(\theta_4 - \theta_3) \cdot \text{Cos}(\theta_2 - \theta_3) \cdot (\omega_2 - \omega_3) - \text{Sen}(\theta_2 - \theta_3) \cdot \text{Cos}(\theta_4 - \theta_3) \cdot (\omega_4 - \omega_3)}{\text{sen}^2(\theta_4 - \theta_3)} \right] \quad (3.4)$$

Diseño y construcción del sistema de movilidad para la Silla Jansen.

Si  $\omega_2$  es constante, entonces  $\alpha_2 = 0$  y las ecuaciones de aceleración angular quedan de la siguiente manera:

$$\alpha_3 = -\frac{OA}{AB} \cdot \omega_2 \cdot \left[ \frac{\text{Sen}(\theta_4 - \theta_3) \cdot \text{Cos}(\theta_4 - \theta_2) \cdot (\omega_4 - \omega_2) - \text{Sen}(\theta_4 - \theta_2) \cdot \text{Cos}(\theta_4 - \theta_3) \cdot (\omega_4 - \omega_3)}{\text{sen}^2(\theta_4 - \theta_3)} \right] \quad (3.5)$$

$$\alpha_4 = \frac{OA}{CB} \cdot \omega_2 \cdot \left[ \frac{\text{Sen}(\theta_4 - \theta_3) \cdot \text{Cos}(\theta_2 - \theta_3) \cdot (\omega_2 - \omega_3) - \text{Sen}(\theta_2 - \theta_3) \cdot \text{Cos}(\theta_4 - \theta_3) \cdot (\omega_4 - \omega_3)}{\text{sen}^2(\theta_4 - \theta_3)} \right] \quad (3.6)$$

Gráficas de los resultados para la cadena cinemática 1:

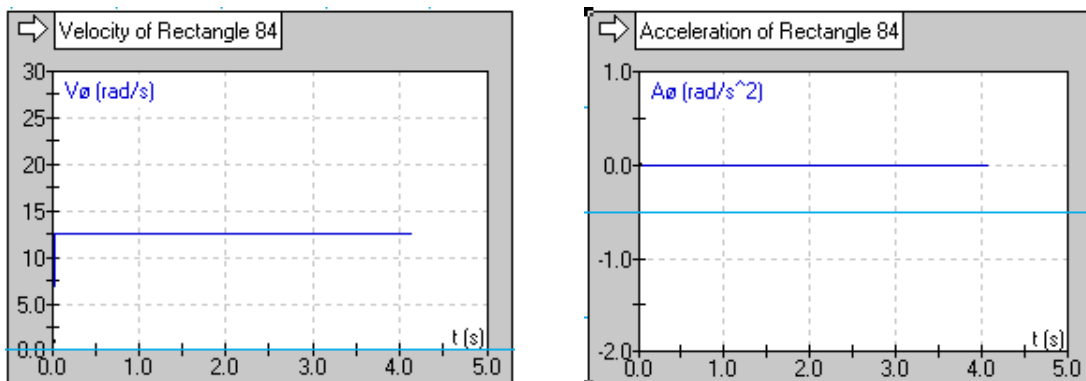


Imagen 32. Velocidad angular  $\omega_2$  y aceleración angular  $\alpha_2$  del eslabón 2.

Diseño y construcción del sistema de movilidad para la Silla Jansen.

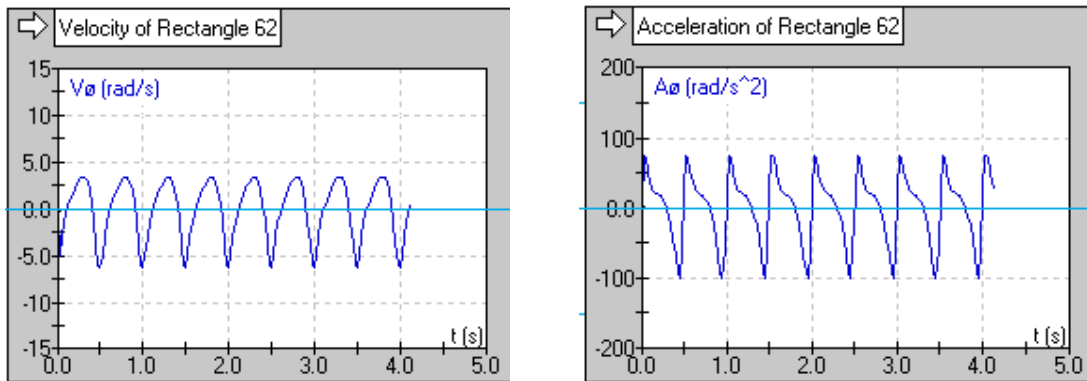


Imagen 33. Velocidad angular  $\omega_3$  y aceleración angular  $\alpha_3$  del eslabón 3.

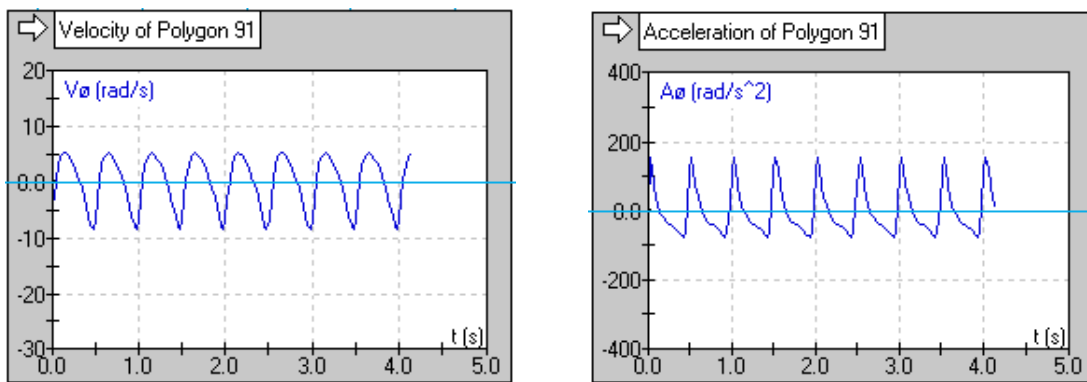


Imagen 34. Velocidad angular  $\omega_4$  y aceleración angular  $\alpha_4$  del eslabón 4.

### 3.4.2 Cadena cinemática 2

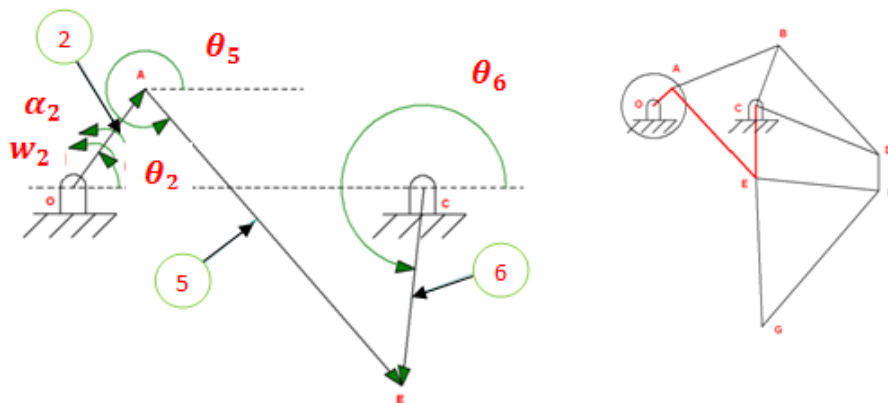


Imagen 35. Cadena cinemática 2.

Datos de entrada

$$\omega_2 = \text{Constante} \quad (\text{Velocidad angular})$$

$$\alpha_2 = 0 \quad (\text{Aceleración angular})$$

Ecuaciones de velocidad angular:

$$\omega_5 = -\omega_2 \left( \frac{OA}{AE} \right) \left[ \frac{\text{Sen}(\theta_6 - \theta_2)}{\text{Sen}(\theta_6 - \theta_5)} \right] \quad (3.7)$$

$$\omega_6 = \omega_2 \left( \frac{OA}{CE} \right) \left[ \frac{\text{Sen}(\theta_2 - \theta_5)}{\text{Sen}(\theta_6 - \theta_5)} \right] \quad (3.8)$$

Ecuaciones de aceleración angular:

$$\alpha_5 = -\frac{OA}{AE} \cdot \left[ \alpha_2 \cdot \frac{\text{Sen}(\theta_6 - \theta_2)}{\text{Sen}(\theta_6 - \theta_5)} + \omega_2 \cdot \frac{\text{Sen}(\theta_6 - \theta_5) \cdot \text{Cos}(\theta_6 - \theta_2) \cdot (\omega_6 - \omega_2) - \text{Sen}(\theta_6 - \theta_2) \cdot \text{Cos}(\theta_6 - \theta_5) \cdot (\omega_6 - \omega_5)}{\text{sen}^2(\theta_6 - \theta_5)} \right] \quad (3.9)$$

$$\alpha_6 = \frac{OA}{CE} \cdot \left[ \alpha_2 \cdot \frac{\text{Sen}(\theta_2 - \theta_5)}{\text{Sen}(\theta_6 - \theta_5)} + \omega_2 \cdot \frac{\text{Sen}(\theta_6 - \theta_5) \cdot \text{Cos}(\theta_2 - \theta_5) \cdot (\omega_2 - \omega_5) - \text{Sen}(\theta_2 - \theta_5) \cdot \text{Cos}(\theta_6 - \theta_5) \cdot (\omega_6 - \omega_5)}{\text{sen}^2(\theta_6 - \theta_5)} \right] \quad (3.10)$$

Si  $\omega_2$  es constante, entonces  $\alpha_2 = 0$  y las ecuaciones de aceleración angular quedan de la siguiente manera:

$$\alpha_5 = -\frac{OA}{AE} \cdot \omega_2 \cdot \left[ \frac{\text{Sen}(\theta_6 - \theta_5) \cdot \text{Cos}(\theta_6 - \theta_2) \cdot (\omega_6 - \omega_2) - \text{Sen}(\theta_6 - \theta_2) \cdot \text{Cos}(\theta_6 - \theta_5) \cdot (\omega_6 - \omega_5)}{\text{sen}^2(\theta_6 - \theta_5)} \right] \quad (3.11)$$

Diseño y construcción del sistema de movilidad para la Silla Jansen.

$$\alpha_6 = \frac{OA}{CE} \cdot \omega_2 \cdot \left[ \frac{\text{Sen}(\theta_6 - \theta_5) * \text{Cos}(\theta_2 - \theta_5) * (\omega_2 - \omega_5) - \text{Sen}(\theta_2 - \theta_5) * \text{Cos}(\theta_6 - \theta_5) * (\omega_6 - \omega_5)}{\text{sen}^2(\theta_6 - \theta_5)} \right] \quad (3.12)$$

Gráficas de los resultados para la cadena cinemática 2:

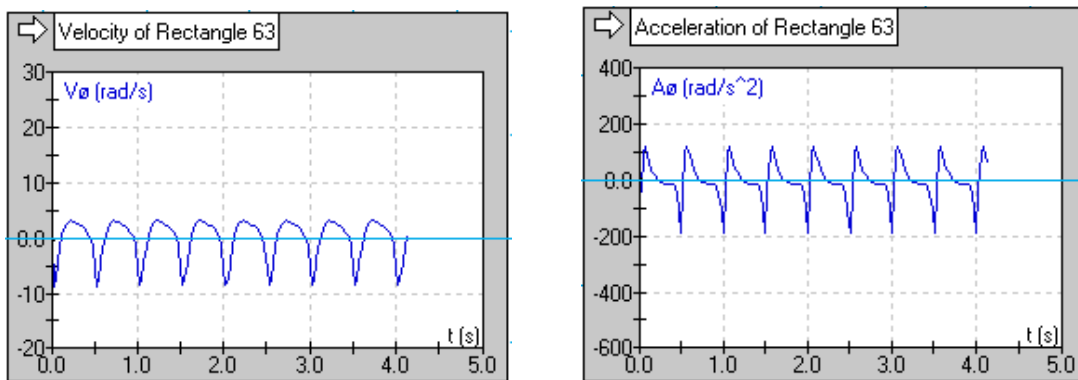


Imagen 36. Velocidad angular  $\omega_5$  y aceleración angular  $\alpha_5$  del eslabón 5.

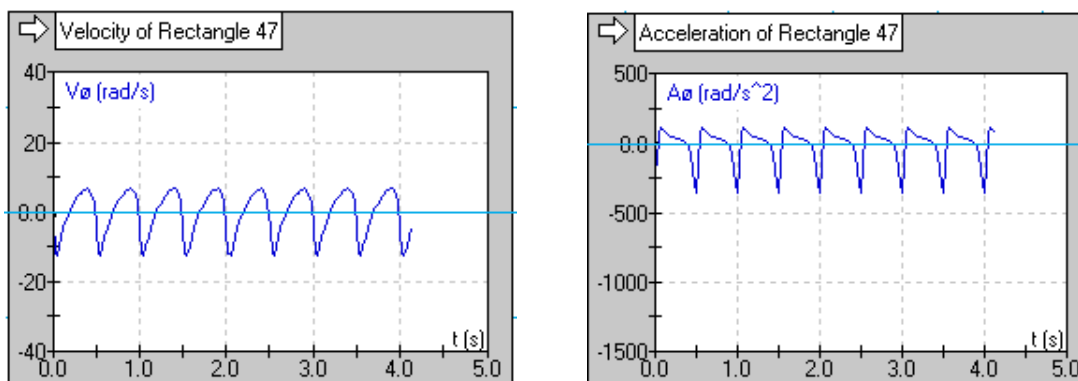


Imagen 37. Velocidad angular  $\omega_6$  y aceleración angular  $\alpha_6$  del eslabón 6.

### 3.4.3 Cadena cinemática 3

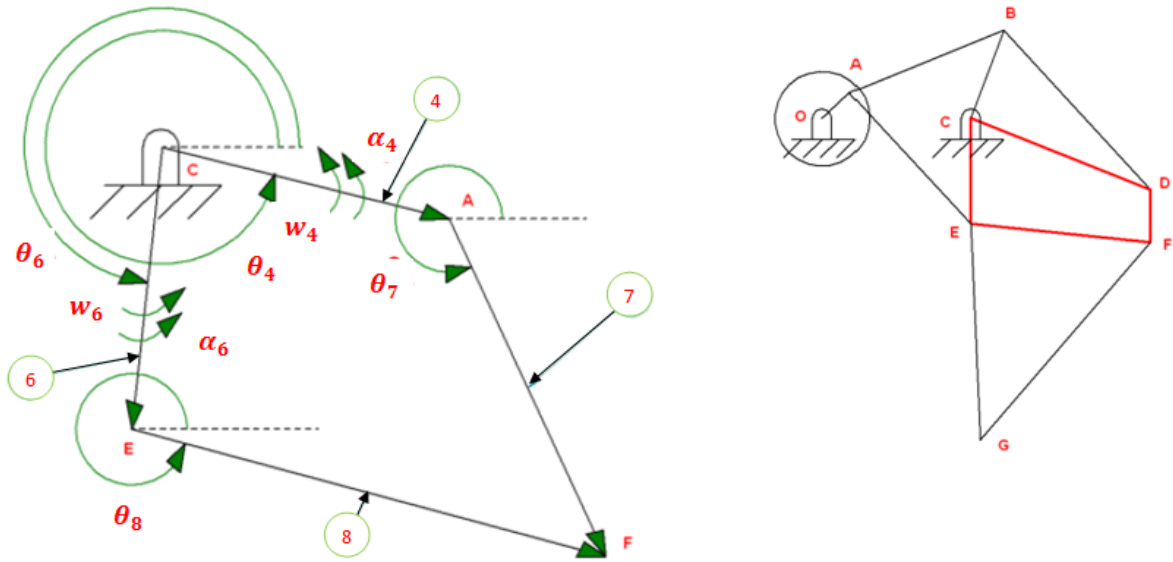


Imagen 38. Cadena cinemática 3.

Datos de entrada

$$\omega_4, \omega_6, \alpha_4, \alpha_6$$

Para el análisis de esta cadena cinemática no se pueden utilizar los principios del mecanismo de cuatro barras, ya que no se cuenta con bancada, por lo cual se requirieron ecuaciones vectoriales en cada uno de los puntos que la conforman, obteniendo como resultado ecuaciones de velocidad.

Ecuaciones de velocidad angular:

$$\omega_8 = \omega_6 \left( \frac{CE}{EF} \right) \frac{\left( \frac{\cos\theta_6 - \text{Sen}\theta_6}{\cos\theta_7 - \text{Sen}\theta_7} \right)}{\left( \frac{\text{Sen}\theta_8 - \text{Cos}\theta_8}{\text{Sen}\theta_7 - \text{Cos}\theta_7} \right)} + \omega_4 \left( \frac{CD}{EF} \right) \frac{\left( \frac{\cos\theta_{4^*} - \text{Sen}\theta_{4^*}}{\cos\theta_7 - \text{Sen}\theta_7} \right)}{\left( \frac{\text{Sen}\theta_8 - \text{Cos}\theta_8}{\text{Sen}\theta_7 - \text{Cos}\theta_7} \right)} \quad (3.13)$$



Diseño y construcción del sistema de movilidad para la Silla Jansen.

$$\omega_7 = \omega_6 \left( \frac{CE}{DF} \right) \left[ \frac{\text{Sen}\theta_6}{\text{Sen}\theta_7} + \frac{\text{Sen}\theta_8}{\text{Sen}\theta_7} * \frac{\left( \frac{\text{Cos}\theta_6 - \text{Sen}\theta_6}{\text{Cos}\theta_7 - \text{Sen}\theta_7} \right)}{\left( \frac{\text{Sen}\theta_8 - \text{Cos}\theta_8}{\text{Sen}\theta_7 - \text{Cos}\theta_7} \right)} \right] + \omega_4 \left( \frac{CD}{DF} \right) \left[ \frac{\text{Sen}\theta_8}{\text{Sen}\theta_7} * \frac{\left( \frac{\text{Cos}\theta_6 - \text{Sen}\theta_6}{\text{Cos}\theta_7 - \text{Sen}\theta_7} \right)}{\left( \frac{\text{Sen}\theta_8 - \text{Cos}\theta_8}{\text{Sen}\theta_7 - \text{Cos}\theta_7} \right)} - \frac{\text{Sen}\theta_4}{\text{Sen}\theta_7} \right] \quad (3.14)$$

Gráficas de los resultados para la cadena cinemática 3:

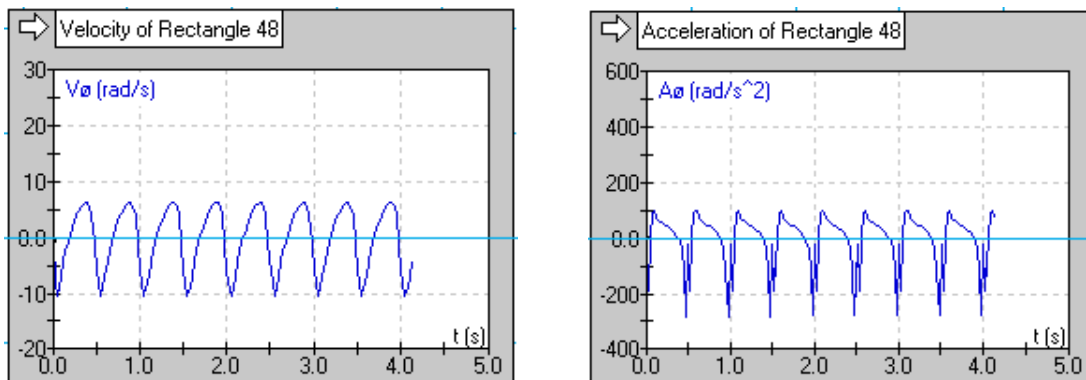


Imagen 39. Velocidad angular  $\omega_7$  y aceleración angular  $\alpha_7$  del eslabón 7.

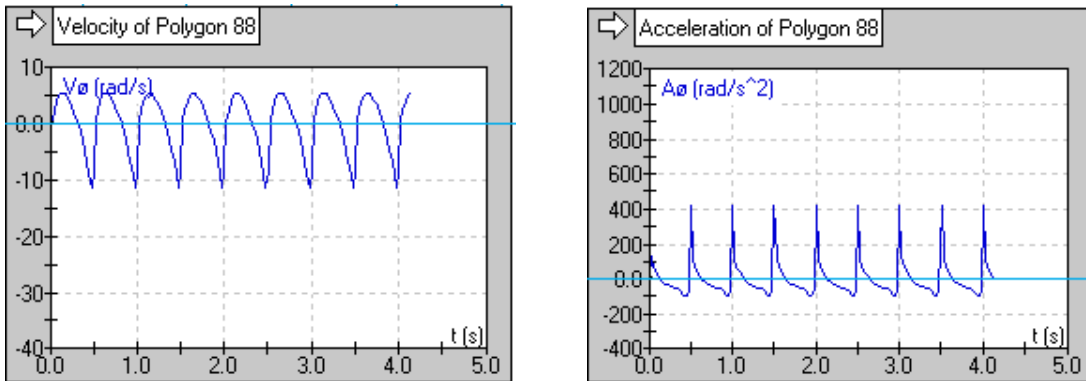


Imagen 40. Velocidad angular  $\omega_8$  y aceleración angular  $\alpha_8$  del eslabón 8.

Diseño y construcción del sistema de movilidad para la Silla Jansen.

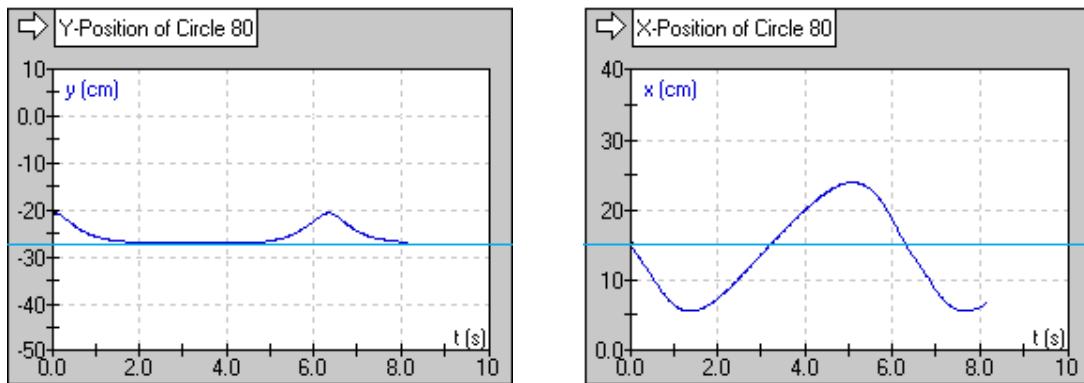


Imagen 41. Desplazamiento que se genera del eslabón final en los ejes Y y X.

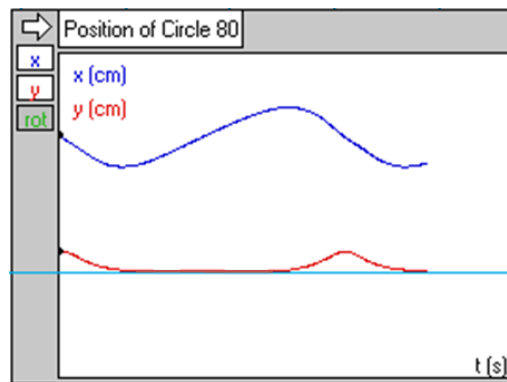


Imagen 42. Desplazamiento que genera del eslabón final en los ejes Y y X acoplados en una sola gráfica.

### 3.5 Diseño de piezas

El siguiente paso consistió en el diseño de los eslabones, de los soportes y sus correspondientes ensambles, los cuales dieron forma al prototipo.

En esta parte del proyecto se toma en cuenta el ancho del mecanismo, pues éste influye en el grosor tanto de los eslabones como en el de otras piezas, esto con la finalidad de no rebasar los 65 cm.

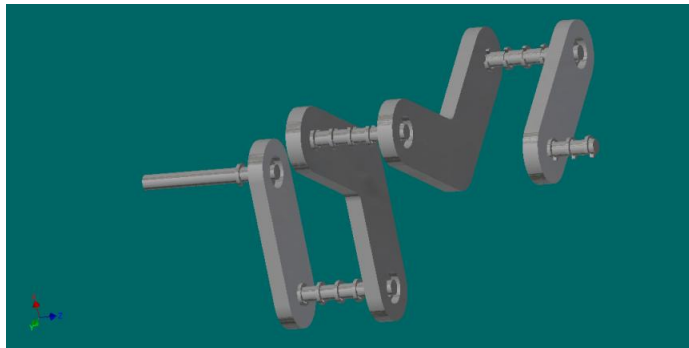
El proyecto estuvo apoyado del programa Inventor para la realización el diseño del mecanismo.

Diseño y construcción del sistema de movilidad para la Silla Jansen.

El ensamblado final se seccionó en tres partes o en tres sub-ensambles. En adelante se muestran seguidos de las piezas que componen a cada una de las partes.

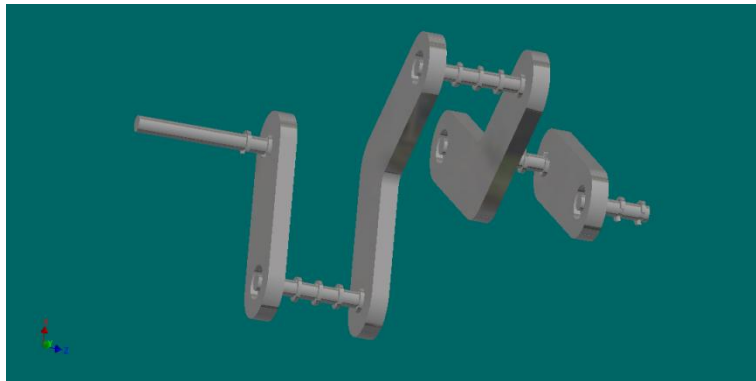
### 3.5.1 Sub – ensamble 1

En el primer sub-ensamble se muestra el eslabón de entrada para los seis pares de piernas, este tiene la función de un cigüeñal, ya que cada eslabón de entrada tiene un desfase de  $120^\circ$ .



*Imagen 43. Cigüeñal derecho.*

Diseño y construcción del sistema de movilidad para la Silla Jansen.

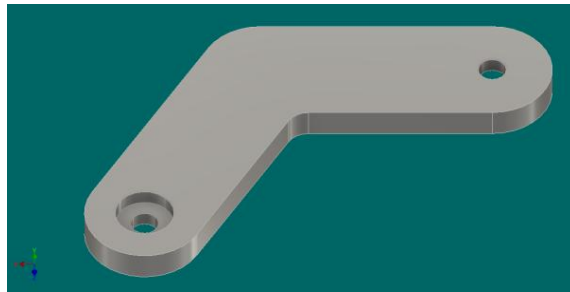


*Imagen 44. Cigüeñal izquierdo.*

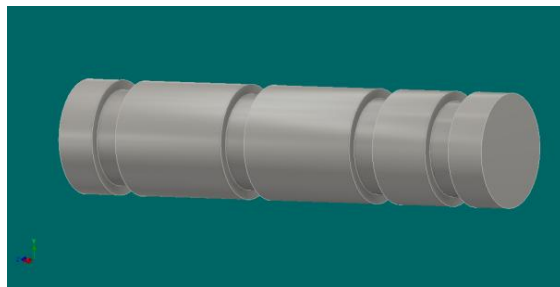
Las piezas que conforman a este cigüeñal son:



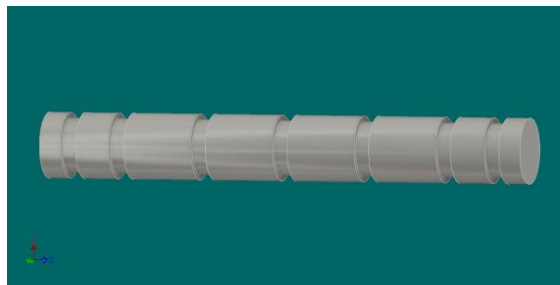
*Imagen 45. Eslabón de cigüeñal*



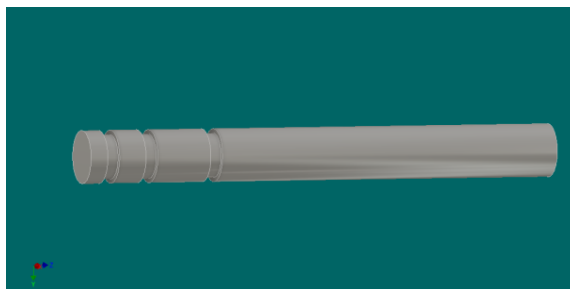
*Imagen 46. Eslabón de cigüeñal desfasado 120°.*



*Imagen 47. Perno 1.*

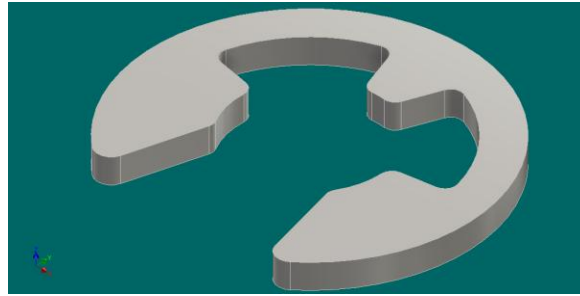


*Imagen 48. Perno 2.*



*Imagen 49. Perno 3.*

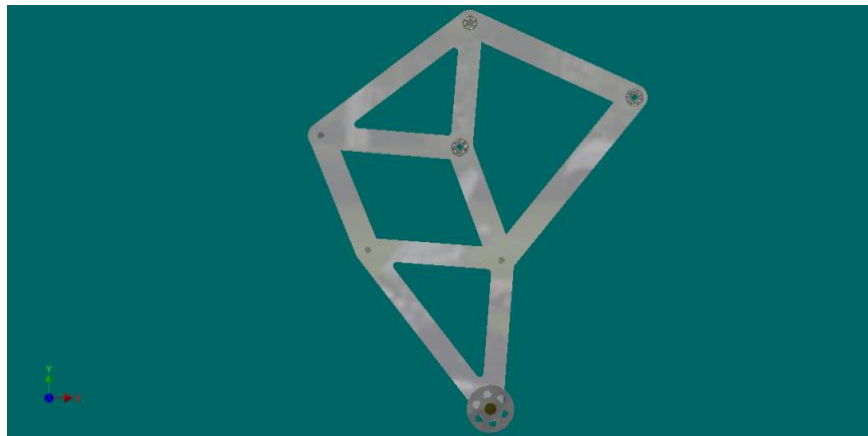
Diseño y construcción del sistema de movilidad para la Silla Jansen.



*Imagen 50. Seguro tipo "e" de 5 mm (comercial)*

### 3.5.2 Sub – ensamble 2.

En este sub-ensamble se encuentran los diseños de los eslabones que conforman al mecanismo Jansen, los cuales se encargan de desplazar al prototipo de la silla.



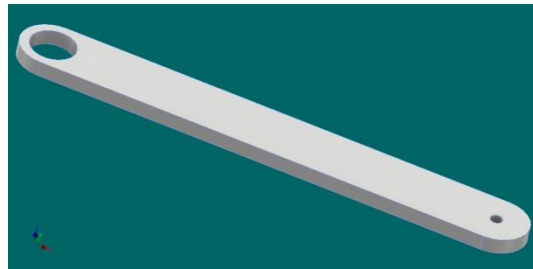
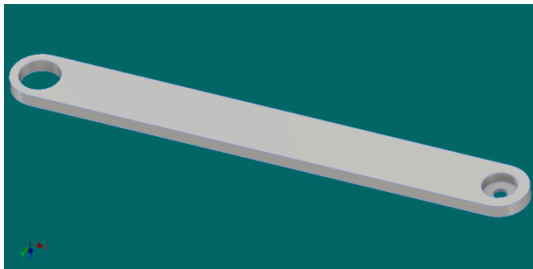
*Imagen 51. Pierna del mecanismo (vista 1).*

Diseño y construcción del sistema de movilidad para la Silla Jansen.

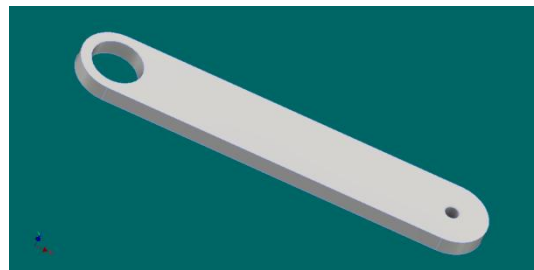
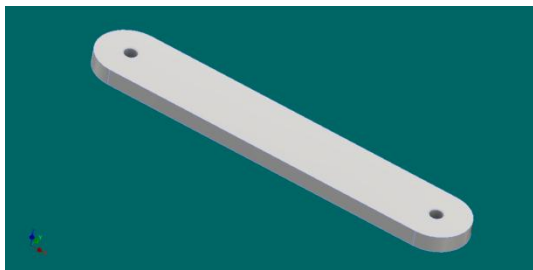


*Imagen 52. Pierna del mecanismo (vista 2).*

Las piezas que conforman al mecanismo Jansen son:

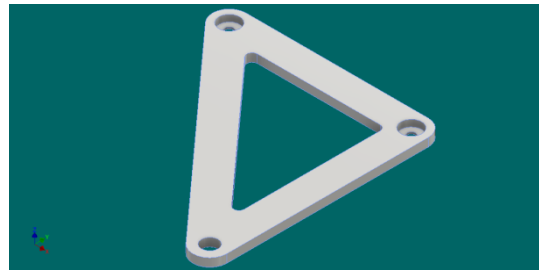
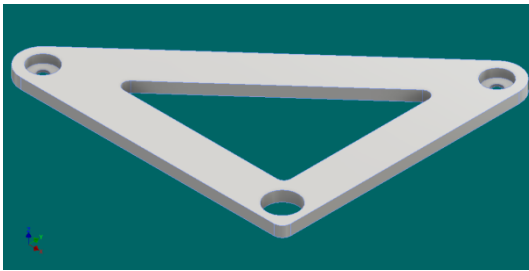


*Imagen 53. Eslabón de 21.9 cm y 18.8 cm*

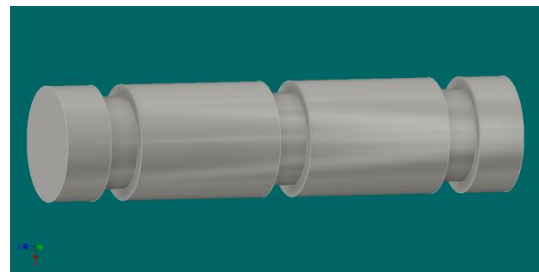
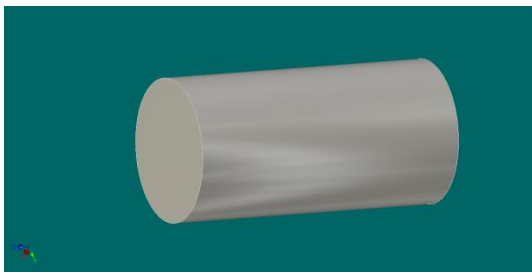


*Imagen 54. Eslabón de 12.9 cm y 12.6 cm*

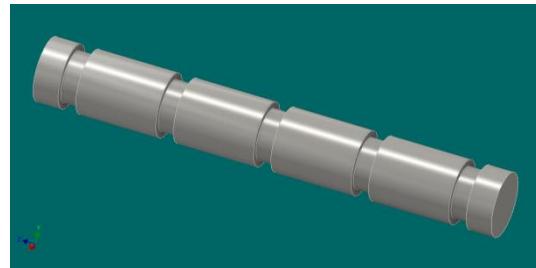
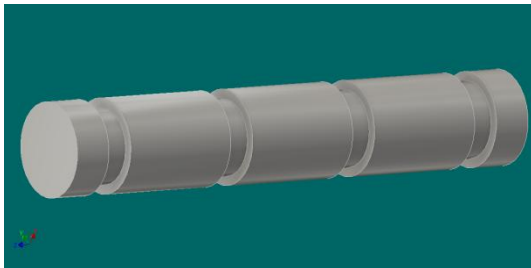
Diseño y construcción del sistema de movilidad para la Silla Jansen.



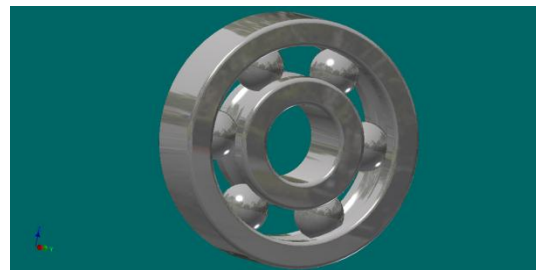
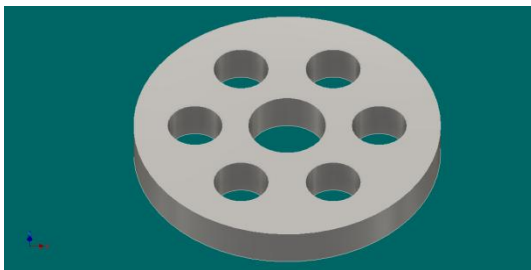
*Imagen 55. Triángulo superior e inferior.*



*Imagen 56. Perno 4 y 5.*



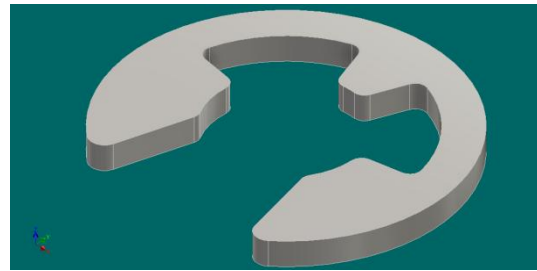
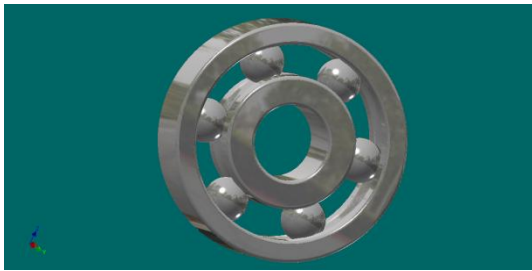
*Imagen 57. Perno 6 y 7.*



*Imagen 58. Apoyo del mecanismo y balero de 5 mm (comercial)*



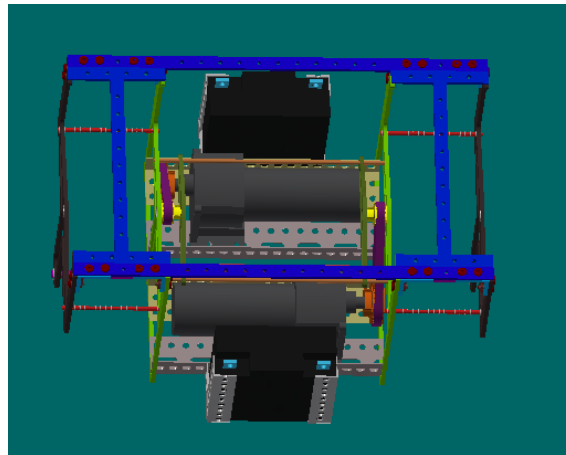
Diseño y construcción del sistema de movilidad para la Silla Jansen.



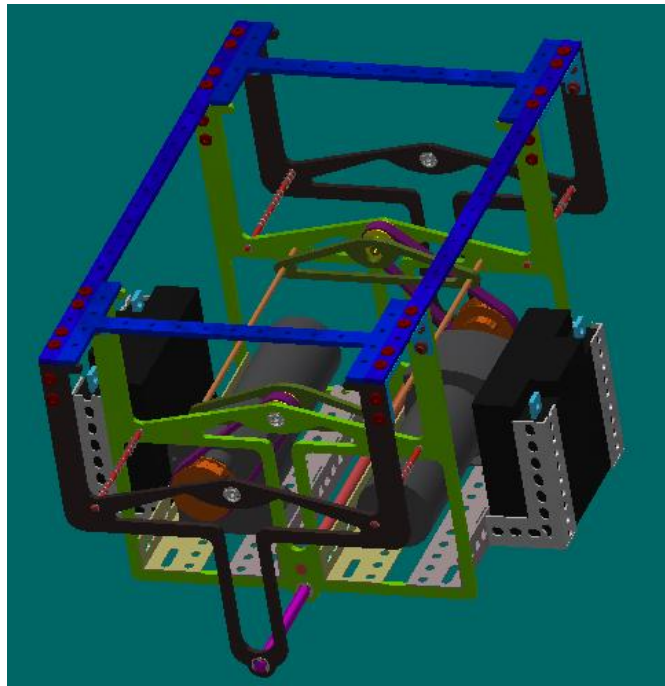
*Imagen 59. Balero de 6 mm (comercial) y seguro tipo "e" de 4 mm (comercial)*

### 3.5.3 Sub - ensamble 3

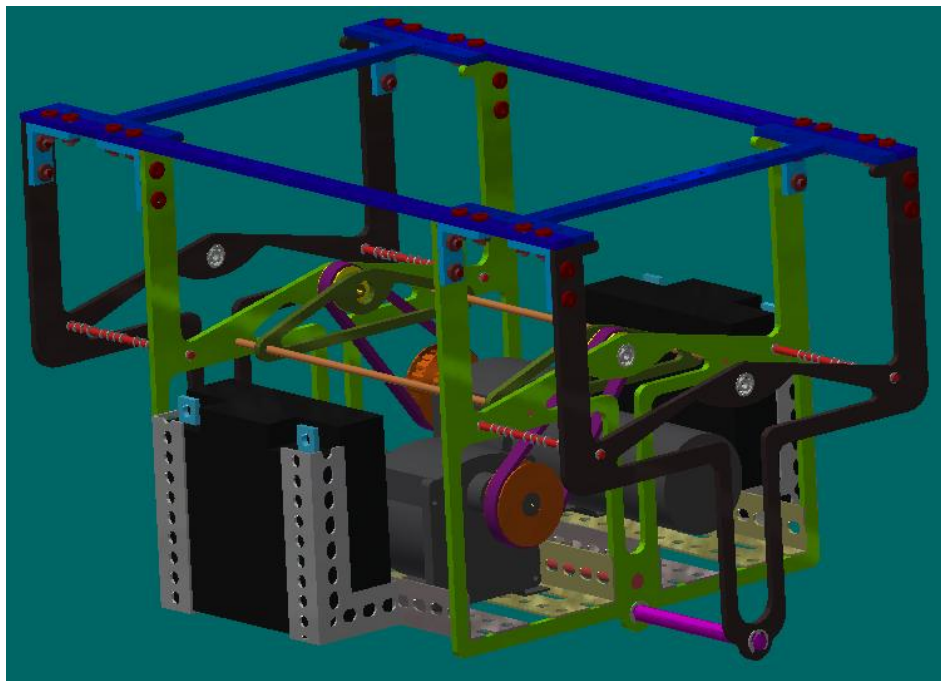
En el último sub-ensamblaje se aprecia la parte fija del mecanismo, la cual soporta la carga externa, es decir, las baterías, motores y principalmente a la persona que se va a transportar. En el ensamble se les dio color, con la finalidad de que se apreciaran mejor, ya que como el ensamble es grande resultaba probable que algunos elementos no se notaran.



*Imagen 60. Base del motor y batería (vista superior)*



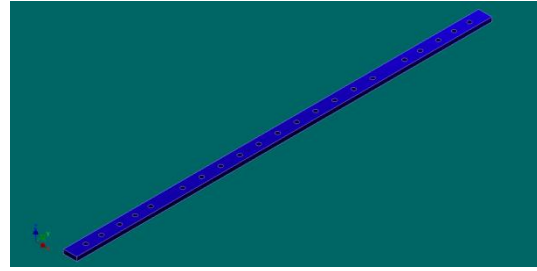
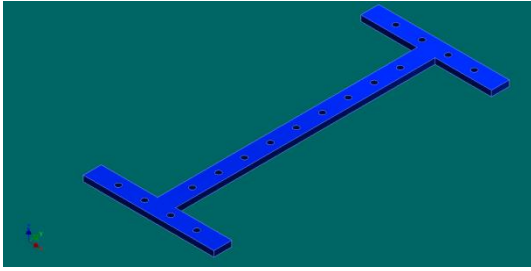
*Imagen 61. Base del motor y batería (vista frontal)*



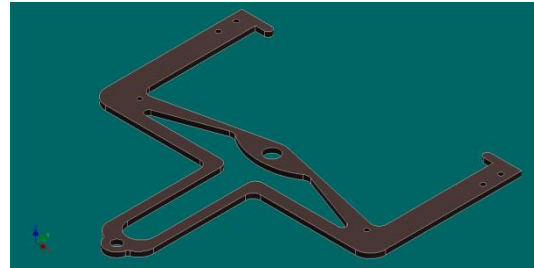
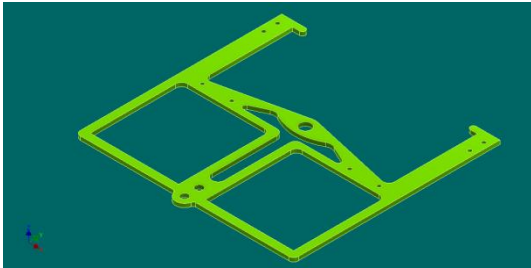
*Imagen 62. Base del motor y batería (vista isométrica)*

Diseño y construcción del sistema de movilidad para la Silla Jansen.

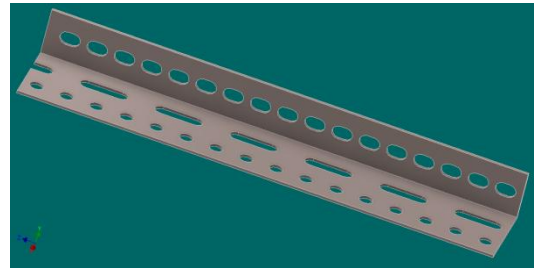
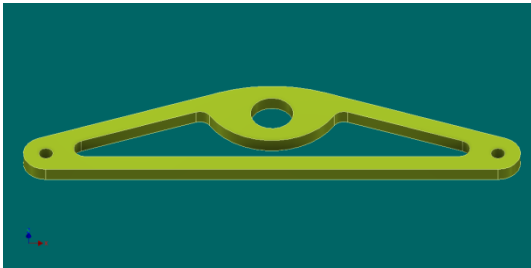
Las piezas que conforman al mecanismo Jansen son:



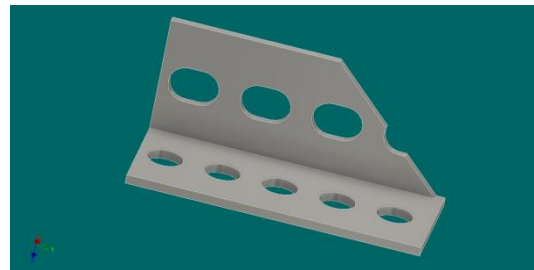
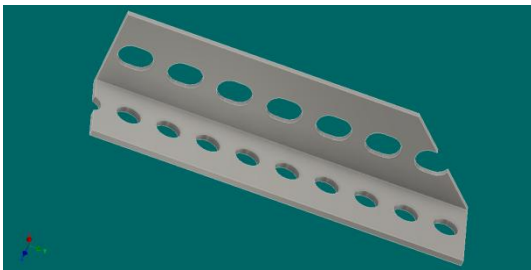
*Imagen 63. Soporte en L y soporte recto.*



*Imagen 64. Base interna y base externa.*

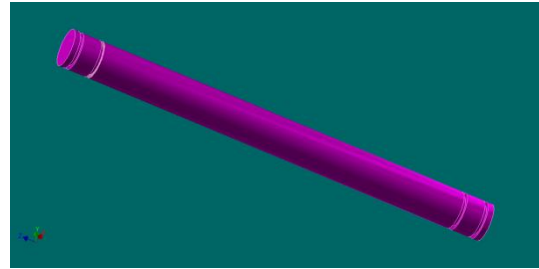
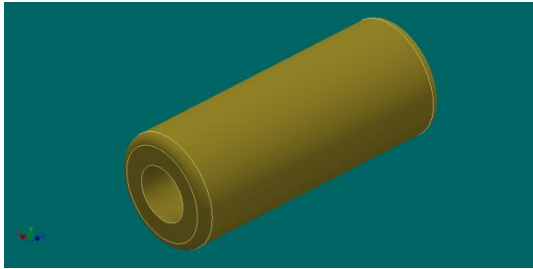


*Imagen 65. Soporte para cigüeñal y ángulo para motor.*

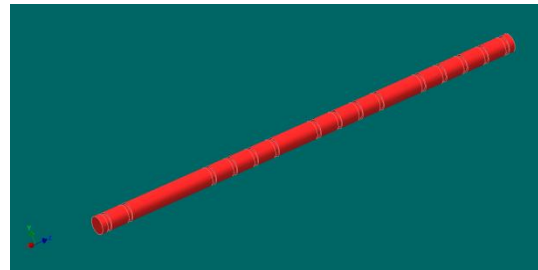
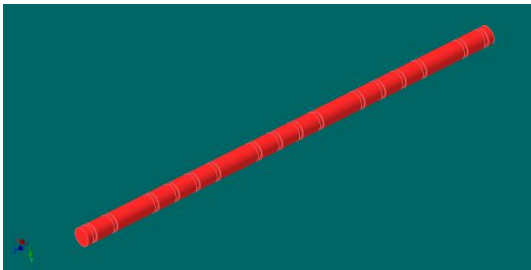


*Imagen 66. Ángulo para soporte de batería.*

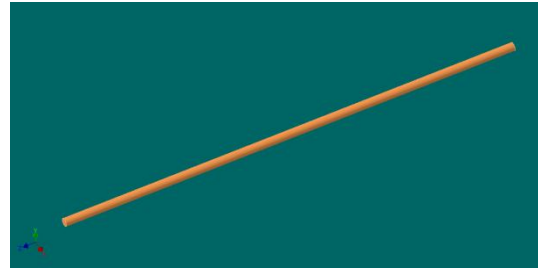
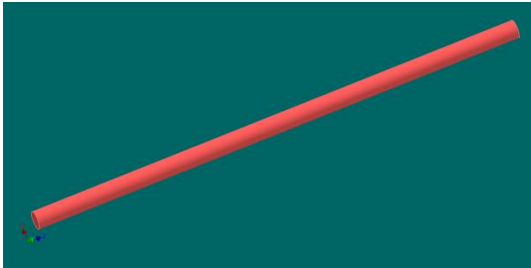
Diseño y construcción del sistema de movilidad para la Silla Jansen.



*Imagen 67. Buje para cigüeñal y perno 8.*



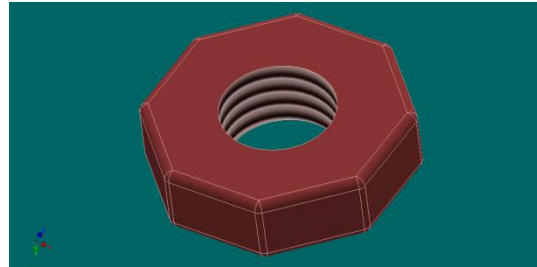
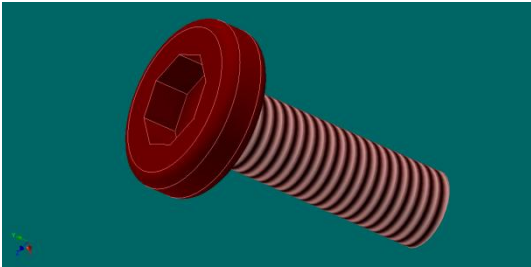
*Imagen 68. Perno 9 y 10*



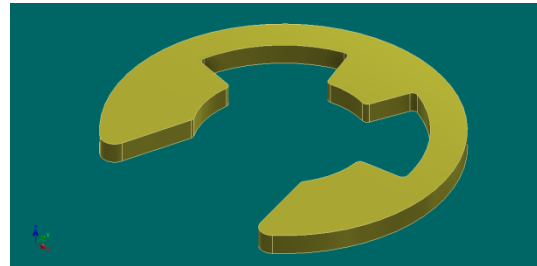
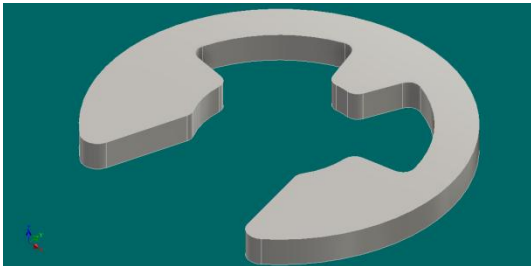
*Imagen 69. Perno 11 y 12.*

Diseño y construcción del sistema de movilidad para la Silla Jansen.

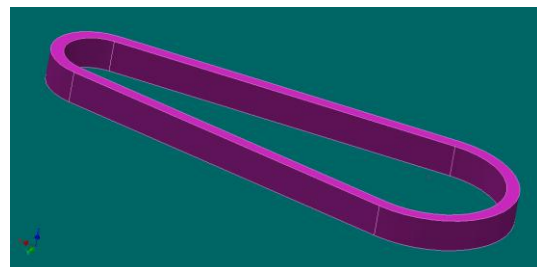
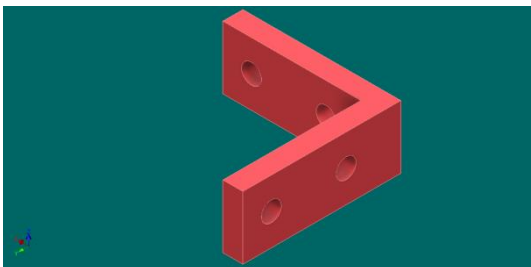
Las siguientes piezas pertenecen al sub-ensamble 3, mismas que se adquirieron por catálogos, los cuales se muestran en el siguiente capítulo.



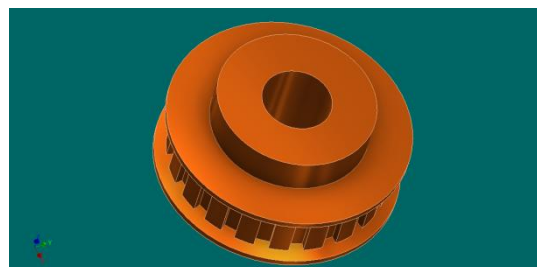
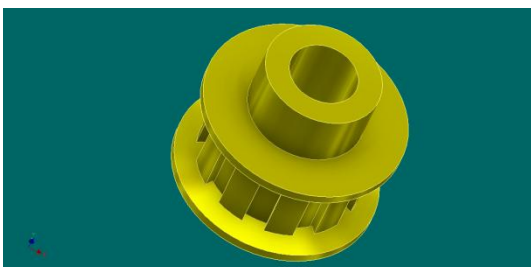
*Imagen 70. Tornillo tipo Allen de 1/4" y tuerca de 1/4".*



*Imagen 71. Seguro tipo "e" de 5 mm y 1/2".*

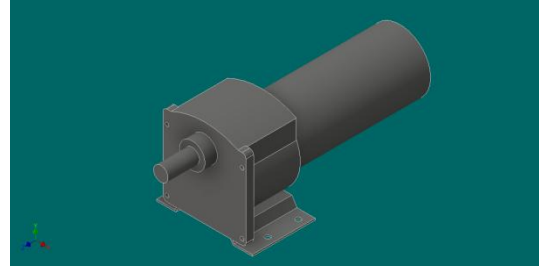
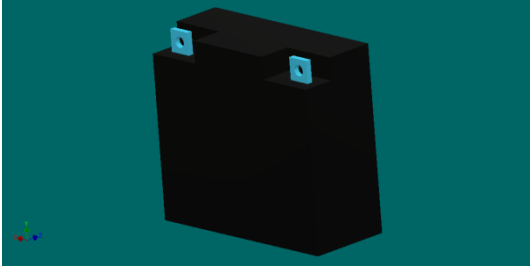


*Imagen 72. Ménsula y banda de transmisión.*

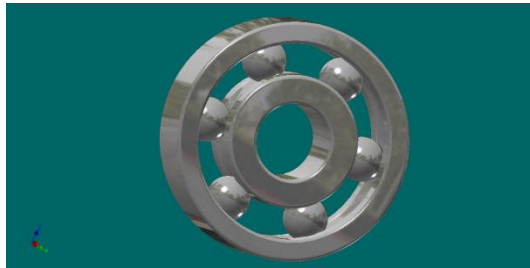


*Imagen 73. Polea dentada de 1 y 2 pulgadas.*

Diseño y construcción del sistema de movilidad para la Silla Jansen.



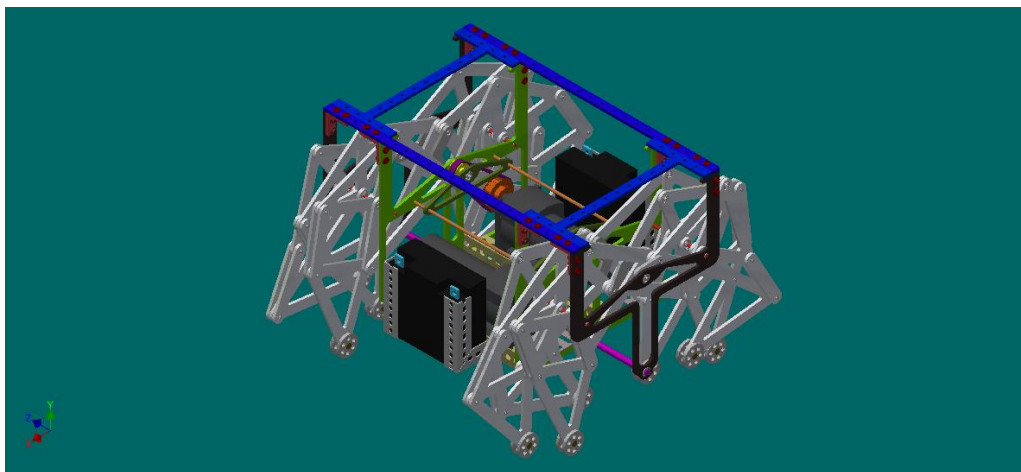
*Imagen 74. Batería y motor de engranes.*



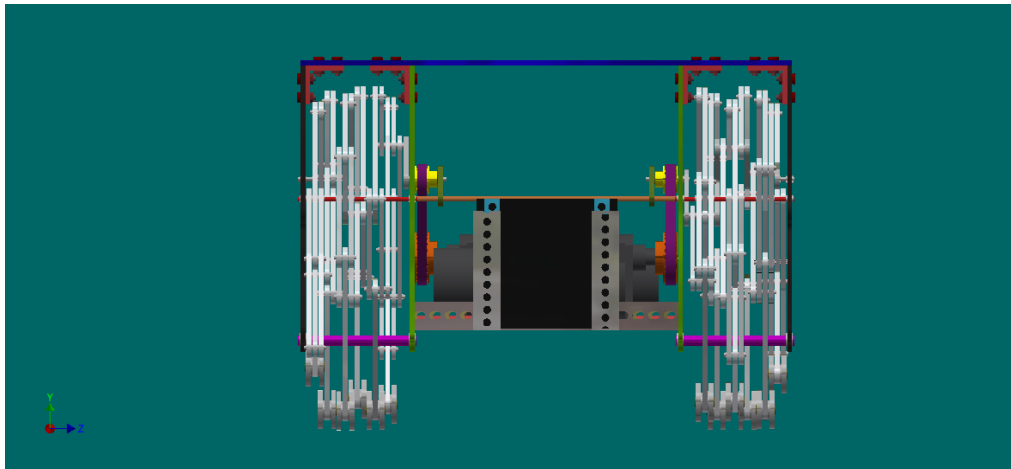
*Imagen 75. Balero de 6 mm.*

#### 3.5.4 Ensamble final

Una vez terminados los diseños de las piezas y los sub-ensambles se concluyó este apartado con el ensamblaje final en el software Inventor.



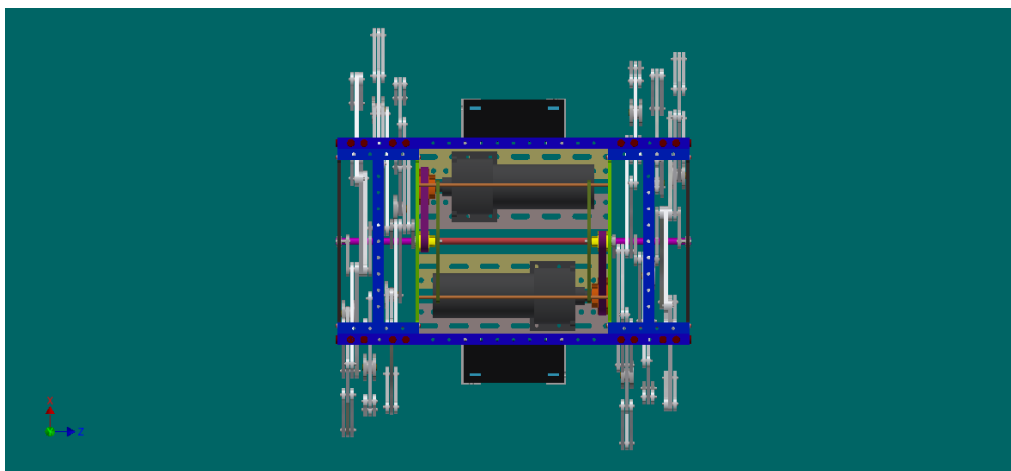
*Imagen 76. Mecanismo (Vista isométrica)*



*Imagen 77. Mecanismo (vista frontal)*



*Imagen 78. Mecanismo (vista lateral).*



*Imagen 79. Mecanismo (vista superior).*

### 3.6 Selección de material

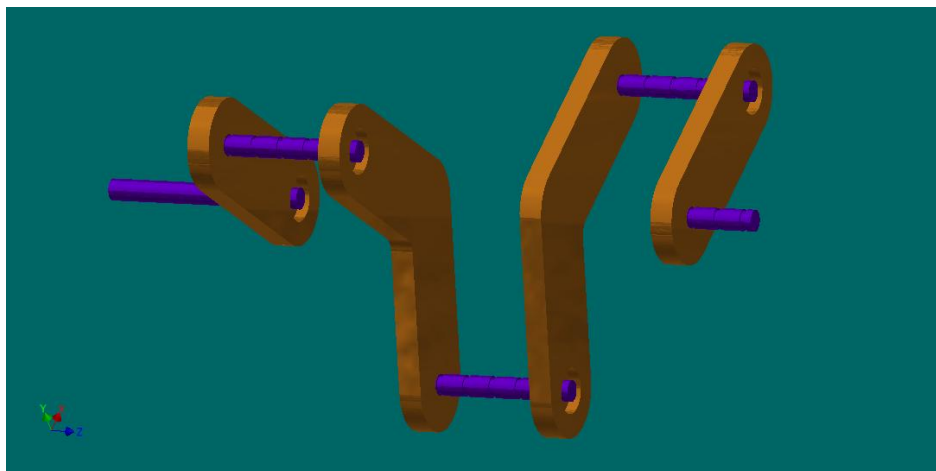
Para efectuar la correcta selección del material se tuvieron que cumplir dos puntos importantes, el primero de ellos fue que el peso del mecanismo no sobrepasara los 50 kg, mientras que el segundo punto consistió en la resistencia de las cargas externas, es decir, que soportara a una persona de entre 70 y 100 kg. Debido a ello este diseño se sustentó en las propiedades de los materiales, puesto que era importante cumplir las condiciones que se tenían propuestas. En adelante se muestran los 3 tipos de materiales que se utilizaron:

#### 3.6.1 Acero al carbón

Como resultado del estudio y el análisis de varios materiales, se decidió trabajar con acero al carbón en las secciones que requieren mayor esfuerzo. La principal función de este material en el mecanismo es soportar las cargas externas.

##### 3.6.1.1 SUB - ENSAMBLE 1

En el sub-ensamble 1 se utilizó el acero para todos los pernos del cigüeñal, para los eslabones rectos, así como para los eslabones desfasados 120°.



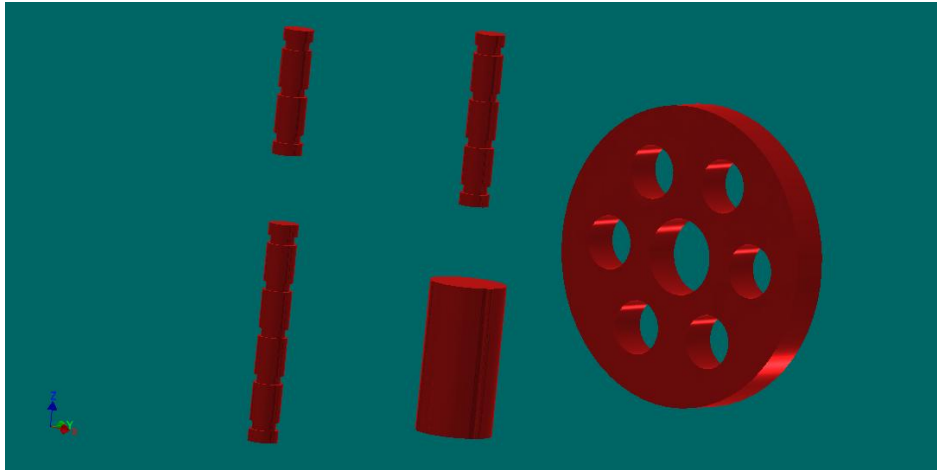
*Imagen 80. Ensamble de cigüeñal en acero al carbón.*



Diseño y construcción del sistema de movilidad para la Silla Jansen.

### 3.6.1.2 SUB - ENSAMBLE 2

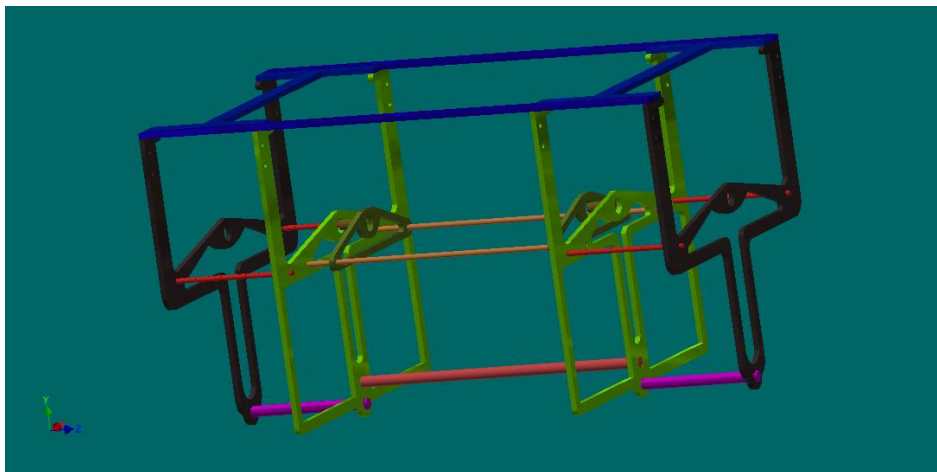
Para las piezas del sub-ensamble 2 el acero se utilizó para todos los pernos del mecanismo Jansen y para la rueda que comunica al mecanismo con el suelo.



*Imagen 81. Piezas en acero al carbón para el mecanismo de Jansen.*

### 3.6.1.3 SUB - ENSAMBLE 3

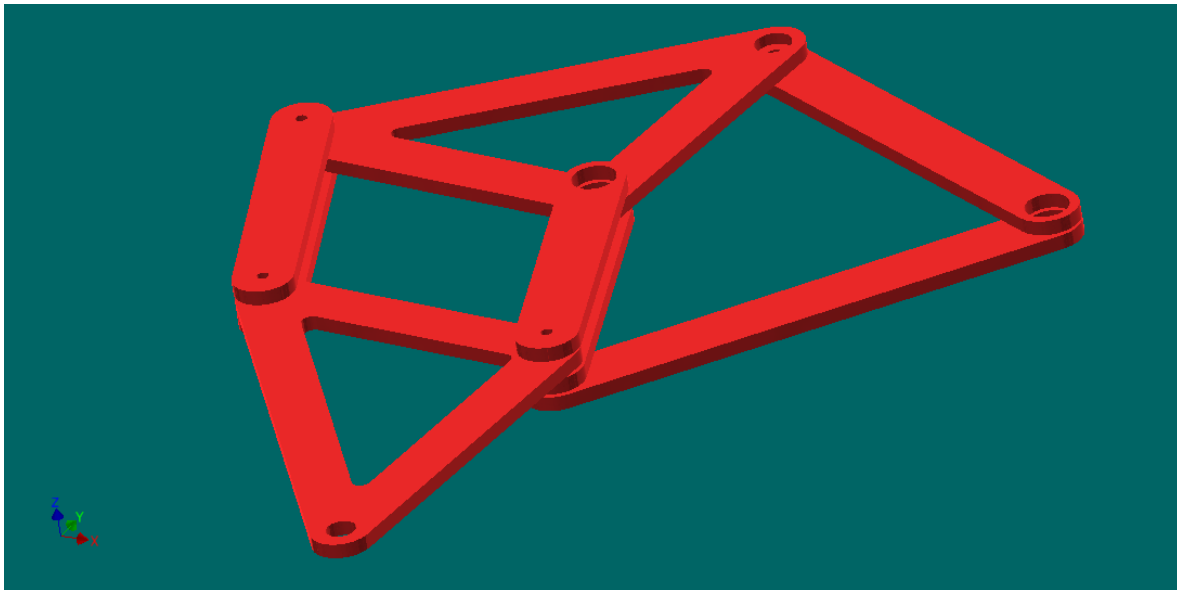
Este sub-ensamble es la parte más pesada del mecanismo, ya que la mayoría de las piezas que lo conforman son de acero al carbón.



*Imagen 82. Ensamble de piezas al carbón (soporte del prototipo)*

### 3.6.2 Aluminio 6061\_T5

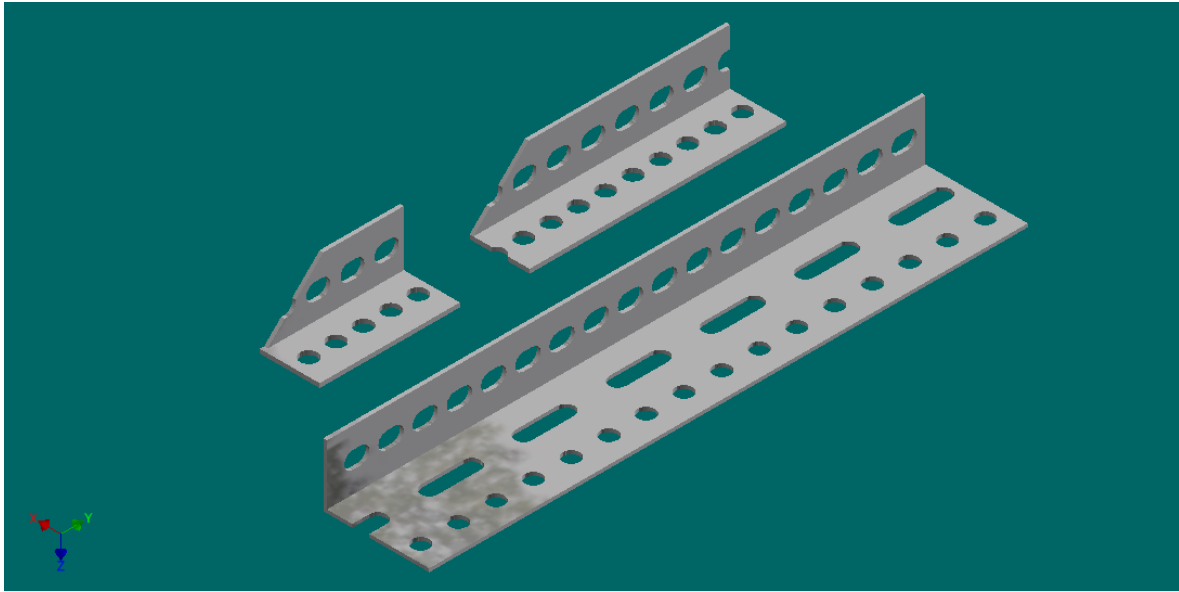
Para aligerar el prototipo el conjunto de eslabones se manufacturaron en aluminio 6061\_T5, debido a que este tipo de aluminio presenta algunas ventajas, algunas de ellas son: que es el aluminio más comercial, tiene buena resistencia a la compresión según sus propiedades mecánicas, y las fuerzas que soporta se dividen a lo largo de todos los eslabones, esto debido a su forma estructural que tiene el mecanismo Jansen.



*Imagen 83. Mecanismo de Jansen con eslabones de aluminio 6061\_T5.*

### 3.6.3 Acero colado

Para los soportes de los motores y las baterías se optó por emplear acero colado, pues los ángulos comprados ya tenían un corte, mismo que benefició al mecanismo, y sólo se realizaron cortes más simples para su ensamble, dejando como resultado soportes ligeros pero que a su vez resisten a la fuente de potencia.



*Imagen 84. Ángulos para soporte de batería y motor (acero colado)*

#### 3.6.4 Peso total del mecanismo

Finalmente y una vez designado el material a cada una de las piezas se corroboró el peso total del mecanismo, con este valor se cumplió otro de los objetivos planteados y se pudo continuar con la realización del modelo.

Diseño y construcción del sistema de movilidad para la Silla Jansen.

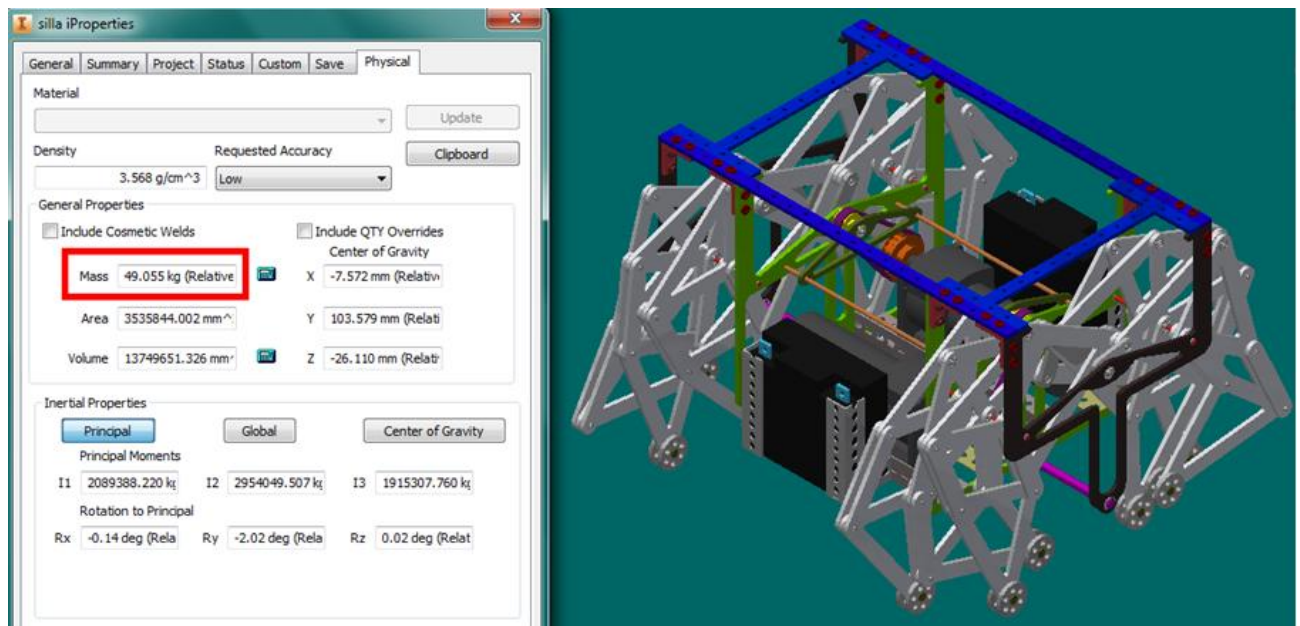


Imagen 85. Propiedades generales del ensamble final.

Mass 49.055 kg (Relative)

Imagen 86. Resultado obtenido por la computadora.

49.055 kg (Relative Error = 0.049031%)

Peso final del mecanismo, con su porcentaje de error

### 3.7 Reporte del análisis de esfuerzo

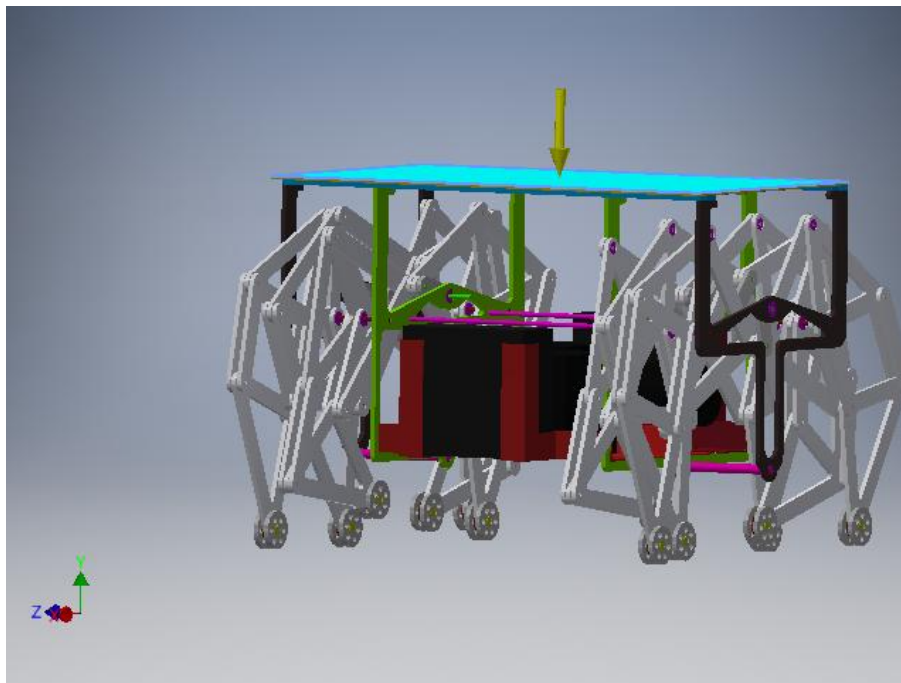
Para continuar con el desarrollo del proyecto es necesario el análisis del mecanismo por medio de una simulación de cargas estáticas aplicándolas en el prototipo diseñado. La simulación fue realizada igualmente en el programa Inventor, el cual ofrece una variedad de resultados, sin embargo se seleccionaron aquellos con más significancia para efectuar este proyecto, dichos resultados se muestran en este apartado.

### 3.7.1 Aplicación de la fuerza

La condición inicial para emprender la simulación es identificar la zona en la que se aplica la fuerza y la dirección en que se encuentra. En este caso se aplicaron -1000 N en el eje de las Y en la base donde se apoya la persona que irá sentada en el mecanismo.

*Tabla 6. Condiciones de operación (fuerza 1).*

Load Type	Force
Magnitude	1000.000 N
Vector X	0.000 N
Vector Y	-1000.000 N
Vector Z	-0.000 N

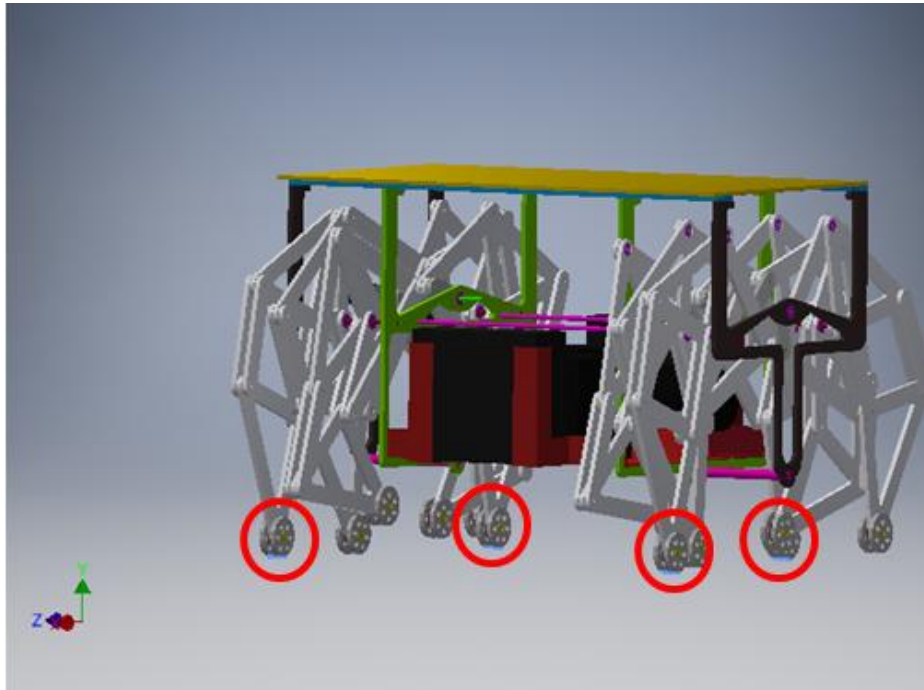


*Imagen 87. Aplicación de la fuerza de -1000N en el mecanismo de Jansen.*

Diseño y construcción del sistema de movilidad para la Silla Jansen.

### 3.7.2 Puntos fijos

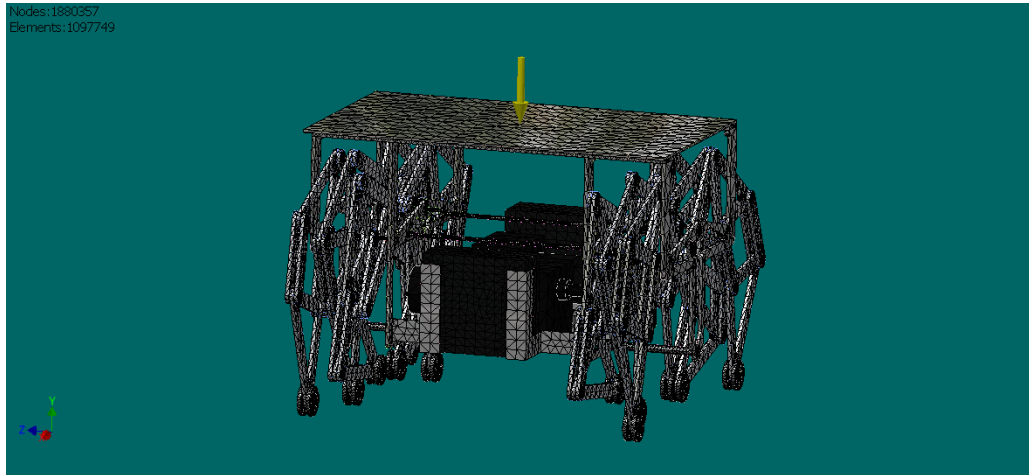
El segundo paso de la simulación es seleccionar los puntos del mecanismo que son fijos o los puntos que soportan la carga aplicada, en la imagen obtenida en el reporte no se muestran claramente estos puntos por lo que se le agregaron algunos círculos rojos para hacer visibles los puntos fijos.



*Imagen 88. Puntos de apoyo del mecanismo.*

### 3.7.3 Mallado

Con el mallado se visualiza una textura mapeada, el sólido se secciona por nodos, en los cuales se realiza el análisis del material y la carga, en la simulación se requirió de un mallado medio, ya que como se cuenta con una gran cantidad de piezas el análisis es muy complicado de obtener.



*Imagen 89. Mallado para la simulación de esfuerzos del prototipo.*

### 3.7.4 Tablas de resultados

En las tablas se muestran los parámetros utilizados para la simulación así como los resultados.

*Tabla 7. Fuerzas de reacción y restricciones en los momentos.*

Constraint Name	Reaction Force		Reaction Moment	
	Magnitude	Component (X,Y,Z)	Magnitude	Component (X,Y,Z)
Fixed Constraint:1	1000 N	0 N	59.2861 N m	-4.7277 N m
		1000 N		-0.952329 N m
		0 N		-59.0897 N m

*Tabla 8. Resumen de los resultados.*

<b>Name</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>
Von Mises Stress	0.00000937439 MPa	111.694 MPa
1st Principal Stress	-27.6999 MPa	122.178 MPa
3rd Principal Stress	-113.218 MPa	27.4154 MPa
Displacement	0 mm	0.203268 mm
Safety Factor	3.13356 ul	15 ul
Stress XX	-37.8081 MPa	31.0494 MPa
Stress XY	-15.4614 MPa	14.9501 MPa
Stress XZ	-30.3062 MPa	31.2162 MPa
Stress YY	-31.1273 MPa	31.9616 MPa
Stress YZ	-39.6643 MPa	44.6074 MPa
Stress ZZ	-112.353 MPa	120.533 MPa
X Displacement	-0.0293764 mm	0.0287765 mm
Y Displacement	-0.202545 mm	0.0112581 mm
Z Displacement	-0.104187 mm	0.0819702 mm
Equivalent Strain	0.000000000122108 ul	0.000500823 ul
1st Principal Strain	-0.00000462042 ul	0.000580127 ul
3rd Principal Strain	-0.000541309 ul	0.00000633597 ul
Strain XX	-0.000124818 ul	0.000125247 ul



Strain XY	-0.0000997258 ul	0.0000964284 ul
Strain XZ	-0.000195475 ul	0.000201345 ul
Strain YY	-0.000165611 ul	0.000155925 ul
Strain YZ	-0.000255835 ul	0.000287718 ul
Strain ZZ	-0.000535727 ul	0.000569514 ul
Contact Pressure	0 MPa	136.411 MPa
Contact Pressure X	-64.3222 MPa	28.7085 MPa
Contact Pressure Y	-30.7354 MPa	72.5268 MPa
Contact Pressure Z	-95.9712 MPa	94.0083 MPa

A continuación se presenta la descripción de los 3 resultados más significativos y que se tomaron en cuenta para la realización del prototipo, así como un acompañamiento gráfico de cada uno de ellos.

### 3.7.4.1 RESULTADOS CON EL CRITERIO DE VON MISES.

En esta sección se observa gráficamente el criterio de Von Mises, es decir la distorsión por unidad de volumen de cada punto del mallado, lo cual resulta fundamental para conocer los esfuerzos elásticos en la estructura que componen al prototipo. Mediante el resultado podemos confirmar si la selección del material es o no correcta para resistir la carga de 70 a 100 kg, conocer la deformación de cada componente del prototipo, así como los efectos que genera en el comportamiento del prototipo mencionado.

Tras analizar el resultado obtenido se observa que el fallo elástico es mínimo, ya que el esfuerzo máximo permisible del mecanismo resiste 111.7 MPa, mientras que el prototipo se encuentra en un rango de 0 MPa a 19.2 MPa, por lo tanto la deformación del prototipo es aceptable y se puede continuar con el desarrollo.

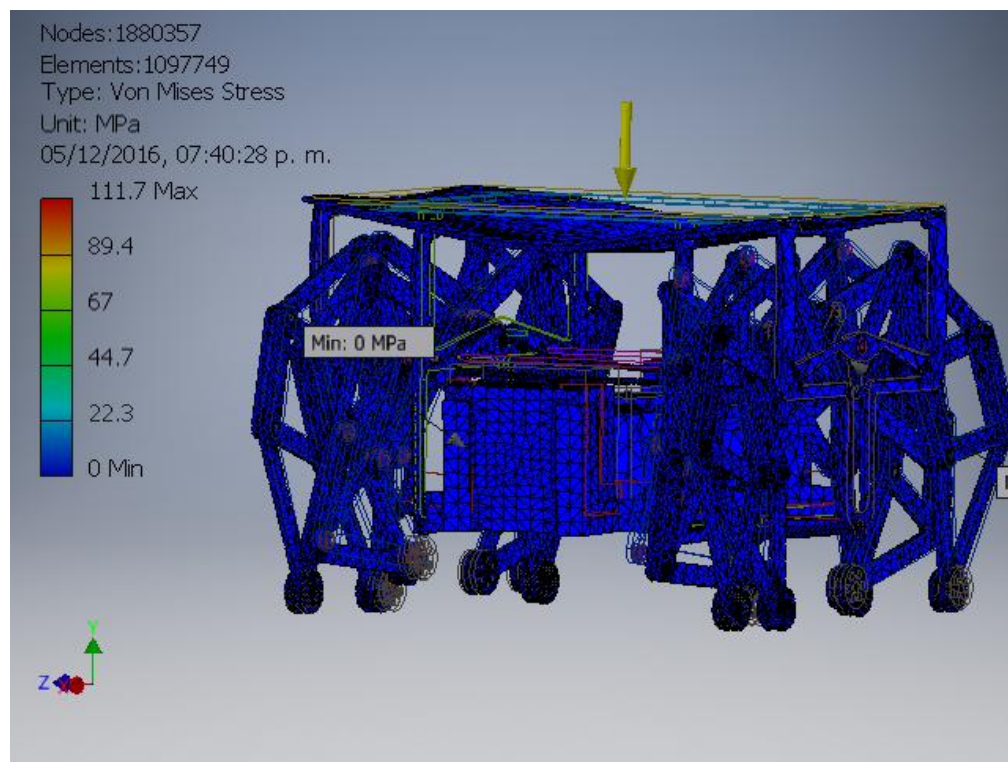


Imagen 90. Simulación de Von Mises.

### 3.7.4.2 DESPLAZAMIENTO DEL MECANISMO.

En la imagen 89 se muestra la deformación del modelo al aplicarle la carga. En el resultado obtenido para el prototipo se observa que el resultado mínimo es de 0mm, mientras que el máximo es de 0.2033mm, esto no afecta al mecanismo ya que se trabajó una carga puntual, es ahí donde se encuentra la deformación máxima, pero en realidad el peso de la persona es una carga distribuida y el desplazamiento en este punto será menor que el obtenido en la simulación.

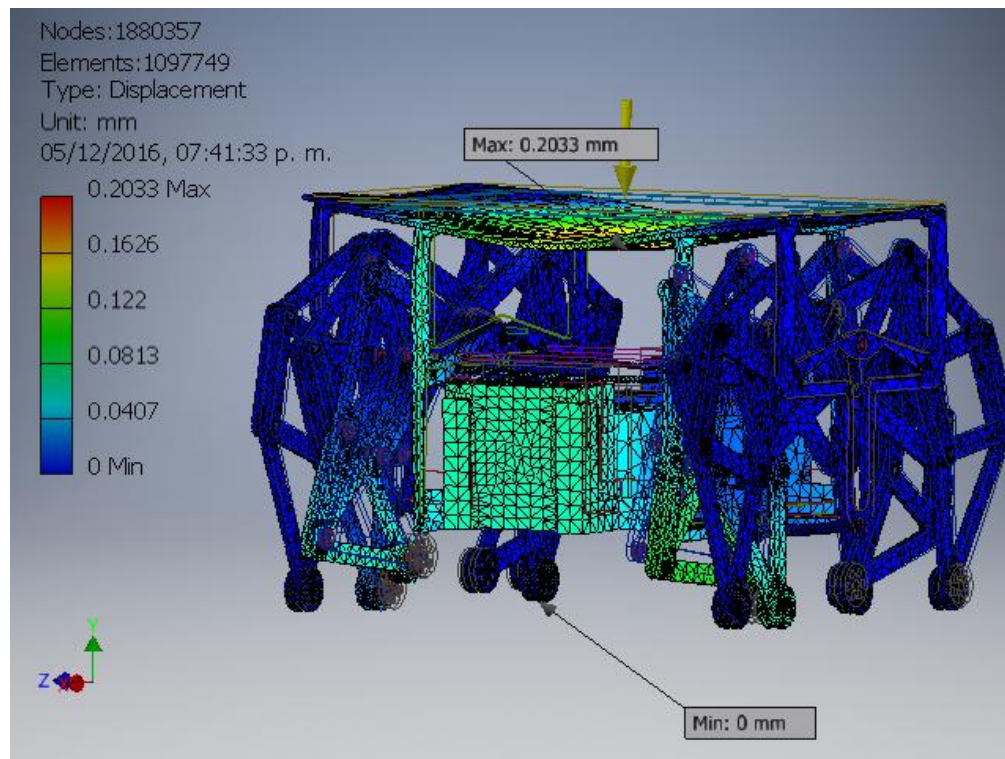


Imagen 91. Simulación de la fuerza desplazada.

### 3.7.4.3 FACTOR DE SEGURIDAD.

El factor de seguridad es la capacidad excesiva que tiene el modelo para soportar la carga que se le aplica, en este caso se observa un factor de seguridad considerable de grado 15 en la mayor parte del mecanismo, mientras que una pequeña zona sólo cuenta con un grado 3.13 como lo muestra la imagen 92. Por lo que se cree que tiene buena seguridad para soportar las cargas propuestas.

#### Safety Factor

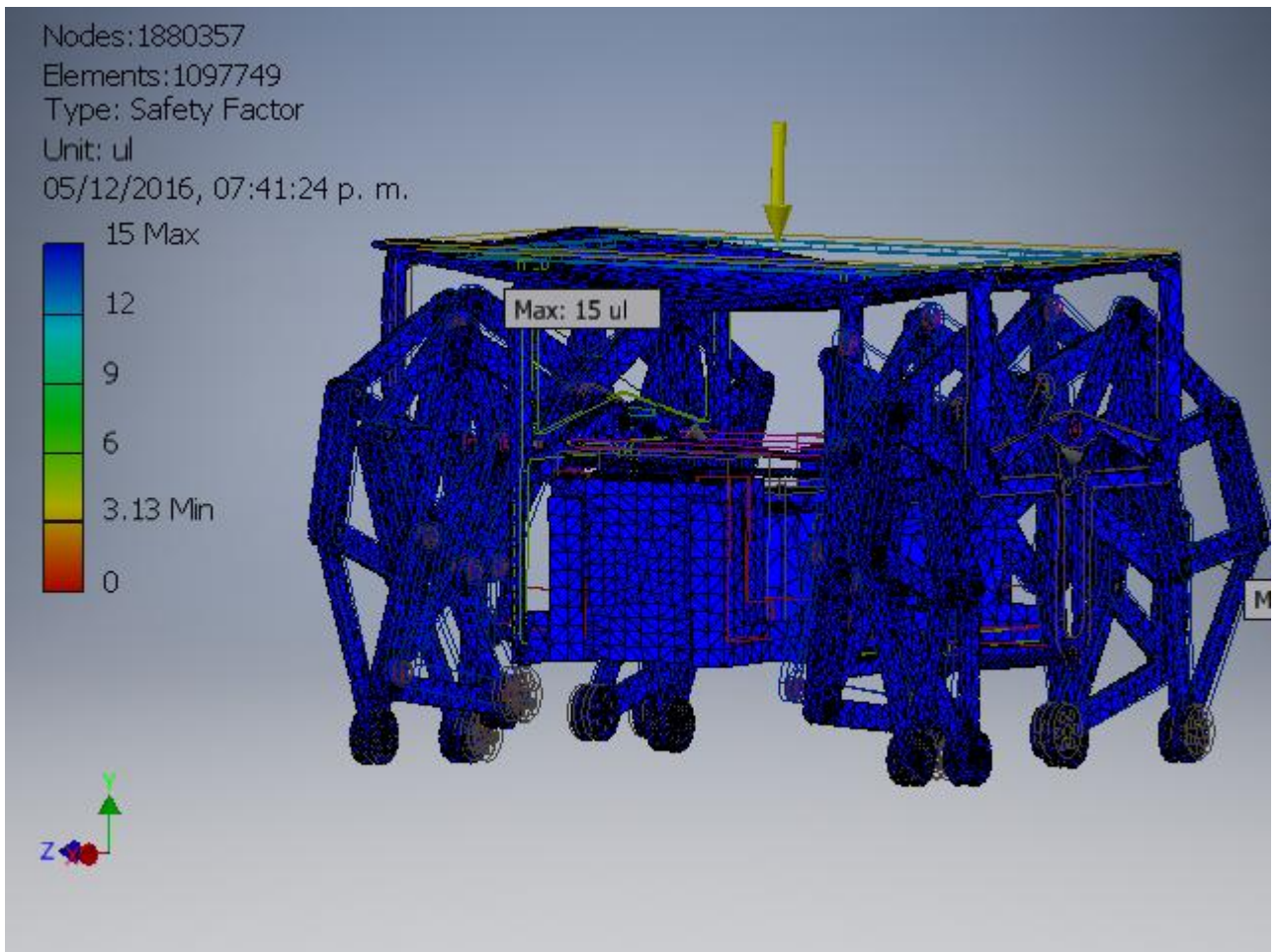
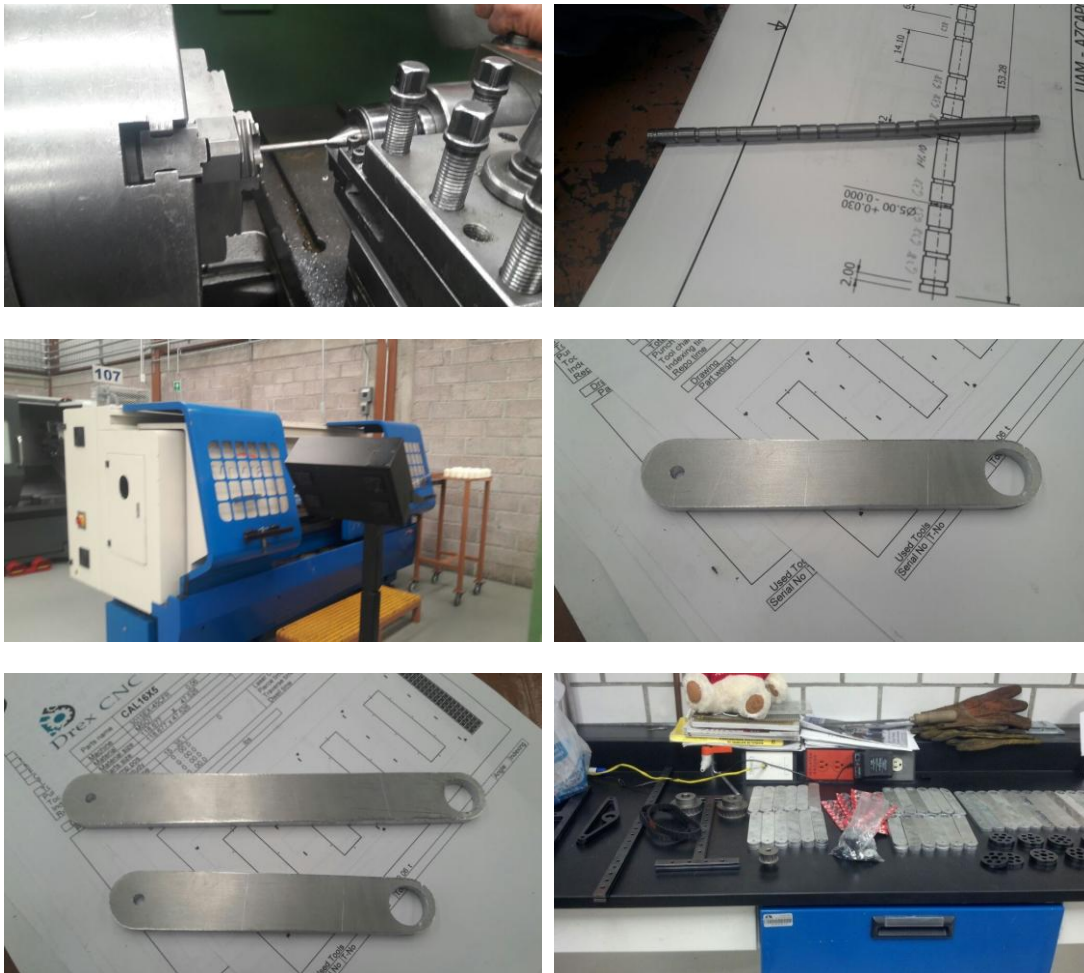


Imagen 92. Simulación de factor de seguridad.

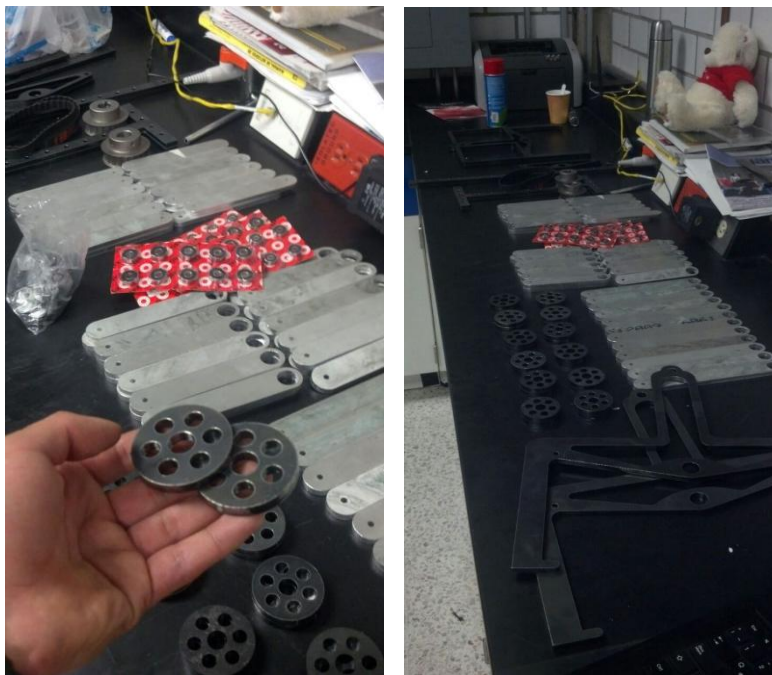
### 3.8 Manufactura del prototipo

Finalmente se realizó la manufactura de los componentes. El desarrollo de manufactura inició con los pernos, los cuales se fabricaron en un torno CNC, pues requieren de cierta precisión en cada una de las secciones y en la profundidad de las ranuras para que entren los seguros tipo e. Mientras que para el corte de los eslabones se recurrió al uso de una máquina que corta a laser, ya que se necesitaban de un número significativo de piezas, este corte ahorró tiempo en la construcción del prototipo, pues en sólo 5 días se obtuvieron los eslabones manufacturados.



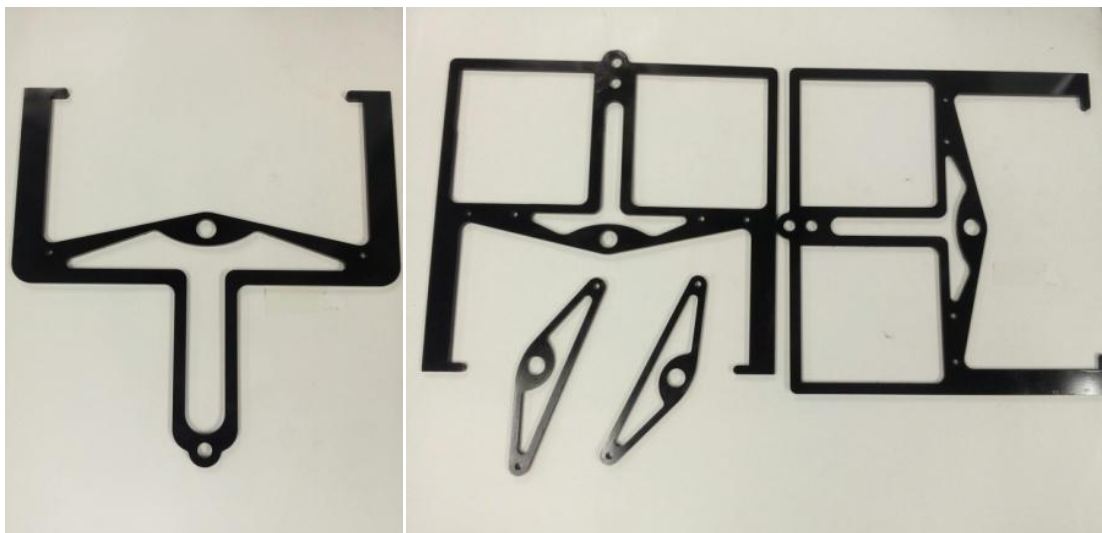
*Imagen 93. Cortado y maquinado por la empresa Drex CNC.*

Diseño y construcción del sistema de movilidad para la Silla Jansen.



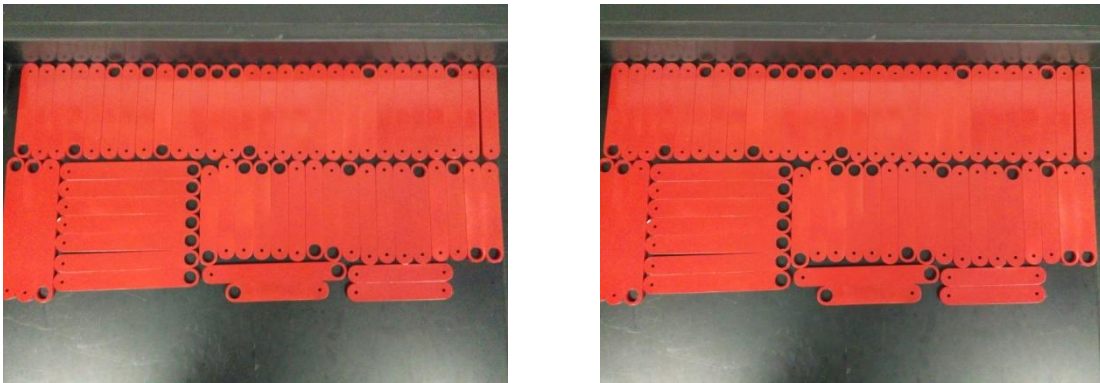
*Imagen 94. Chequeo de las piezas.*

Finalmente y obtenidas todas las piezas se pintaron los componentes para tener un mejor acabado y se limpiaron los pernos.



*Imagen 95. Piezas para el soporte (acero al carbón).*

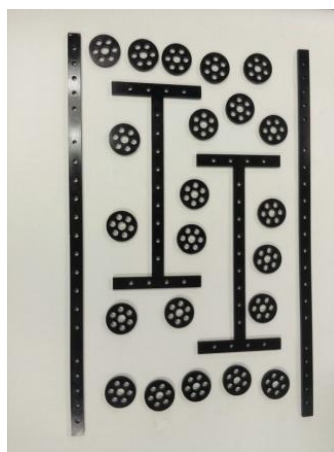
Diseño y construcción del sistema de movilidad para la Silla Jansen.



*Imagen 96. Eslabones (aluminio 6061\_T5).*



*Imagen 97. Pernos (acero pulido).*



*Imagen 98. Piezas en acero al carbón.*

## CAPITULO 4. RESULTADOS

En esta sección se presentan los dibujos normalizados de detalle y los explosionados correspondientes. Posteriormente se presentan las dimensiones físicas, peso y la velocidad lograda con el prototipo y se comparan con los datos obtenidos de las simulaciones. Finalmente se verificó experimentalmente la capacidad para trasladar a un paciente de entre 70 a 100 kg.



*Imagen 99. Ensamble de los eslabones.*



*Imagen 100. Ensamble del mecanismo.*



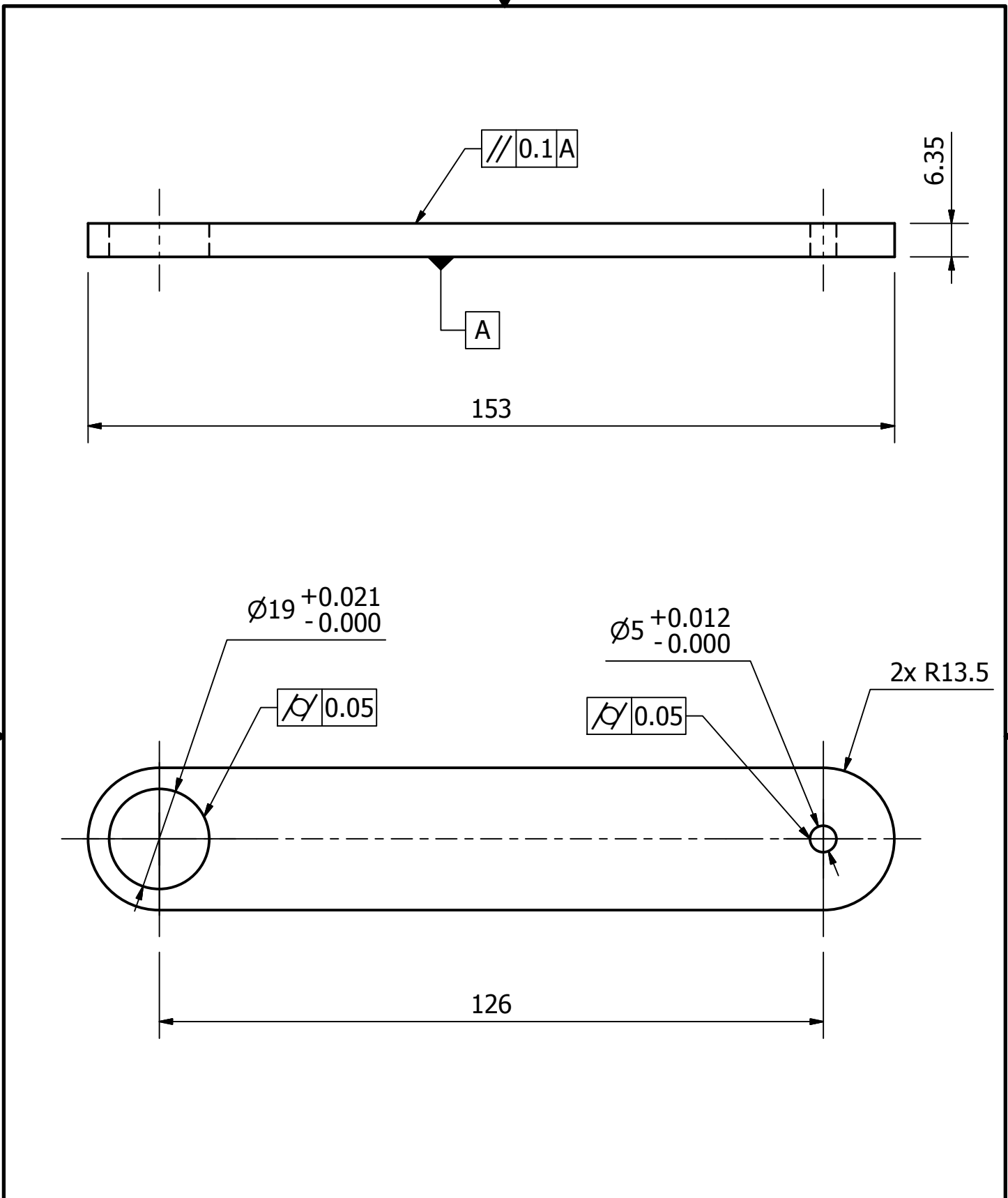
Diseño y construcción del sistema de movilidad para la Silla Jansen.



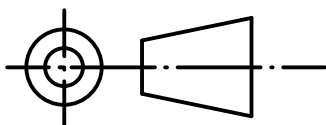
*Imagen 101. Adaptación de piernas a la base.*

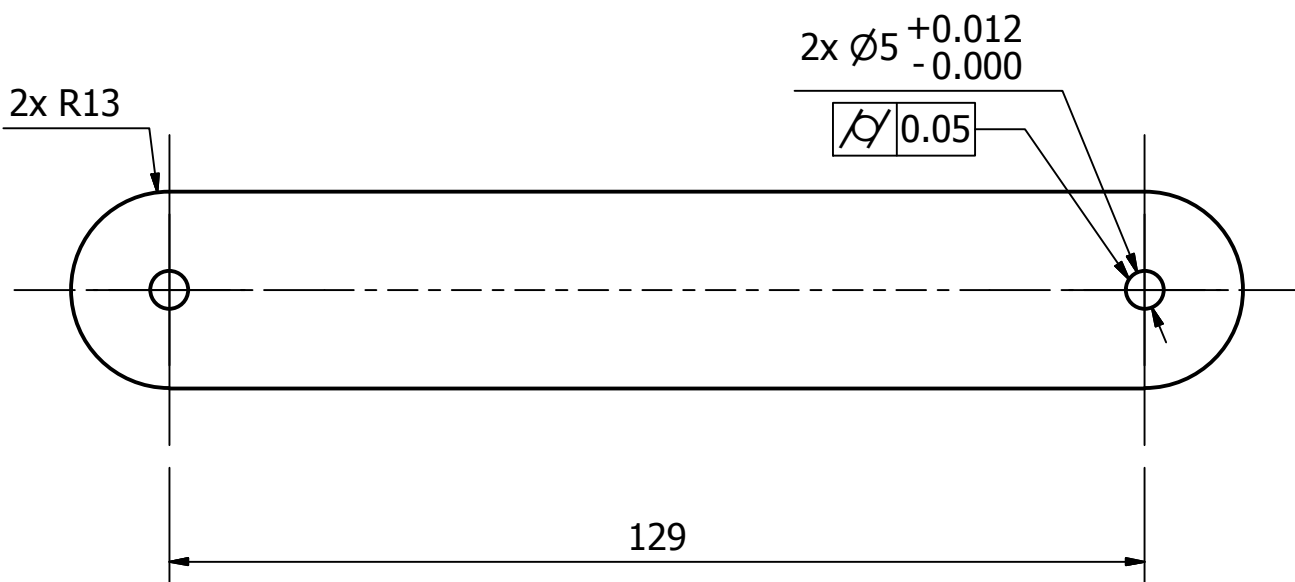
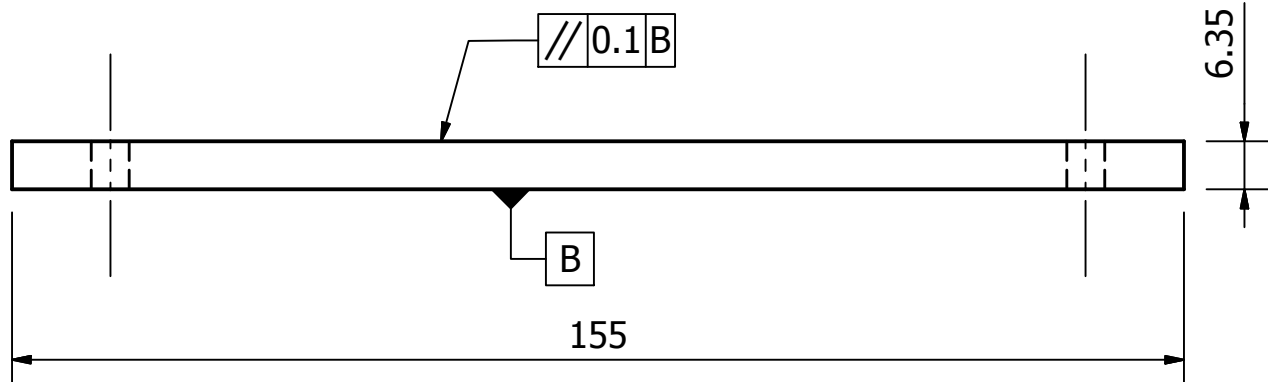
#### 4.1 Dibujos normalizados

La primera sección cuenta con todos los dibujos mecánicos normalizados, en donde se encuentran tolerancias de maquinado y tolerancias geométricas. Así también cuenta con planos de ensamble, los cuales evidencian donde se requieren tornillos y soldadura.



# UAM - AZCAPOTZALCO

Acotación : mm	Dibujó : Manuel Arano Herrera Jaime Iván Caballero Daniel	Revisado : Ing. Romy Pérez Moreno Ing. Mario Jesús Ocaña y González
	Título : <b>Eslabón de 126 mm</b>	Material : Aluminio 6061
	Escala : 1 : 1	Fecha : 16/03/2017 Dibujo No. 01 A4

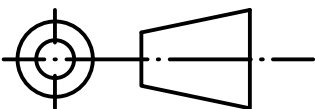


# UAM - AZCAPOTZALCO

Acotación : mm

Dibujó : Manuel Arano Herrera  
Jaime Iván Caballero Daniel

Revisado : Ing. Romy Pérez Moreno  
Ing. Mario Jesús Ocaña y González



Título :

Eslabón de 129 mm

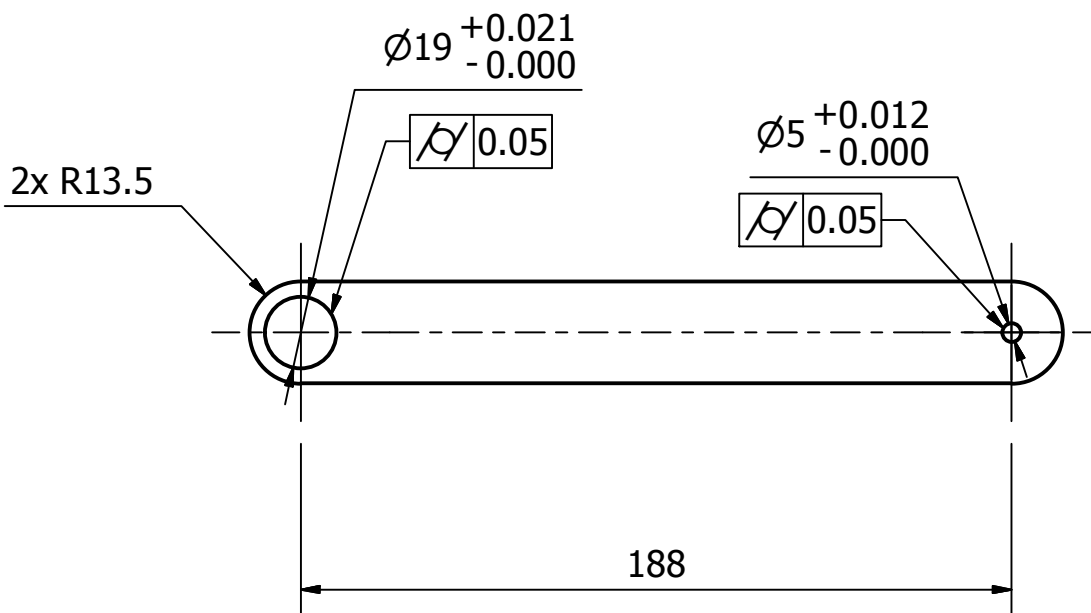
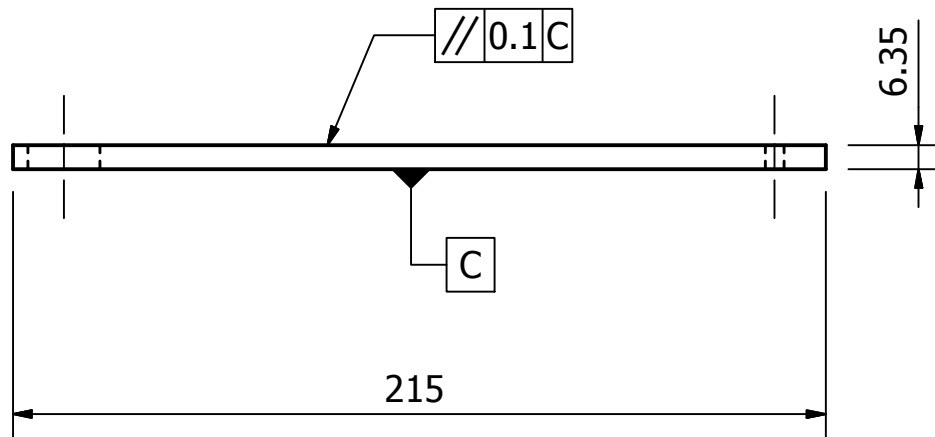
Material : aluminio 6061

Fecha : 16/03/2017

Dibujo No.

02 A4

Escala : 1 : 1

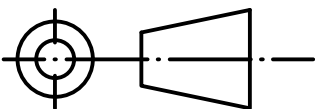


# UAM - AZCAPOTZALCO

Acotación : mm

Dibujó : Manuel Arano Herrera  
Jaime Iván Caballero Daniel

Revisado : Ing. Romy Pérez Moreno  
Ing. Mario Jesús Ocaña y González



Título :

Eslabón de 188 mm

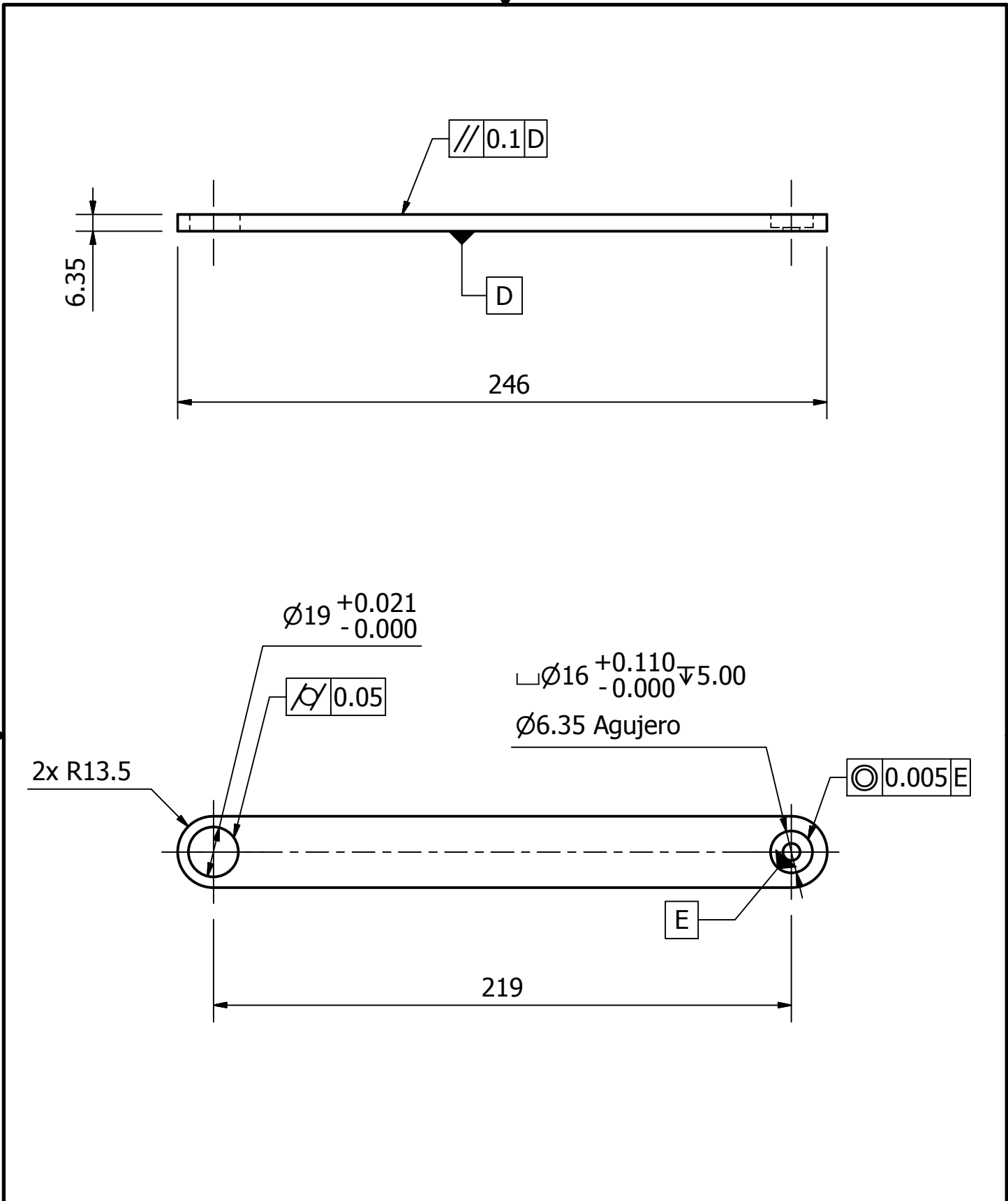
Material : Aluminio 6061

Fecha : 16/03/2017

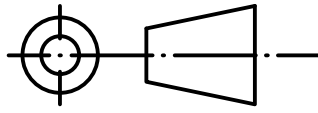
Dibujo No.

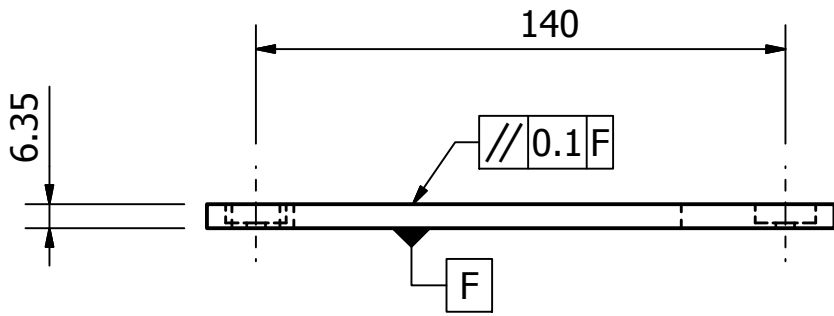
03 A4

Escala : 1 : 2

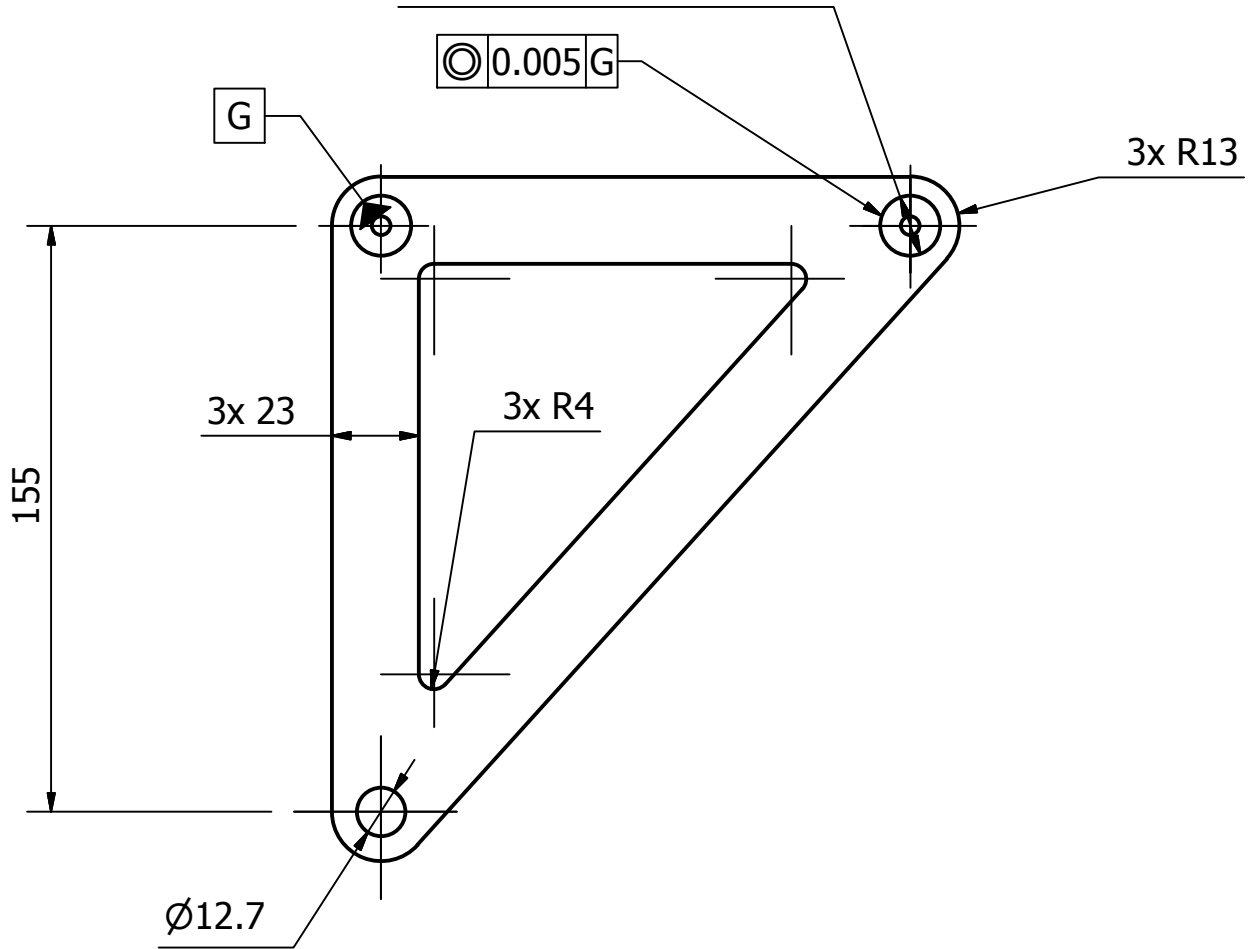


# UAM - AZCAPOTZALCO

Acotación : mm	Dibujó : Manuel Arano Herrera Jaime Iván Caballero Daniel	Revisado : Ing. Romy Pérez Moreno Ing. Mario Jesús Ocaña y González
	Título: <b>Eslabón de 219 mm</b>	Material : Aluminio 6061
Escala : 1 : 2		Fecha : 16/03/2017
		Dibujo No. 04 A4



2x L  $\perp$   $\varnothing 16$   $\begin{matrix} +0.018 \\ -0.000 \end{matrix}$   $\nabla 5.00$   
 $\varnothing 6.35$  Agujero

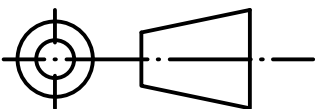


# UAM - AZCAPOTZALCO

Acotación : mm

Dibujó : Manuel Arano Herrera  
 Jaime Iván Caballero Daniel

Revisado : Ing. Romy Pérez Moreno  
 Ing. Mario Jesús Ocaña y González



Título :  
 Triangulo inferior derecho

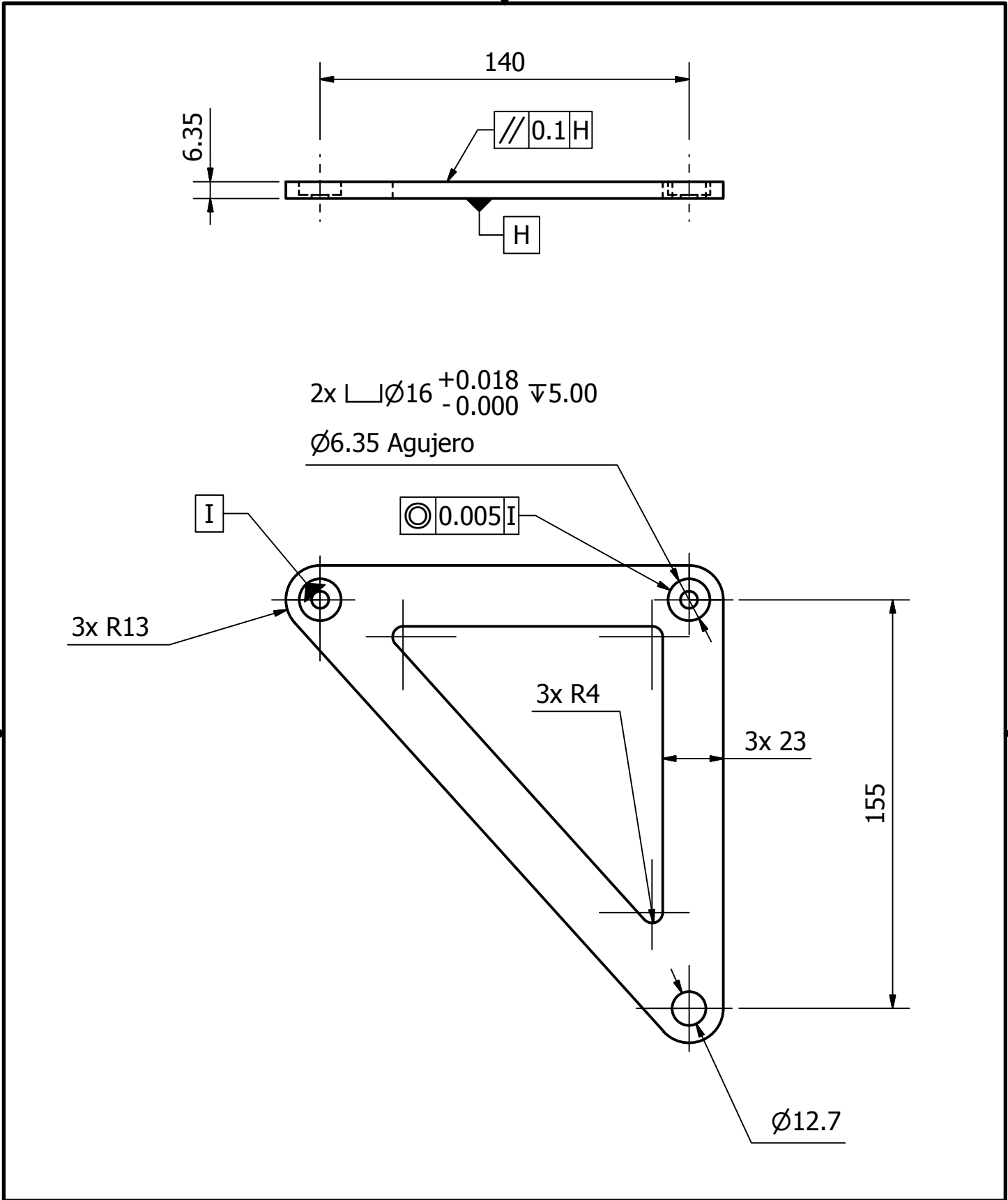
Material : Aluminio 6061

Fecha : 16/03/2017

Escala : 1 : 2

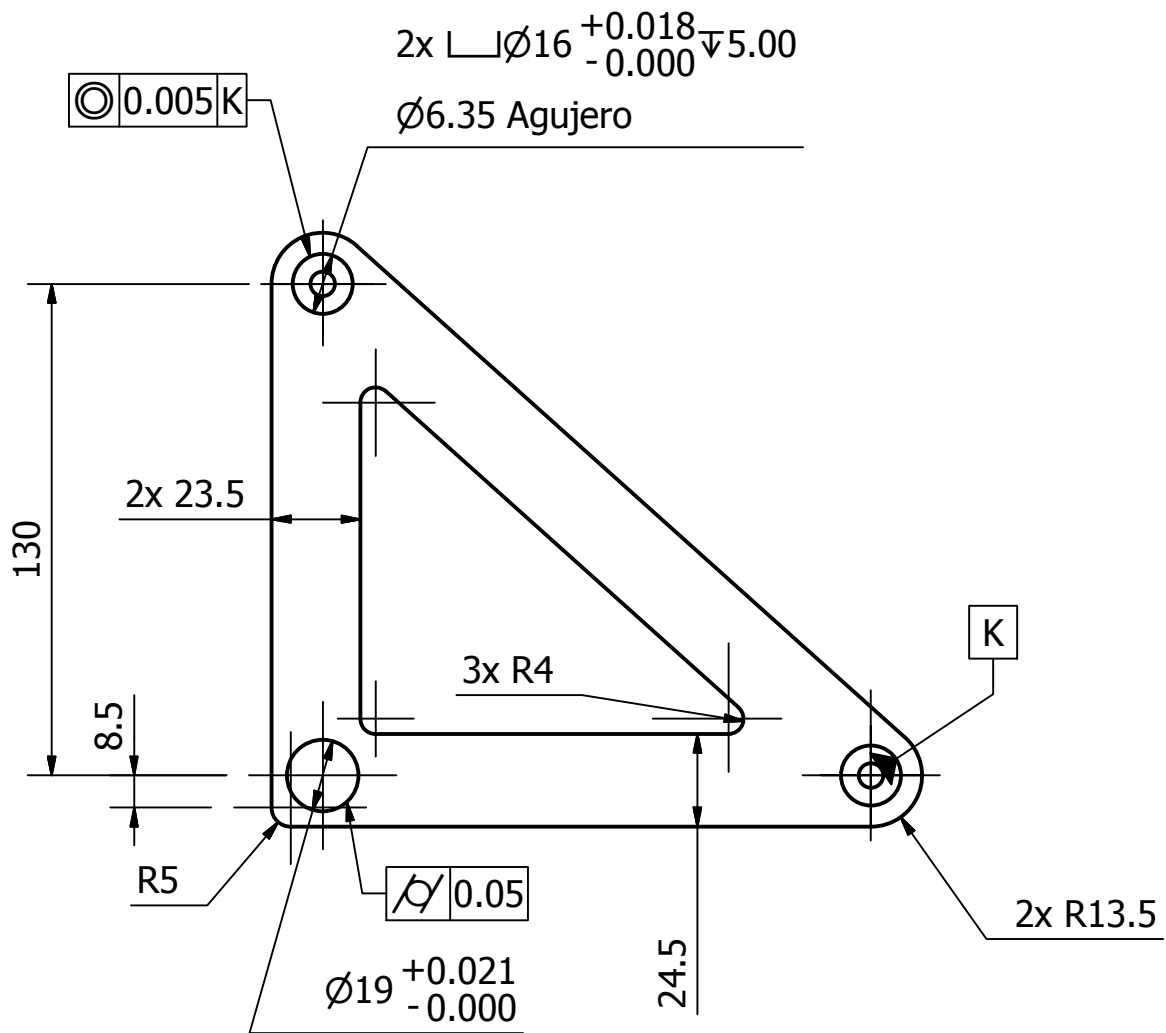
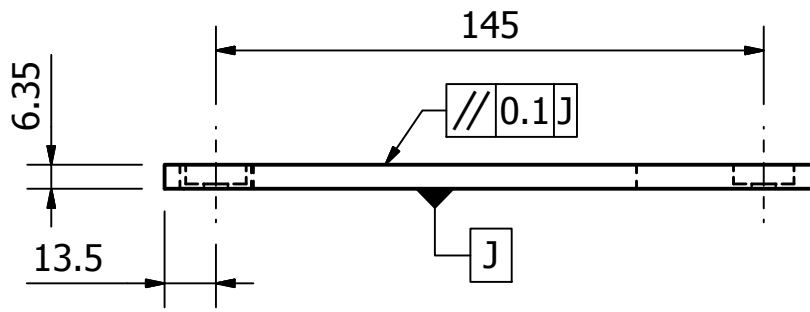
Dibujo No.

05 A4



# UAM - AZCAPOTZALCO

Acotación : mm	Dibujó : Manuel Arano Herrera Jaime Iván Caballero Daniel	Revisado : Ing. Romy Pérez Moreno Ing. Mario Jesús Ocaña y González
	Título : Triangulo inferior izquierdo	Material : Aluminio 6061
		Fecha : 16/03/2017
Escala : 1 : 2		Dibujo No. 06 A4

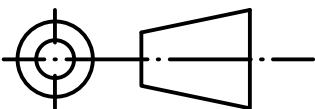


# UAM - AZCAPOTZALCO

Acotación : mm

Dibujó : Manuel Arano Herrera  
Jaime Iván Caballero Daniel

Revisado : Ing. Romy Pérez Moreno  
Ing. Mario Jesús Ocaña y González



Título :  
Triangulo superior derecho

Material : Aluminio 6061

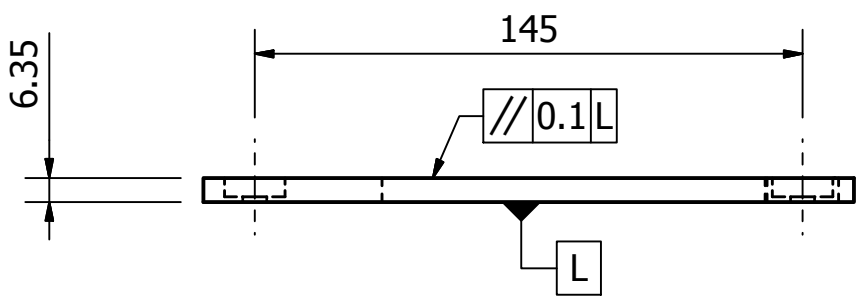
Fecha : 16/03/2017

Escala : 1 : 2

Dibujo No.

07 A4

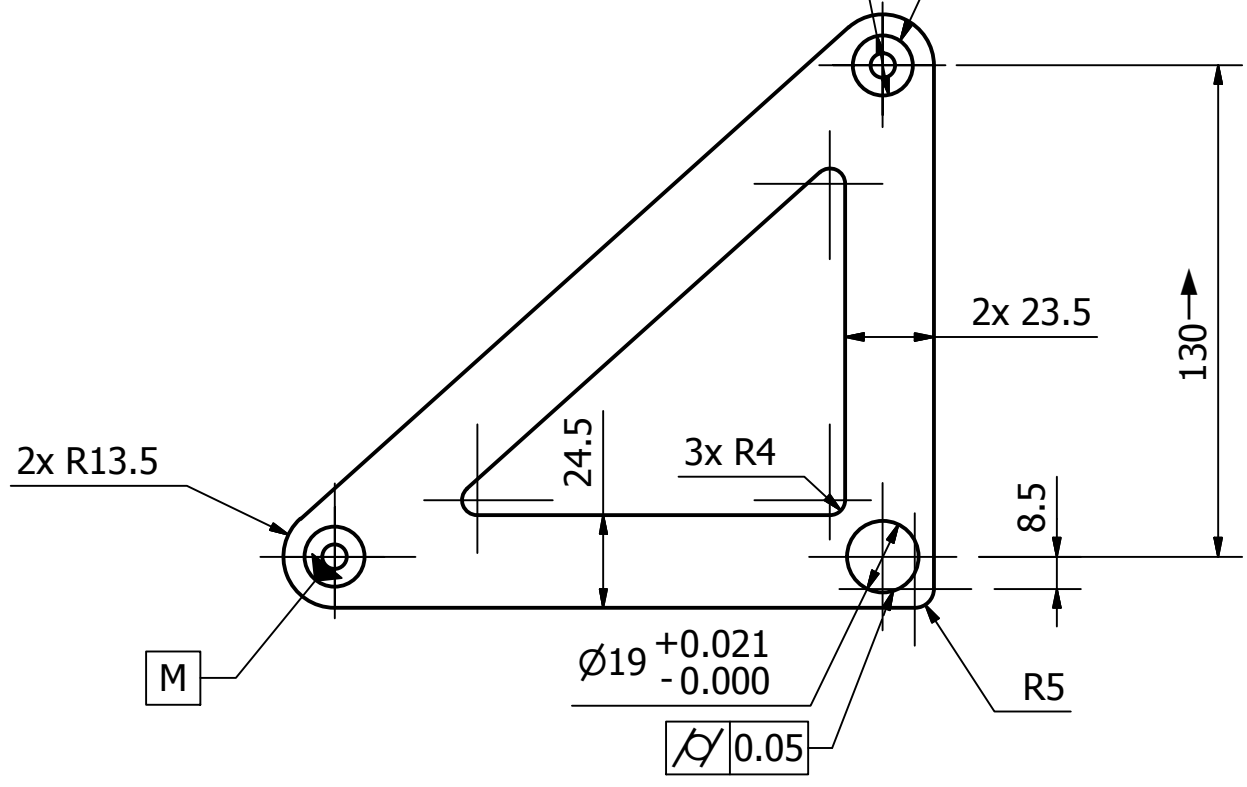




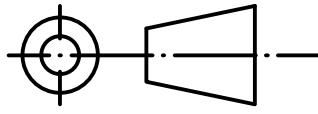
2x  $\perp$   $\varnothing 16$   $\begin{matrix} +0.018 \\ -0.000 \end{matrix}$   $\nabla 5.00$

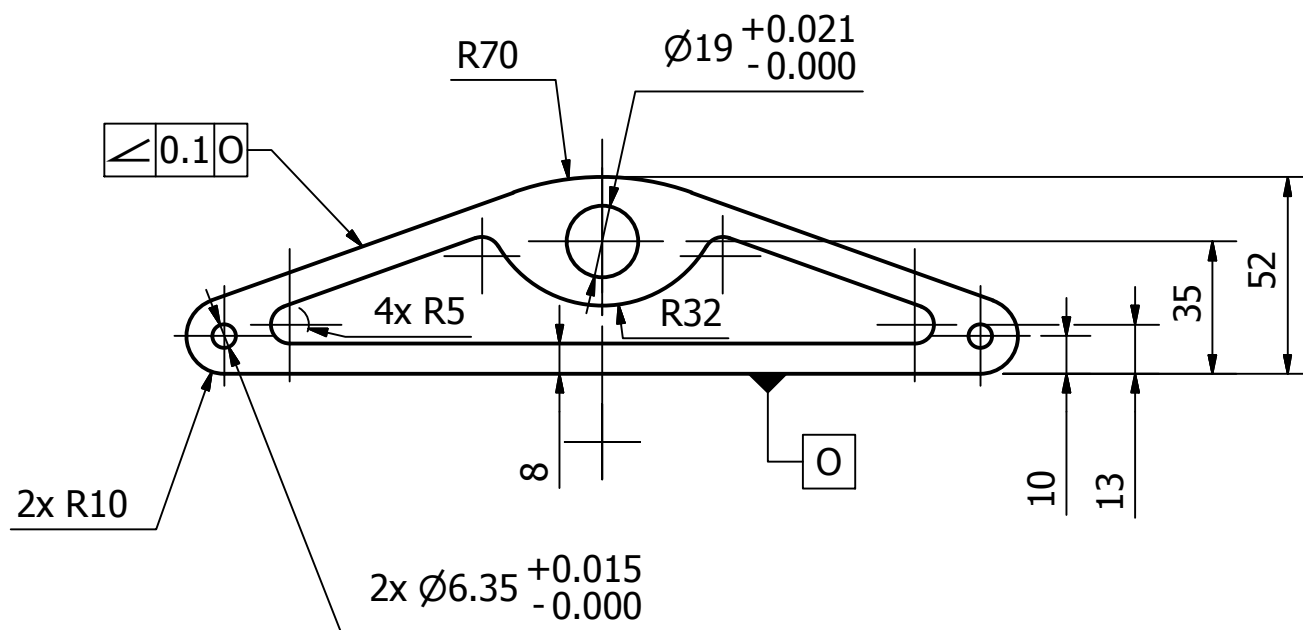
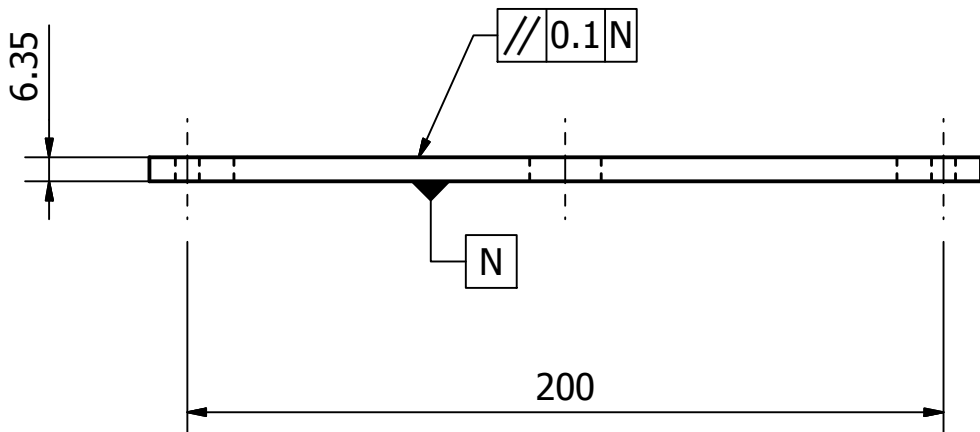
$\varnothing 6.35$  Agujero

$\text{◎} 0.005 M$

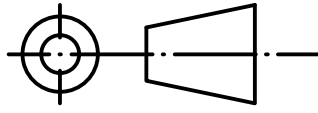


# UAM - AZCAPOTZALCO

Acotación : mm	Dibujó : Manuel Arano Herrera Jaime Iván Caballero Daniel	Revisado : Ing. Romy Pérez Moreno Ing. Mario Jesús Ocaña y González
	Título : Triangulo superior izquierdo	Material : Aluminio 6061
Escala : 1 : 2		Fecha : 16/03/2017
		Dibujo No. 08 A4



# UAM - AZCAPOTZALCO

Acotación : mm	Dibujó : Manuel Arano Herrera Jaime Iván Caballero Daniel	Revisado : Ing. Romy Pérez Moreno Ing. Mario Jesús Ocaña y González
	Título :  <b>Soporte interno</b>	Material : Acero al carbón
Escala : 1 : 2		Fecha : 16/03/2017
		Dibujo No. 09 A4



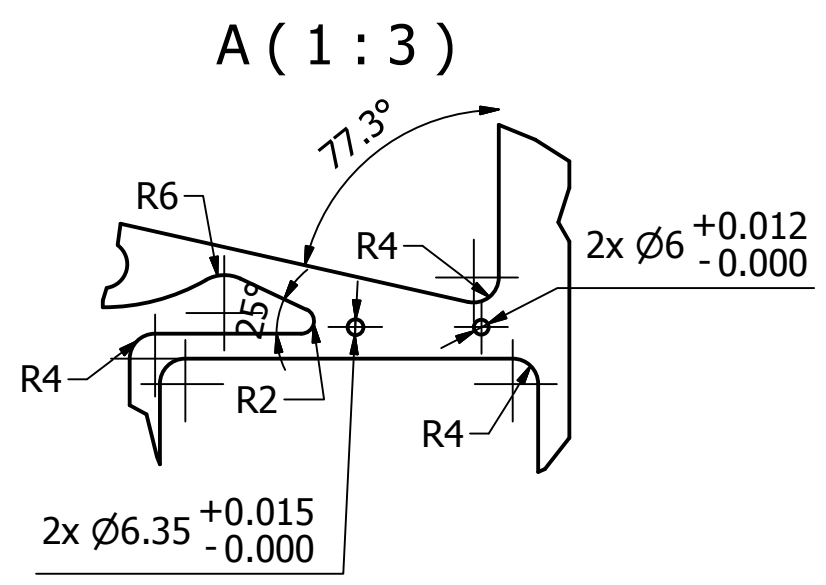
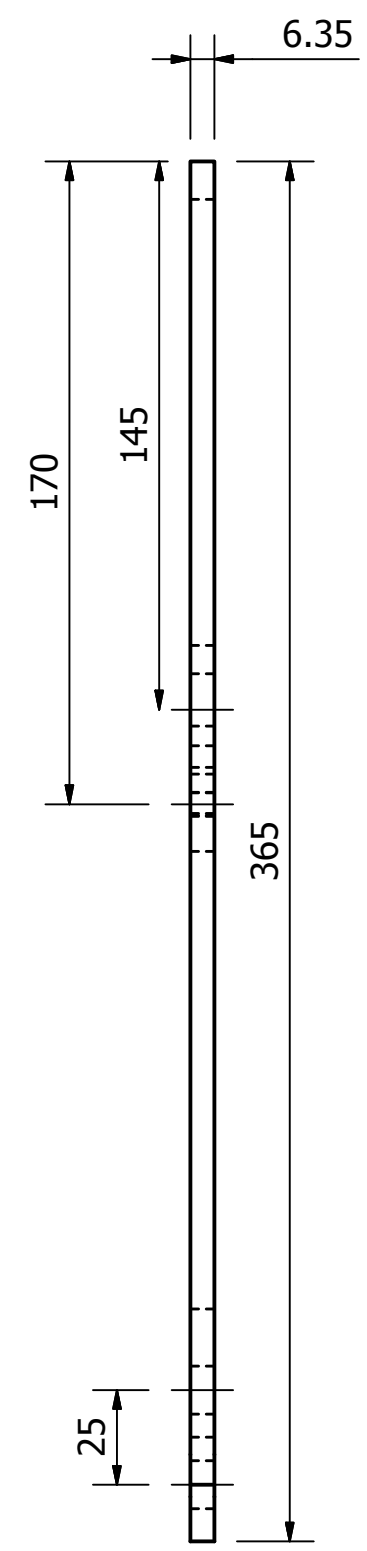
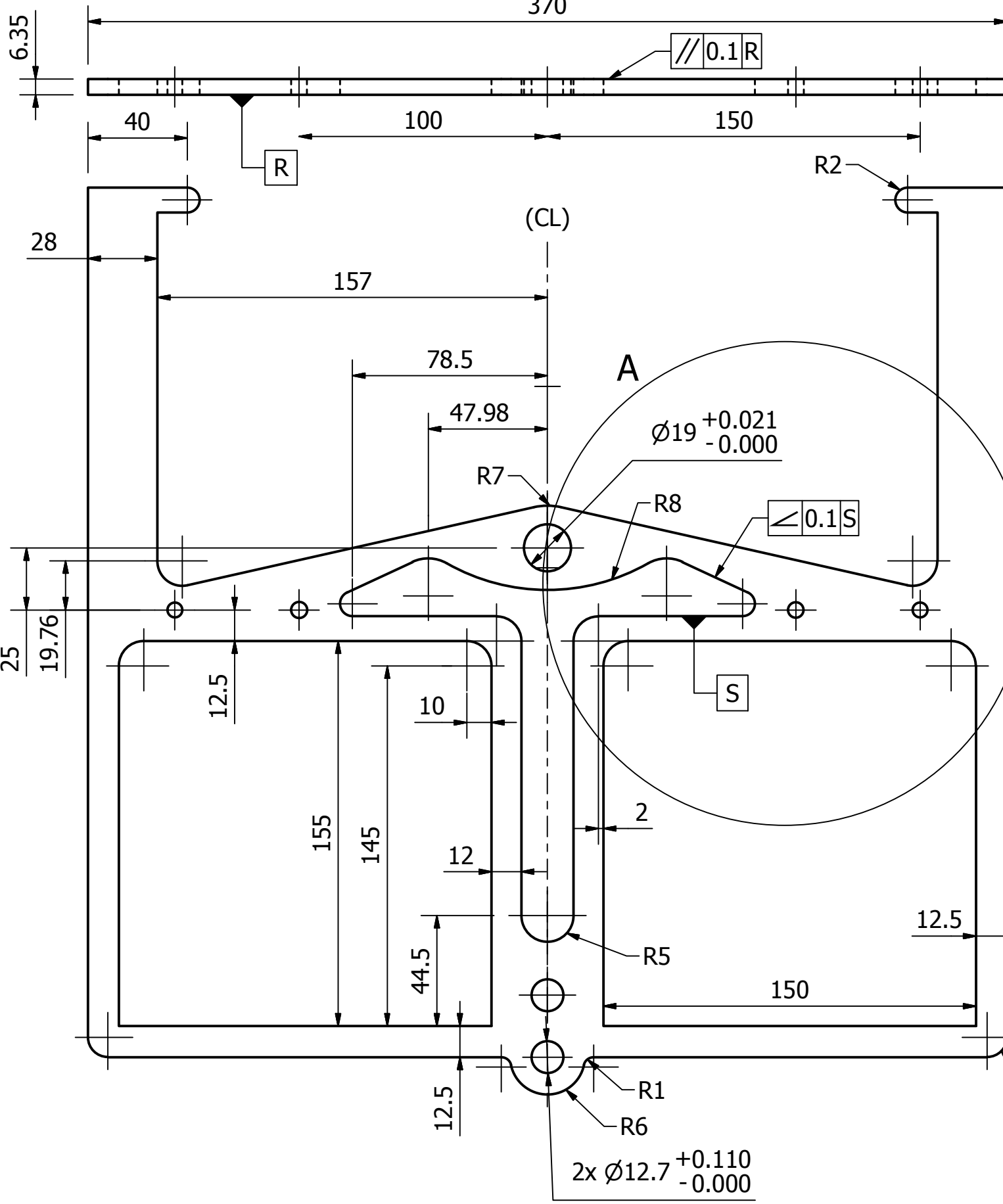
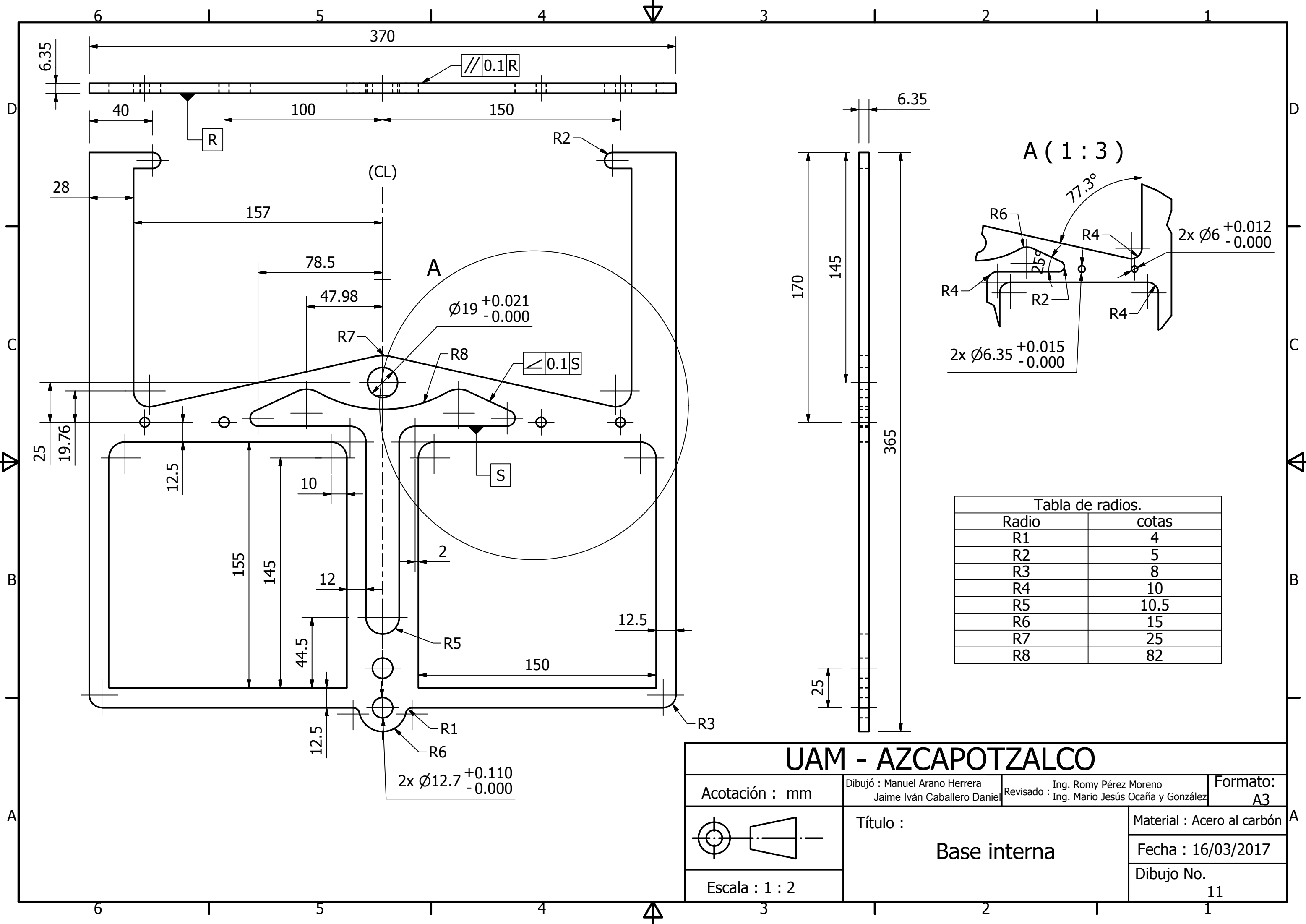
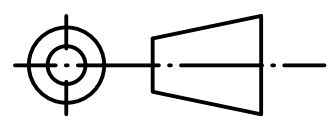
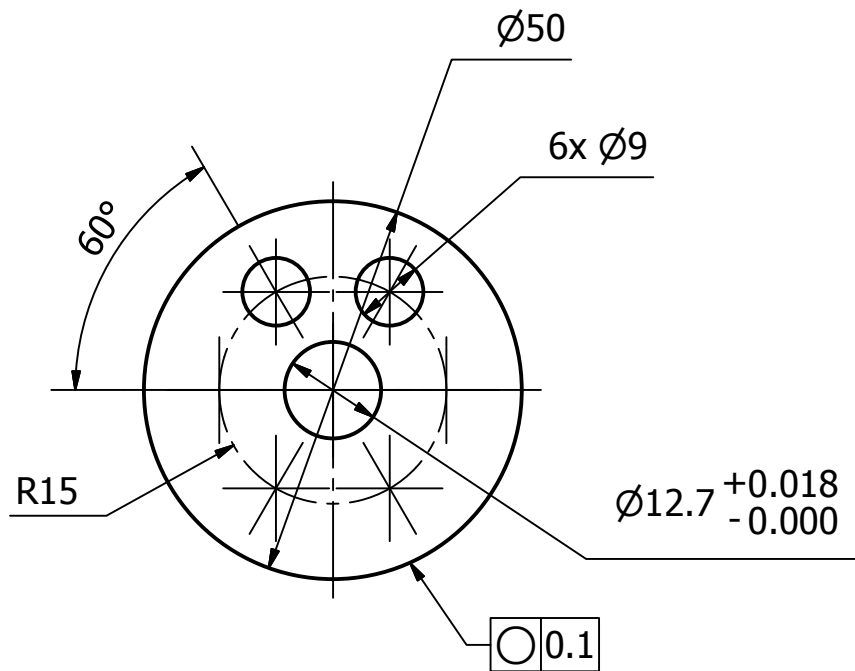
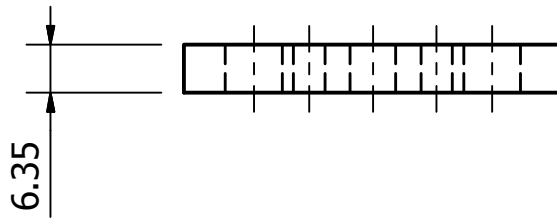


Tabla de radios.

Radio	cotas
R1	4
R2	5
R3	8
R4	10
R5	10.5
R6	15
R7	25
R8	82

<b>UAM - AZCAPOTZALCO</b>		
Acotación : mm	Dibujó : Manuel Arano Herrera Jaime Iván Caballero Daniel	Revisado : Ing. Romy Pérez Moreno Ing. Mario Jesús Ocaña y González
 Escala : 1 : 2	<b>Título :</b>  <b>Base interna</b>	Formato: A3
		Material : Acero al carbón
		Fecha : 16/03/2017
		Dibujo No. 11

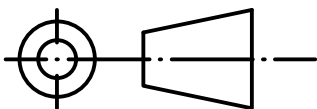


# UAM - AZCAPOTZALCO

Acotación : mm

Dibujó : Manuel Arano Herrera  
Jaime Iván Caballero Daniel

Revisado : Ing. Romy Pérez Moreno  
Ing. Mario Jesús Ocaña y González



Título :

Rueda

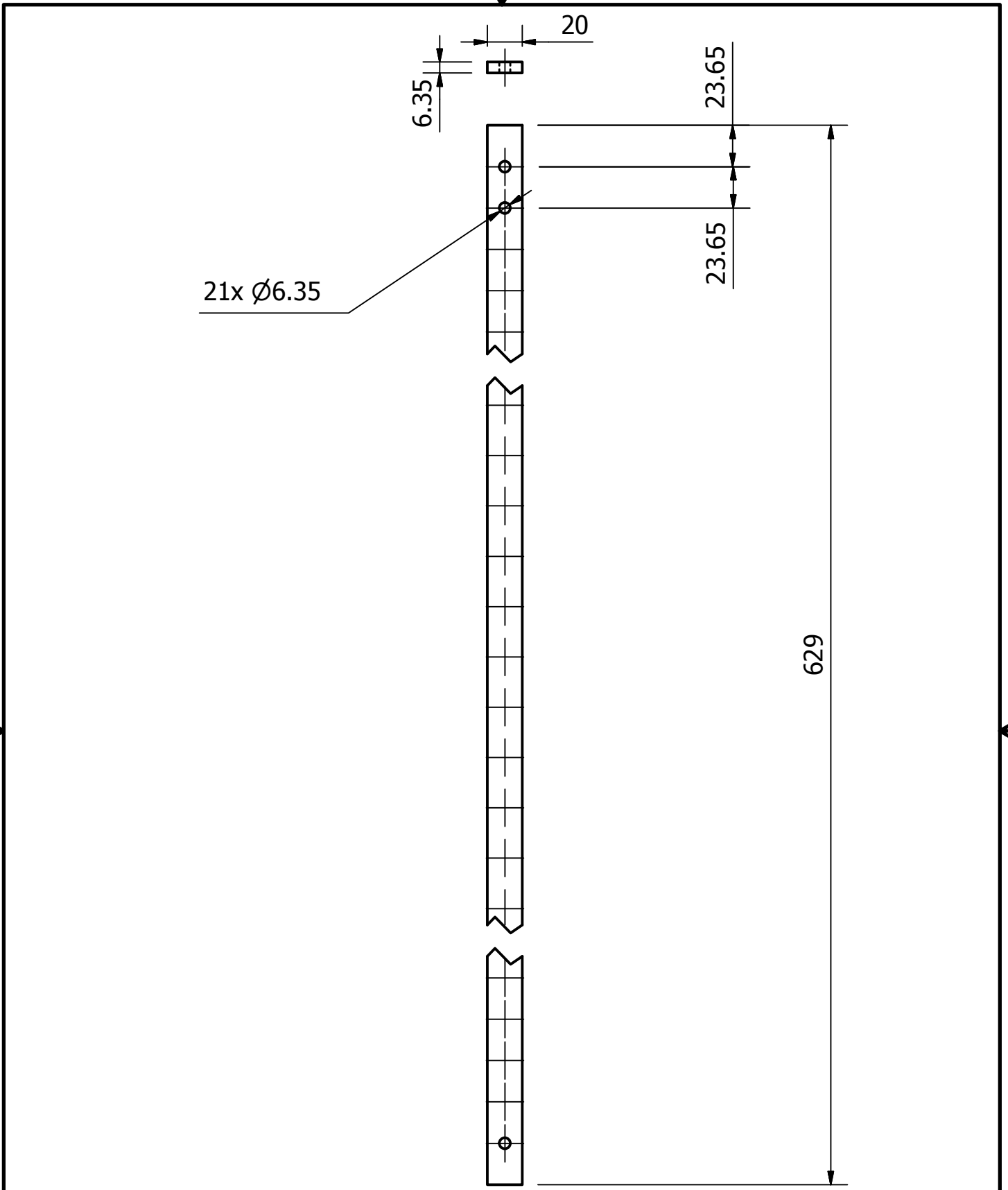
Material : Acero al carbón

Fecha : 16/03/2017

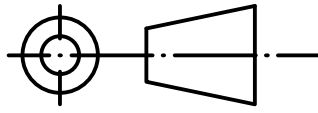
Dibujo No.

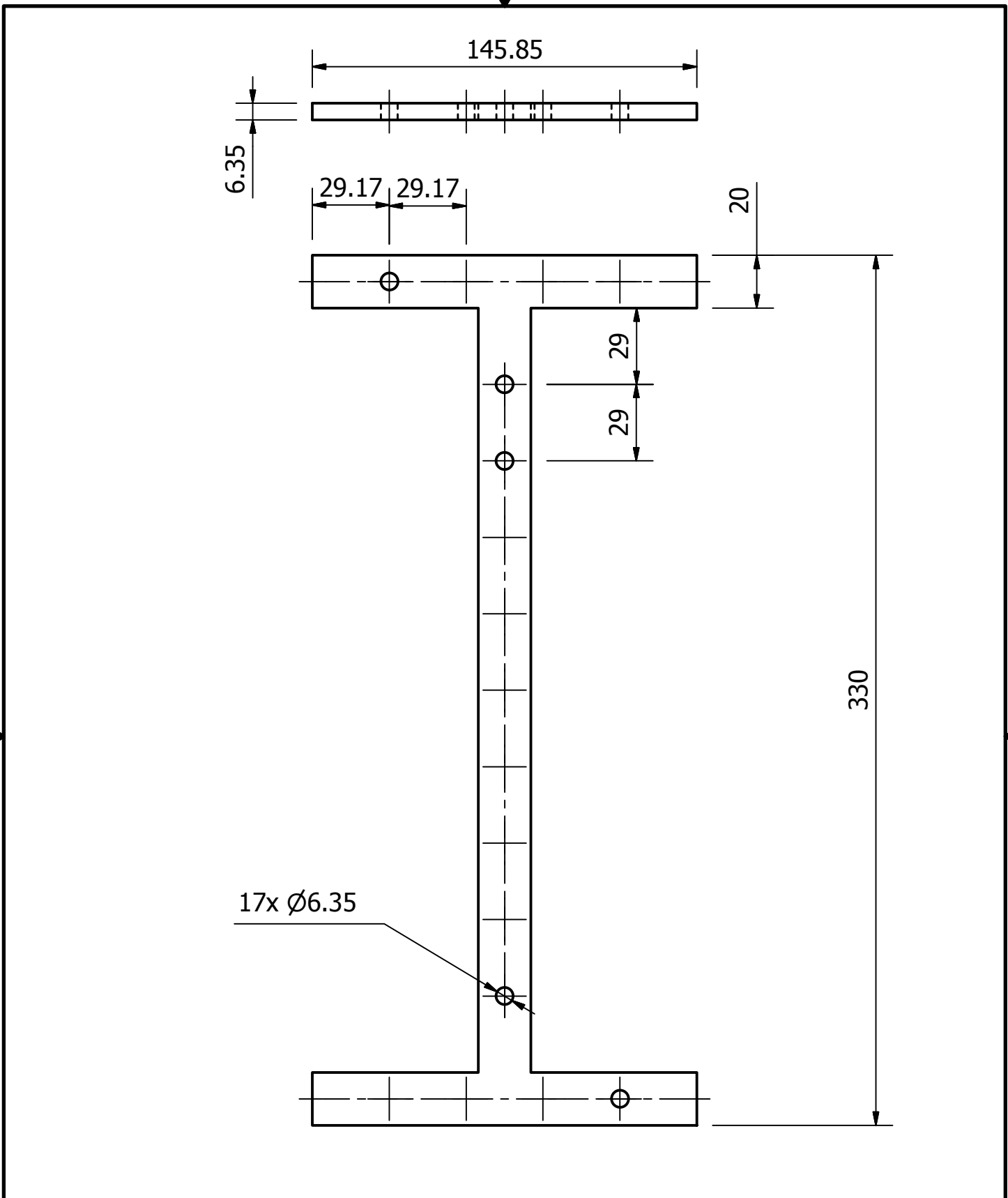
12 A4

Escala : 1 : 1

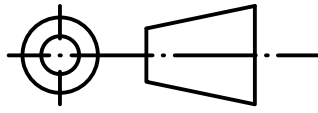


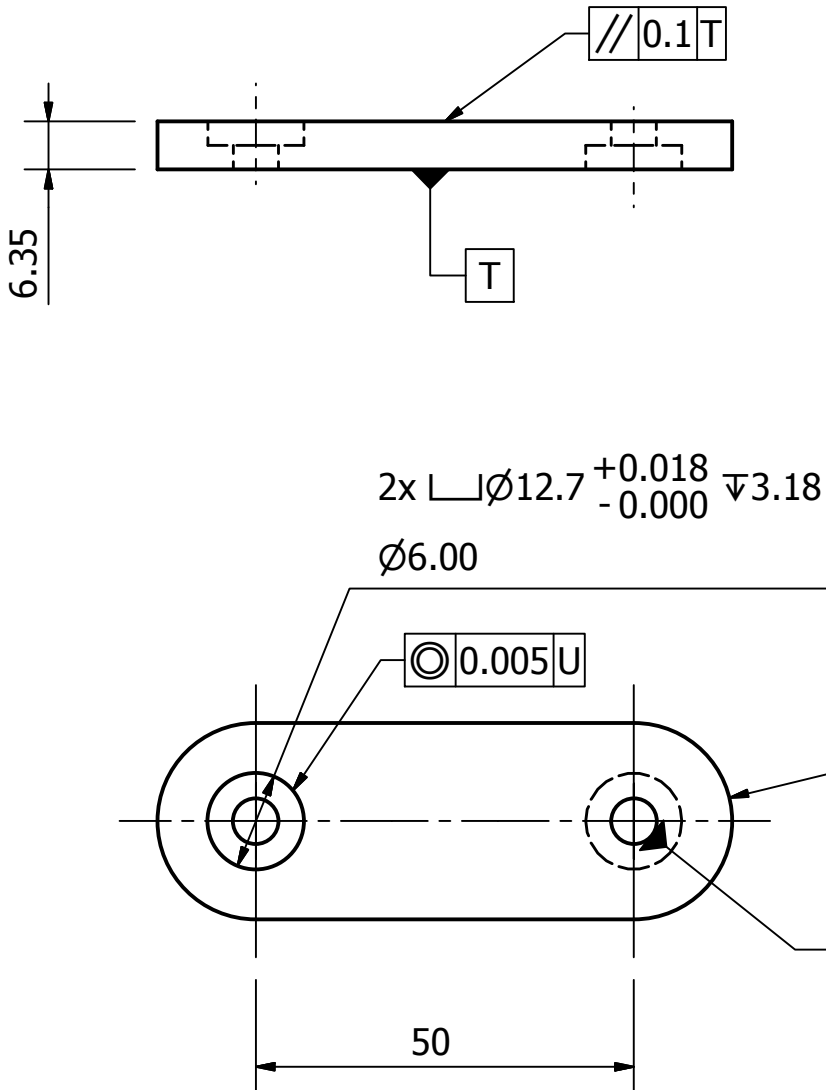
# UAM - AZCAPOTZALCO

Acotación : mm	Dibujó : Manuel Arano Herrera Jaime Iván Caballero Daniel	Revisado : Ing. Romy Pérez Moreno Ing. Mario Jesús Ocaña y González
	Título :  <h2>Base horizontal.</h2>	Material : Acero al carbón
Escala : 1 : 3		Fecha : 05/12/2016
		Dibujo No. 13 A4

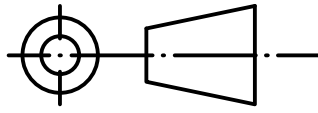


# UAM - AZCAPOTZALCO

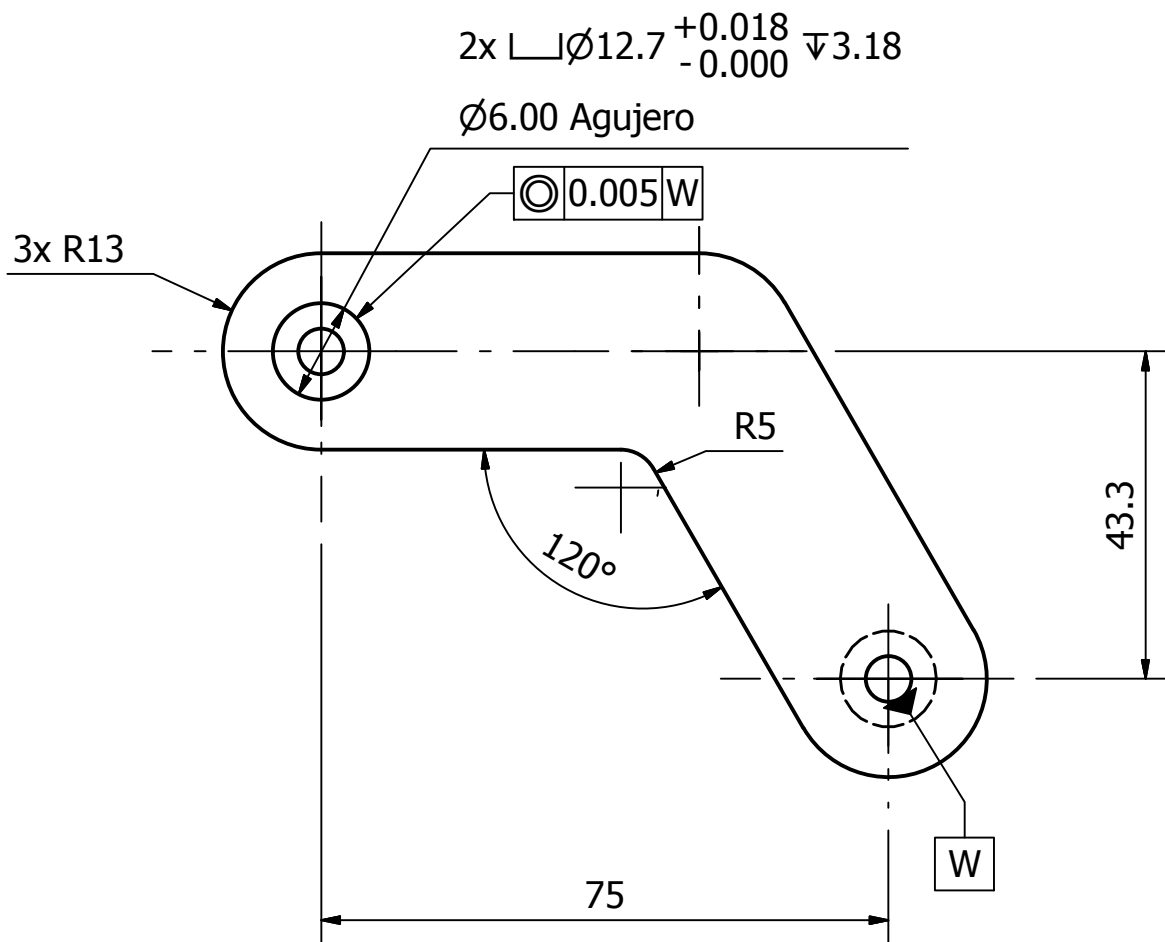
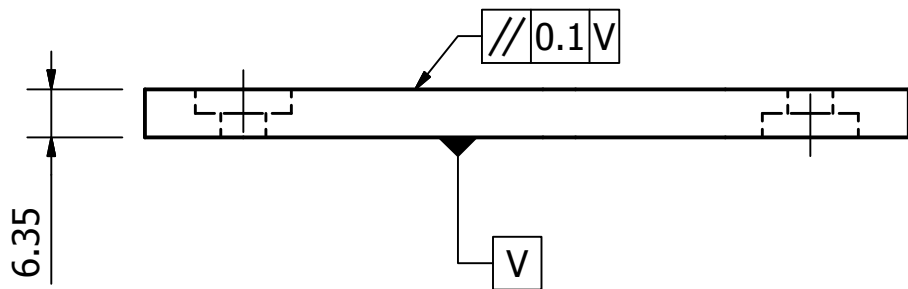
Acotación : mm	Dibujó : Manuel Arano Herrera Jaime Iván Caballero Daniel	Revisado : Ing. Romy Pérez Moreno Ing. Mario Jesús Ocaña y González
	Título :  <b>Base vertical.</b>	Material : Acero al carbón Fecha : 05/12/2016
Escala : 1 : 2		Dibujo No. 14 A4



# UAM - AZCAPOTZALCO

Acotación : mm	Dibujó : Manuel Arano Herrera Jaime Iván Caballero Daniel	Revisado : Ing. Romy Pérez Moreno Ing. Mario Jesús Ocaña y González
	Título :  Cigueñal parte 1	Material : Acero al carbón
Escala : 1 : 1		Fecha : 16/03/2017
		Dibujo No. 15 A4



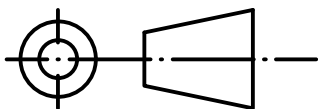


# UAM - AZCAPOTZALCO

Acotación : mm

Dibujó : Manuel Arano Herrera  
Jaime Iván Caballero Daniel

Revisado : Ing. Romy Pérez Moreno  
Ing. Mario Jesús Ocaña y González



Título :

Cigüeñal parte 2

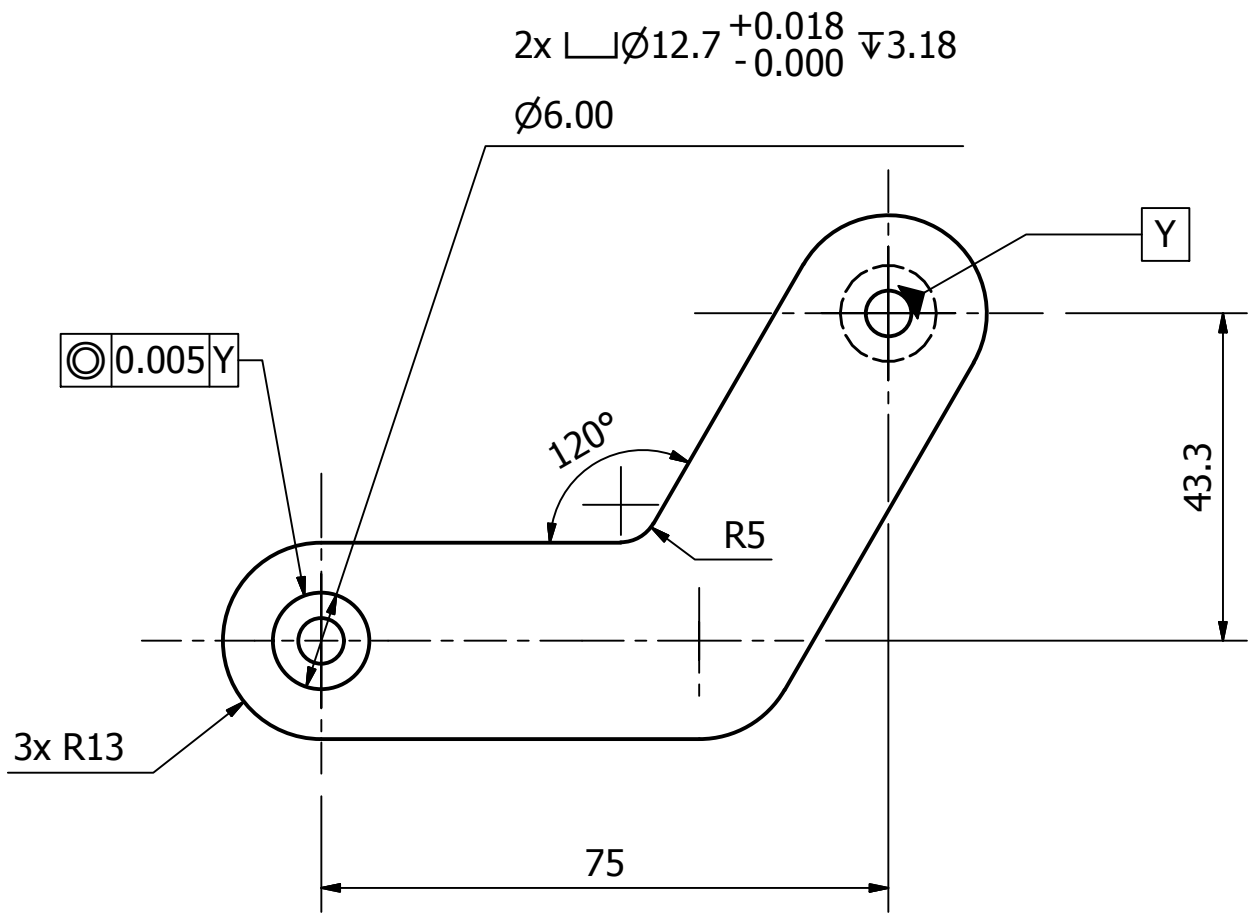
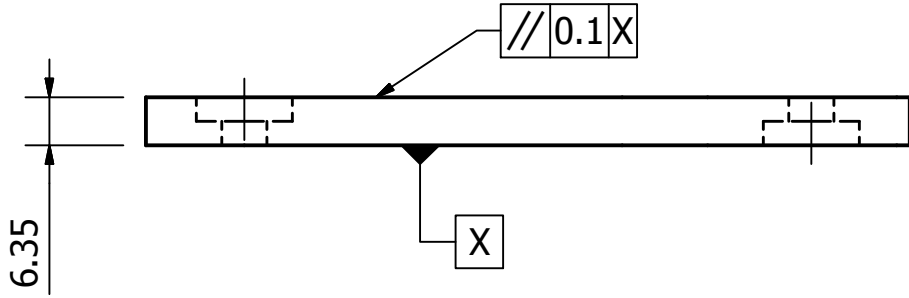
Material : Acero al carbón

Fecha : 16/03/2017

Dibujo No.

Escala : 1 : 1

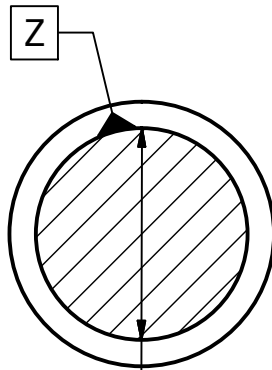
16 A4



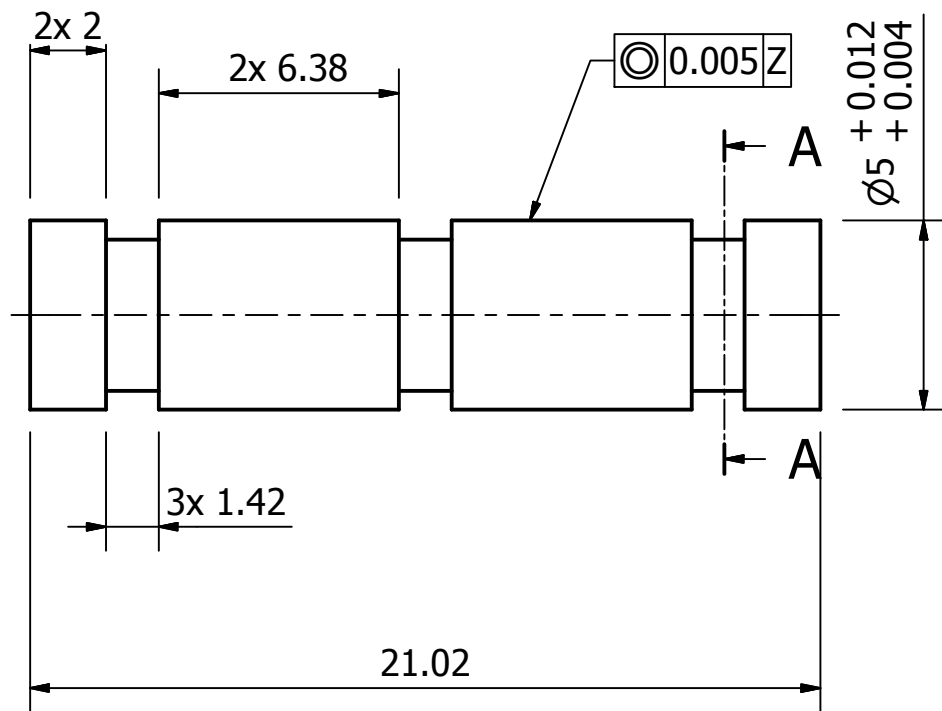
# UAM - AZCAPOTZALCO

Acotación : mm	Dibujó : Manuel Arano Herrera Jaime Iván Caballero Daniel	Revisado : Ing. Romy Pérez Moreno Ing. Mario Jesús Ocaña y González
	<b>Título :</b>  <b>Cigueñal parte 3</b>	Material : Acero al carbón
		Fecha : 16/03/2017
Escala : 1 : 1		Dibujo No. 17 A4

A-A ( 7 : 1 )



$\varnothing 4 \begin{matrix} +0.030 \\ -0.000 \end{matrix}$

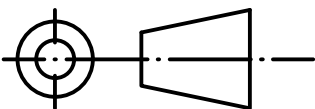


# UAM - AZCAPOTZALCO

Acotación : mm

Dibujó : Manuel Arano Herrera  
Jaime Iván Caballero Daniel

Revisado : Ing. Romy Pérez Moreno  
Ing. Mario Jesús Ocaña y González



Título:  
**Perno de tres ranuras.**

Material : Acero pulido

Fecha : 16/03/2017

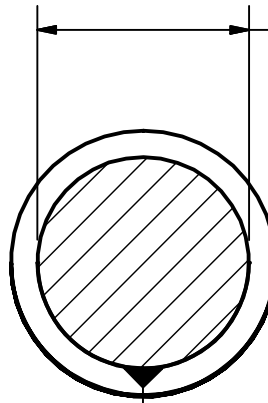
Dibujo No.

18 A4

Escala : 5 : 1

A-A ( 7 : 1 )

$\varnothing 4 \begin{matrix} +0.030 \\ -0.000 \end{matrix}$

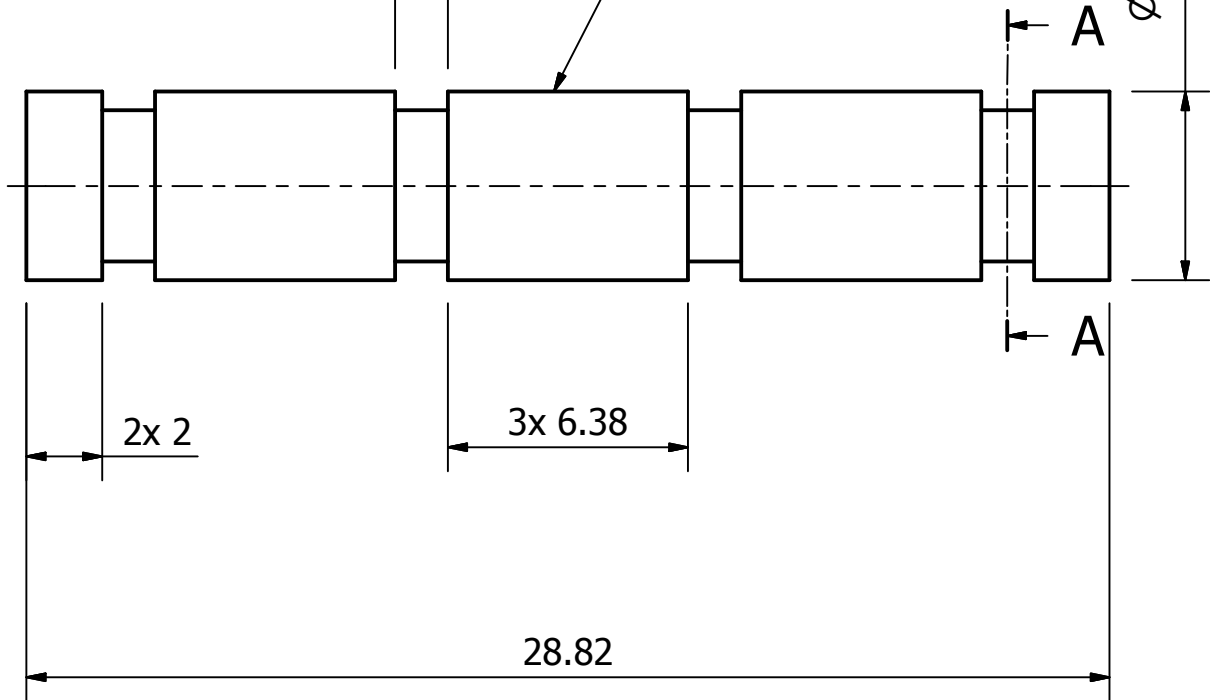


AB

4x 1.42

$\text{◎} 0.005 \text{ AB}$

$\varnothing 5 \begin{matrix} +0.012 \\ +0.004 \end{matrix}$

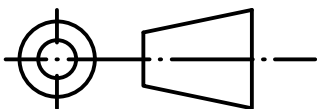


## UAM - AZCAPOTZALCO

Acotación : mm

Dibujó : Manuel Arano Herrera  
Jaime Iván Caballero Daniel

Revisado : Ing. Romy Pérez Moreno  
Ing. Mario Jesús Ocaña y González



Título:

Perno de cuatro ranuras.

Material : Acero pulido

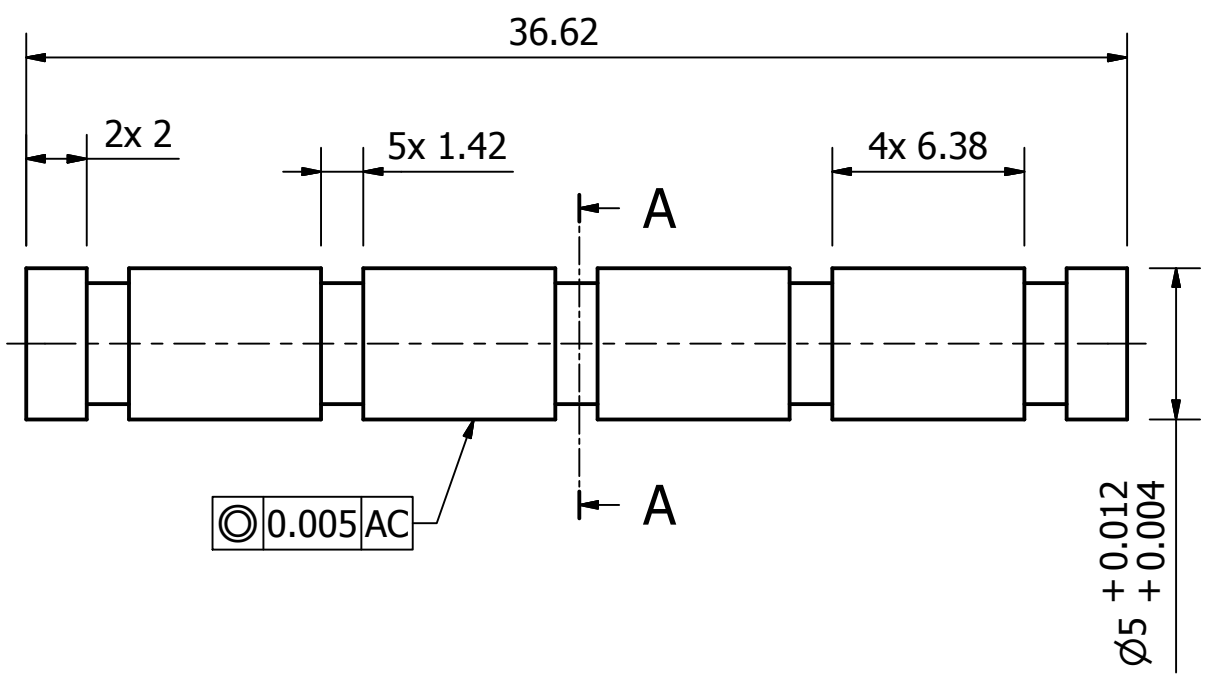
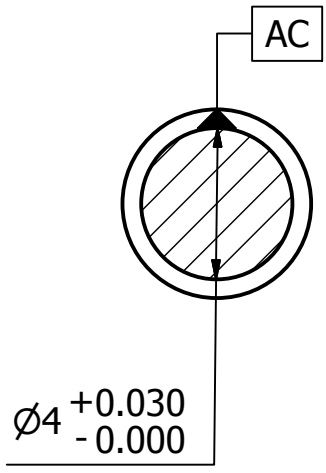
Fecha : 16/03/2017

Dibujo No.

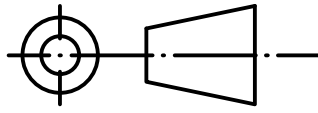
Escala : 5 : 1

19 A4

A-A ( 5 : 1 )

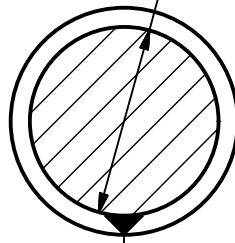


# UAM - AZCAPOTZALCO

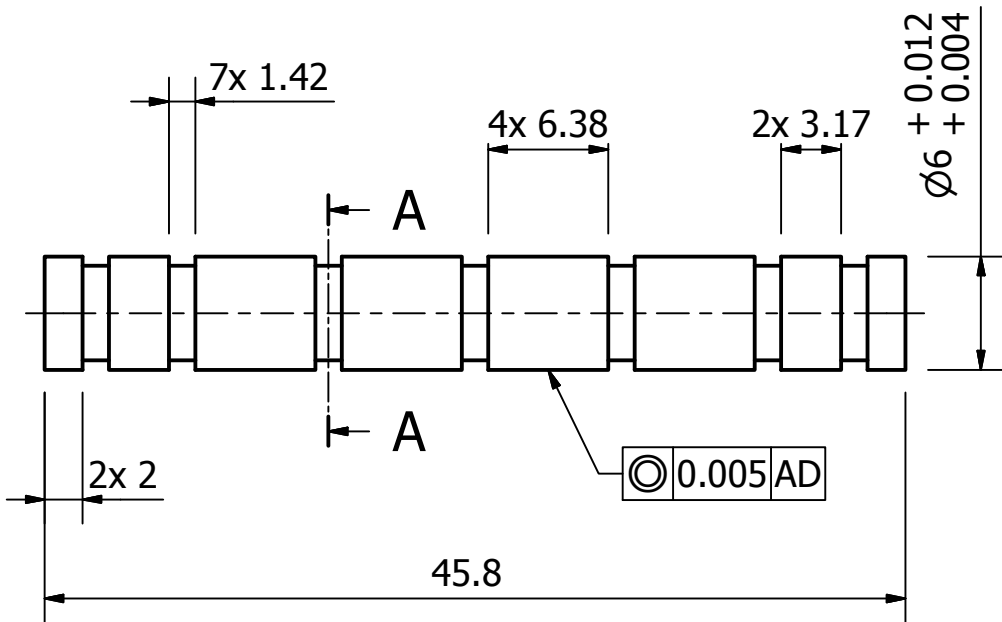
Acotación : mm	Dibujó : Manuel Arano Herrera Jaime Iván Caballero Daniel	Revisado : Ing. Romy Pérez Moreno Ing. Mario Jesús Ocaña y González
	Título: <b>Perno de cinco ranuras.</b>	Material : Acero pulido
Escala : 4 : 1		Fecha : 16/03/2017
		Dibujo No. 20 A4

A-A ( 5 : 1 )

$\varnothing 5 \begin{matrix} +0.030 \\ -0.000 \end{matrix}$



AD

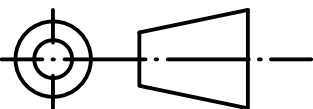


# UAM - AZCAPOTZALCO

Acotación : mm

Dibujó : Manuel Arano Herrera  
Jaime Iván Caballero Daniel

Revisado : Ing. Romy Pérez Moreno  
Ing. Mario Jesús Ocaña y González



Título :

Perno de siete ranuras.

Material : Acero pulido

Fecha : 16/03/2017

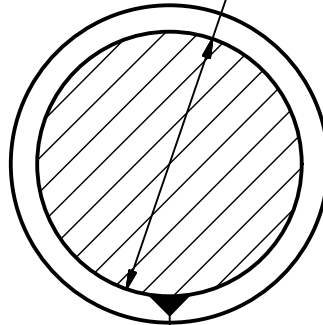
Dibujo No.

21 A4

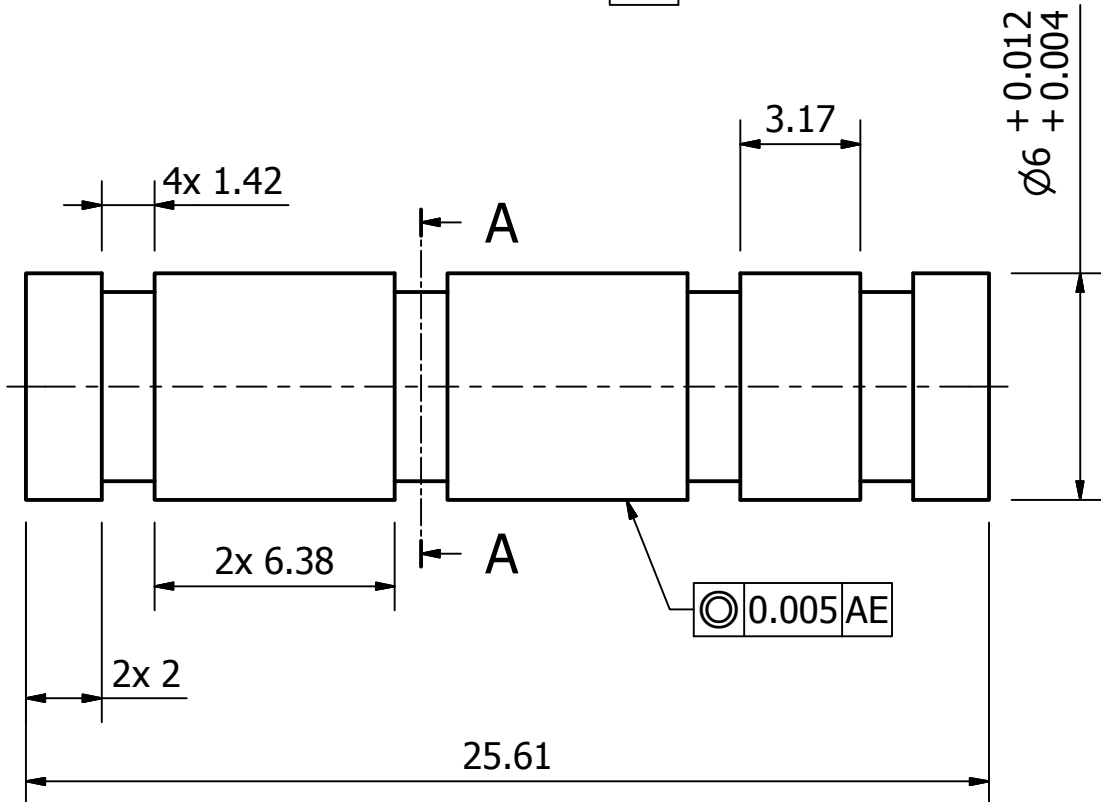
Escala : 2.5 : 1

A-A ( 7 : 1 )

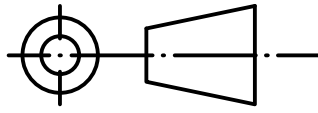
$\varnothing 5 \begin{matrix} +0.030 \\ -0.000 \end{matrix}$



AE

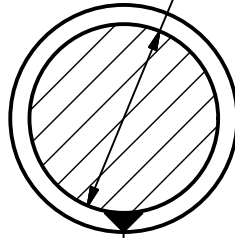


# UAM - AZCAPOTZALCO

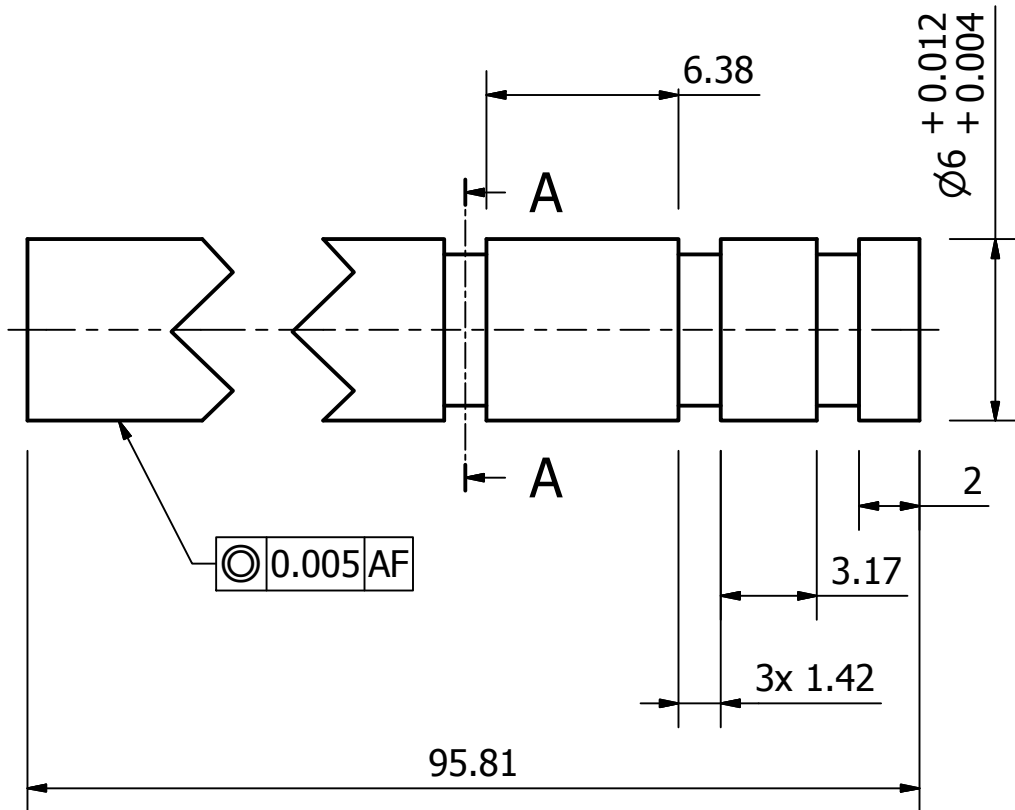
Acotación : mm	Dibujó : Manuel Arano Herrera Jaime Iván Caballero Daniel	Revisado : Ing. Romy Pérez Moreno Ing. Mario Jesús Ocaña y González
	Título : <b>Perno externo para cigueñal.</b>	Material : Acero pulido Fecha : 16/03/2017
Escala : 5 : 1		Dibujo No. 22 A4

A-A ( 5 : 1 )

$\varnothing 5^{+0.030}_{-0.000}$



AF

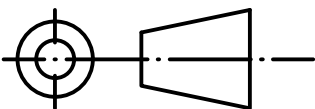


## UAM - AZCAPOTZALCO

Acotación : mm

Dibujó : Manuel Arano Herrera  
Jaime Iván Caballero Daniel

Revisado : Ing. Romy Pérez Moreno  
Ing. Mario Jesús Ocaña y González



Título :  
Perno interno para cigüeñal.

Material : Acero pulido

Fecha : 16/03/2017

Escala : 4 : 1

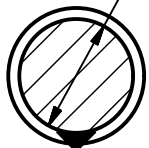
Dibujo No.

23 A4



A-A (3 : 1)

$\varnothing 5 \begin{matrix} +0.030 \\ -0.000 \end{matrix}$



AG

2x 2

A

A

11x 6.38

4x 14.1

16x 1.42

$\varnothing 6 \begin{matrix} +0.012 \\ +0.004 \end{matrix}$

$\text{◎} 0.005 \text{ AG}$

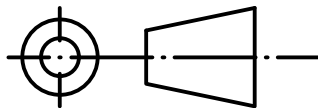
153.3

# UAM - AZCAPOTZALCO

Acotación : mm

Dibujó : Manuel Arano Herrera  
Jaime Iván Caballero Daniel

Revisado : Ing. Romy Pérez Moreno  
Ing. Mario Jesús Ocaña y González



Título :

Eje izquierdo.

Material : Acero pulido

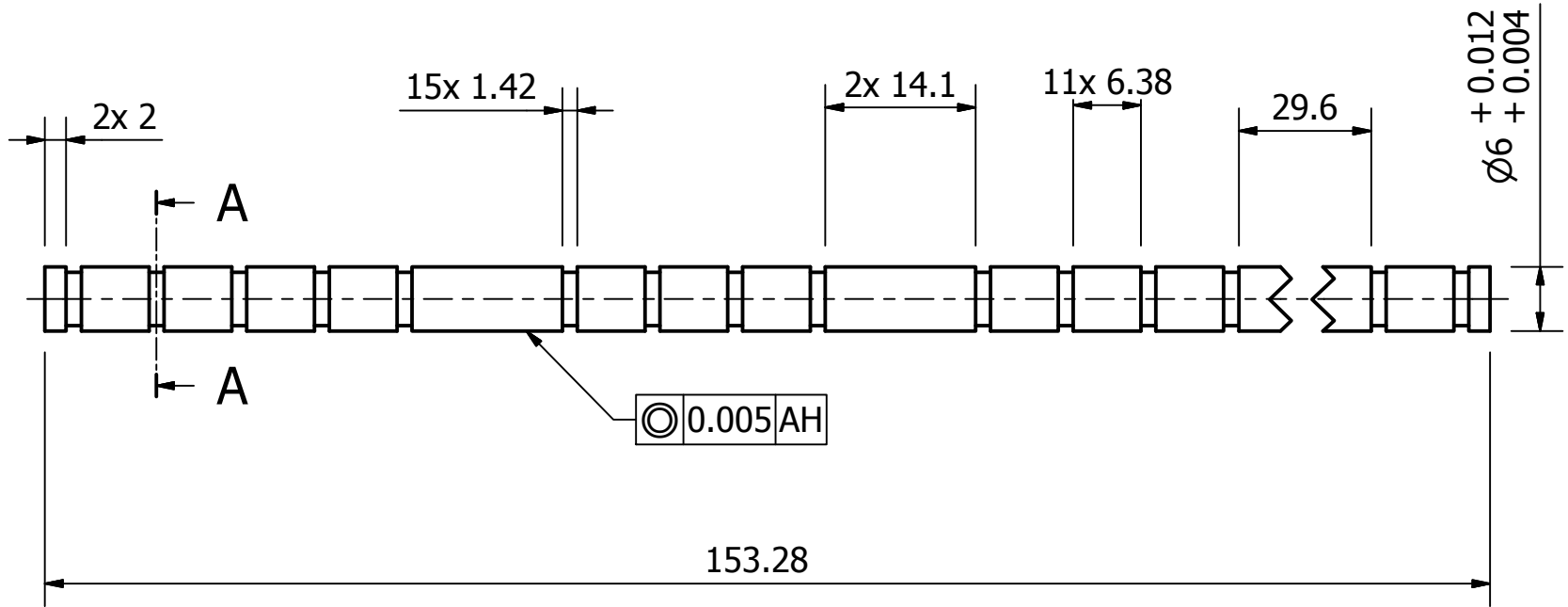
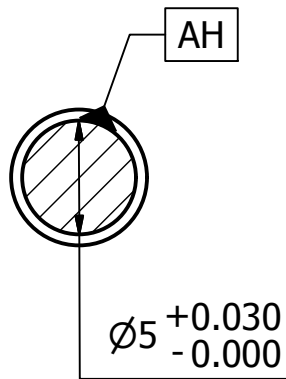
Fecha : 16/03/2017

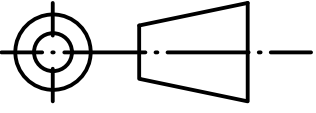
Dibujo No.

24 A4

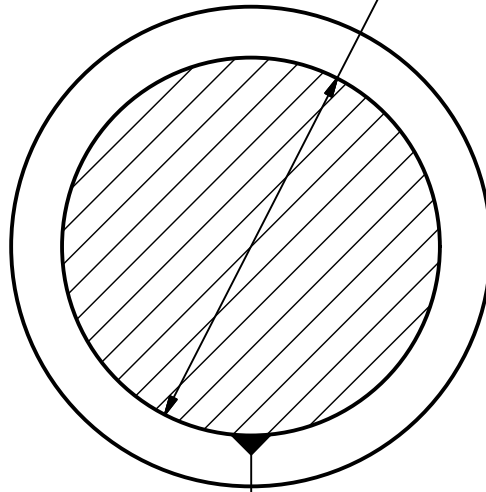
Escala : 1.5 : 1

A-A ( 3 : 1 )

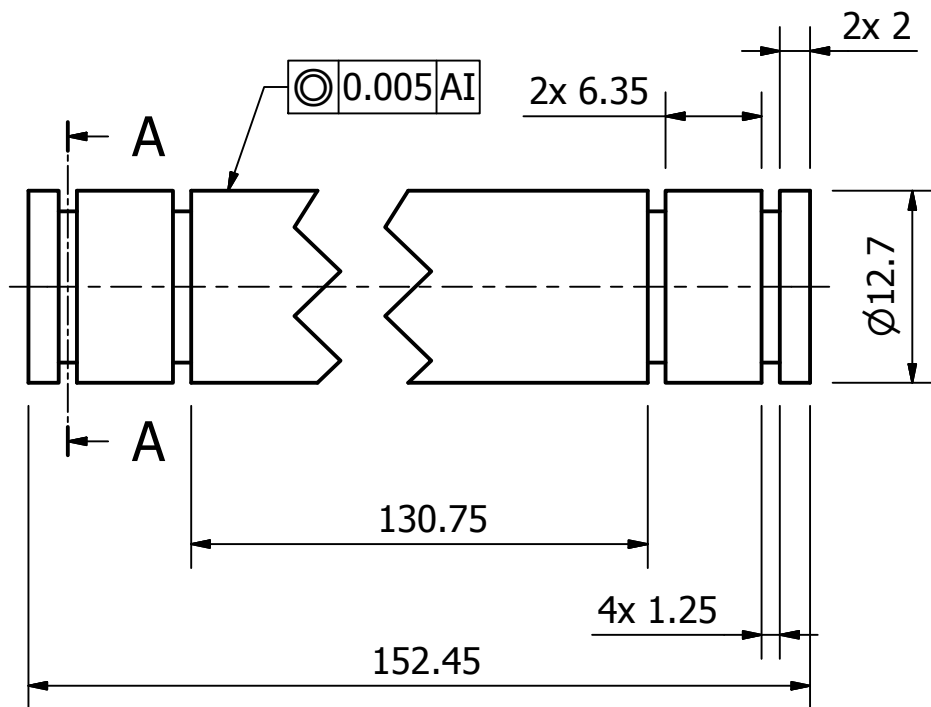


<b>UAM - AZCAPOTZALCO</b>		
Acotación : mm	Dibujó : Manuel Arano Herrera Jaime Iván Caballero Daniel	Revisado : Ing. Romy Pérez Moreno Ing. Mario Jesús Ocaña y González
	Título :  Eje derecho.	Material : Acero pulido
		Fecha : 16/03/2017
Escala : 1.5 : 1		Dibujo No. 25 A4

A-A ( 5 : 1 )  $\varnothing 10^{+0.030}_{-0.000}$



AI

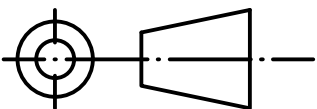


## UAM - AZCAPOTZALCO

Acotación : mm

Dibujó : Manuel Arano Herrera  
Jaime Iván Caballero Daniel

Revisado : Ing. Romy Pérez Moreno  
Ing. Mario Jesús Ocaña y González



Título:

Eje de bases.

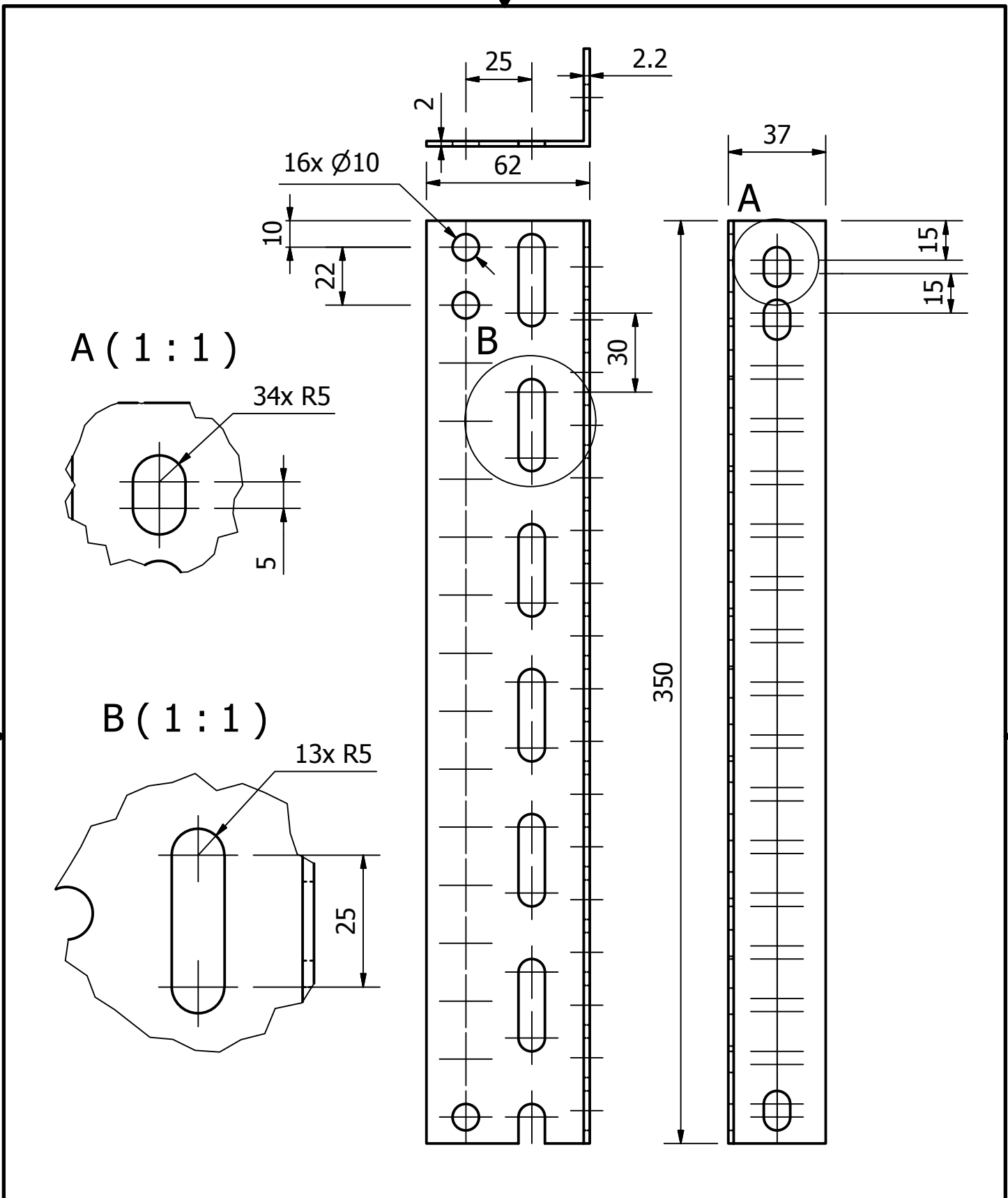
Material : Acero pulido

Fecha : 16/03/2017

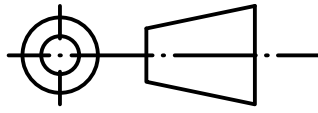
Dibujo No.

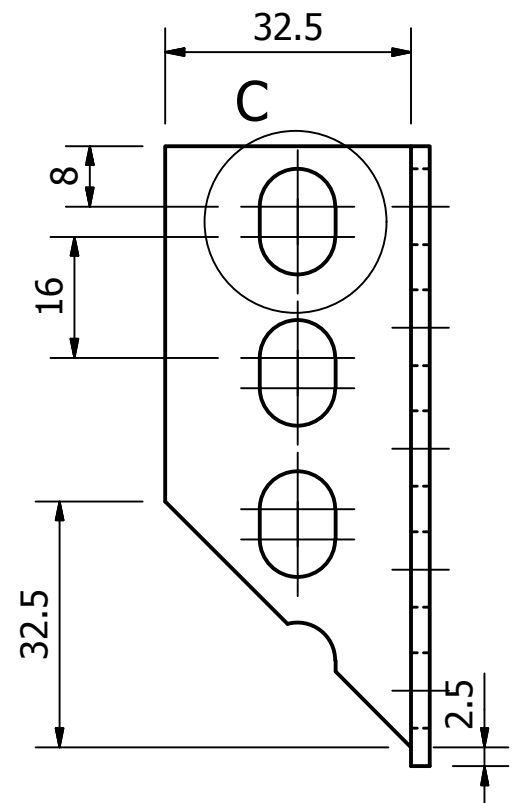
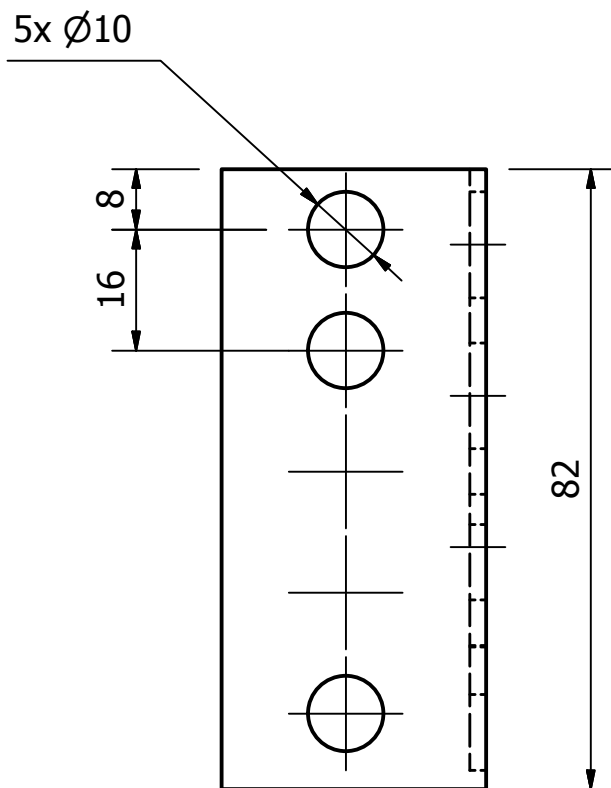
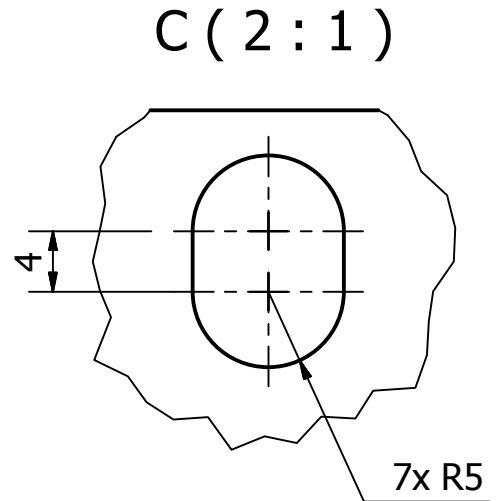
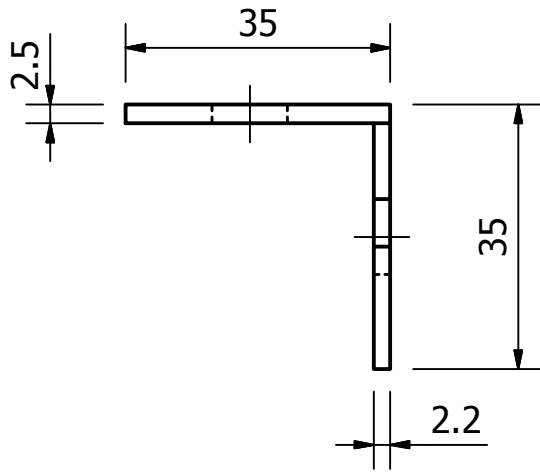
26 A4

Escala : 2 : 1

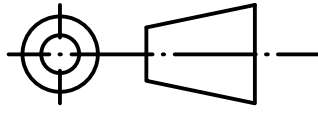


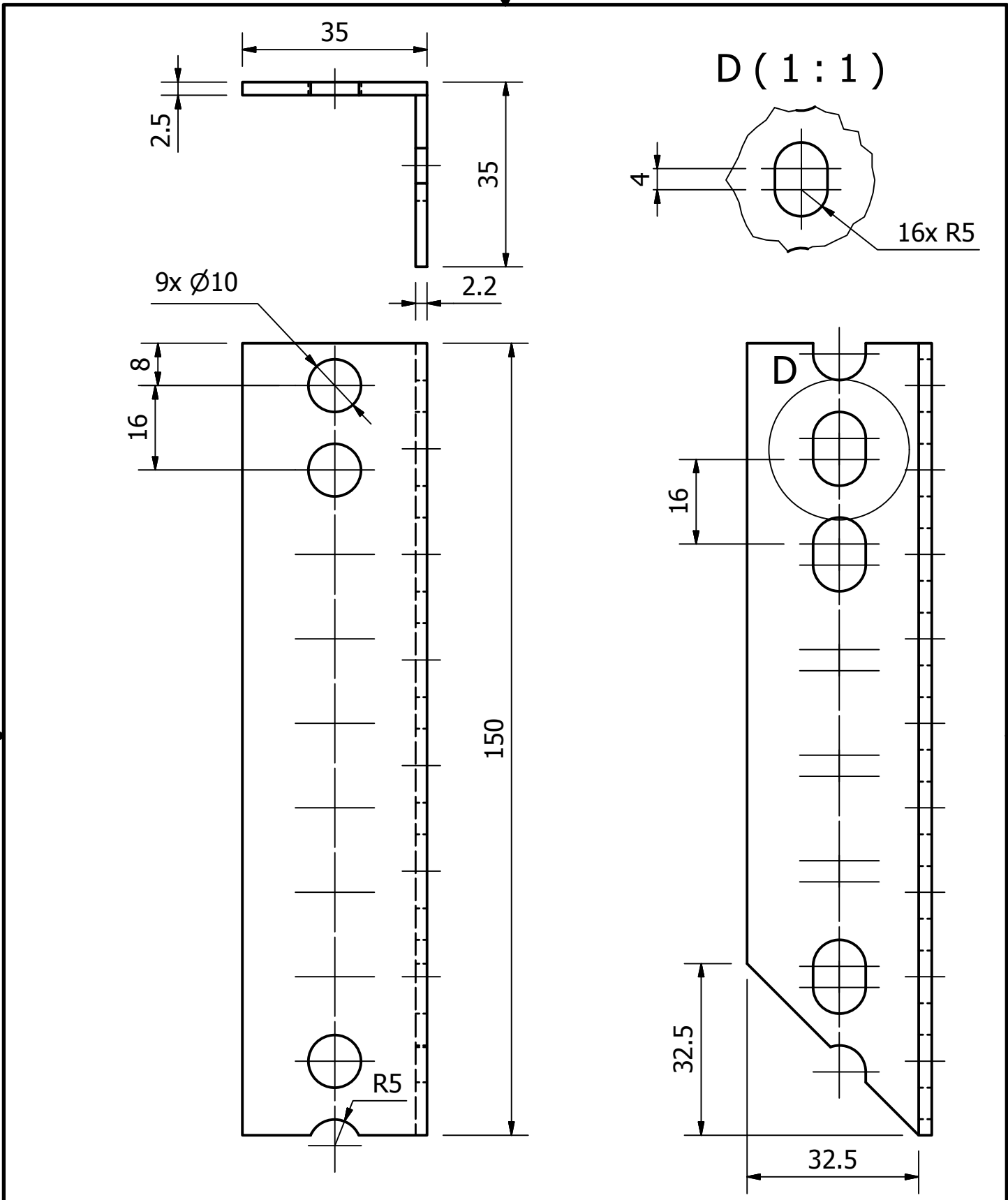
# UAM - AZCAPOTZALCO

Acotación : mm	Dibujó : Manuel Arano Herrera Jaime Iván Caballero Daniel	Revisado : Ing. Romy Pérez Moreno Ing. Mario Jesús Ocaña y González
	Título :  Ángulo para motor.	Material : Acero colado
Escala : 1 : 2		Fecha : 16/03/2017
		Dibujo No. 27 A4

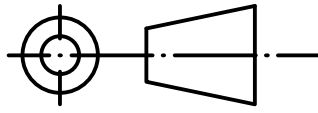


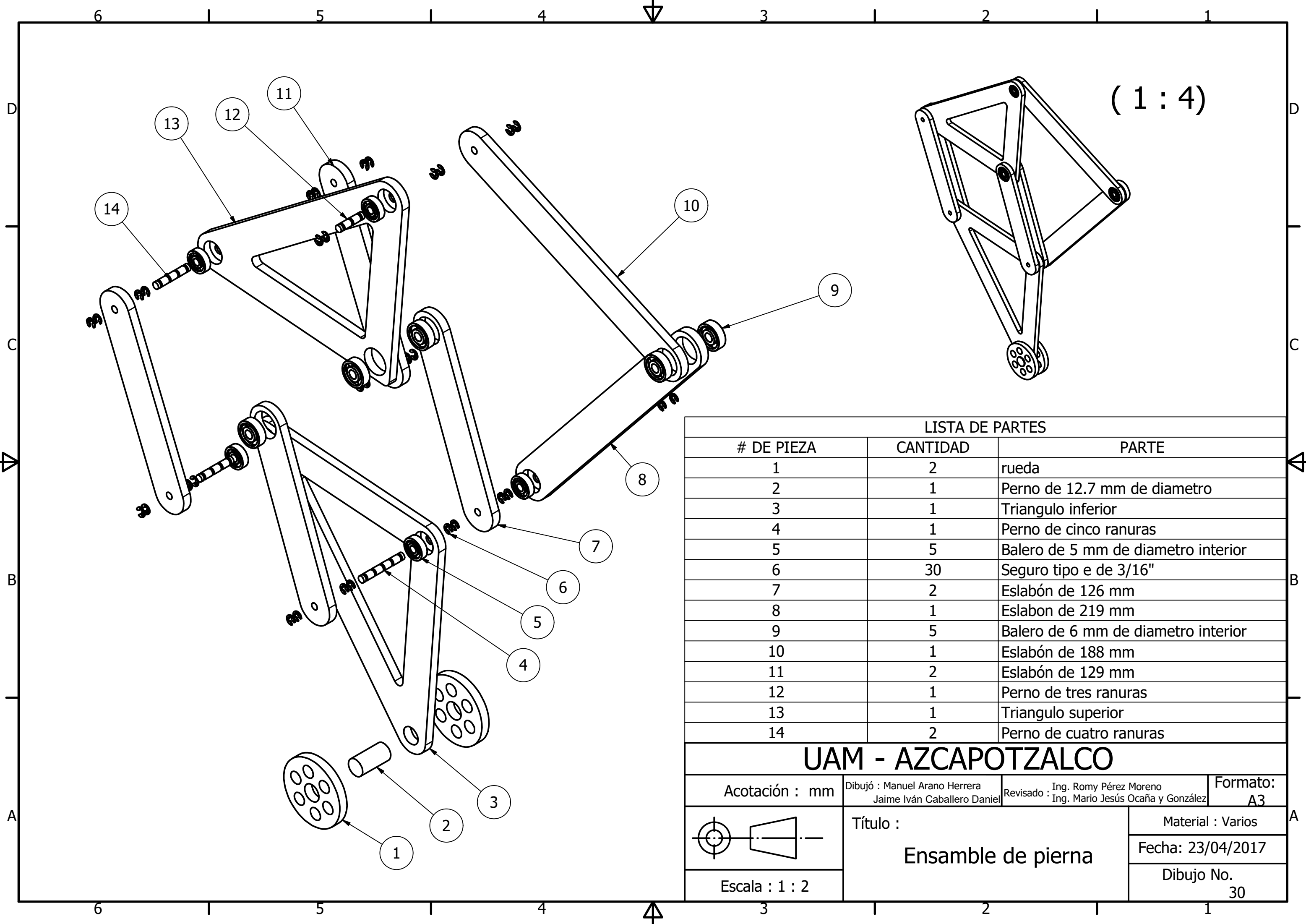
# UAM - AZCAPOTZALCO

Acotación : mm	Dibujó : Manuel Arano Herrera Jaime Iván Caballero Daniel	Revisado : Ing. Romy Pérez Moreno Ing. Mario Jesús Ocaña y González
	Título : Ángulo para batería parte 1	Material : Acero colado
Escala : 1 : 1		Fecha : 16/03/2017
		Dibujo No. 28 A4



# UAM - AZCAPOTZALCO

Acotación : mm	Dibujó : Manuel Arano Herrera Jaime Iván Caballero Daniel	Revisado : Ing. Romy Pérez Moreno Ing. Mario Jesús Ocaña y González
	Título : Ángulo para batería parte 2	Material : Acero colado
Escala : 1 : 1		Fecha : 16/03/2017 Dibujo No. 29 A4

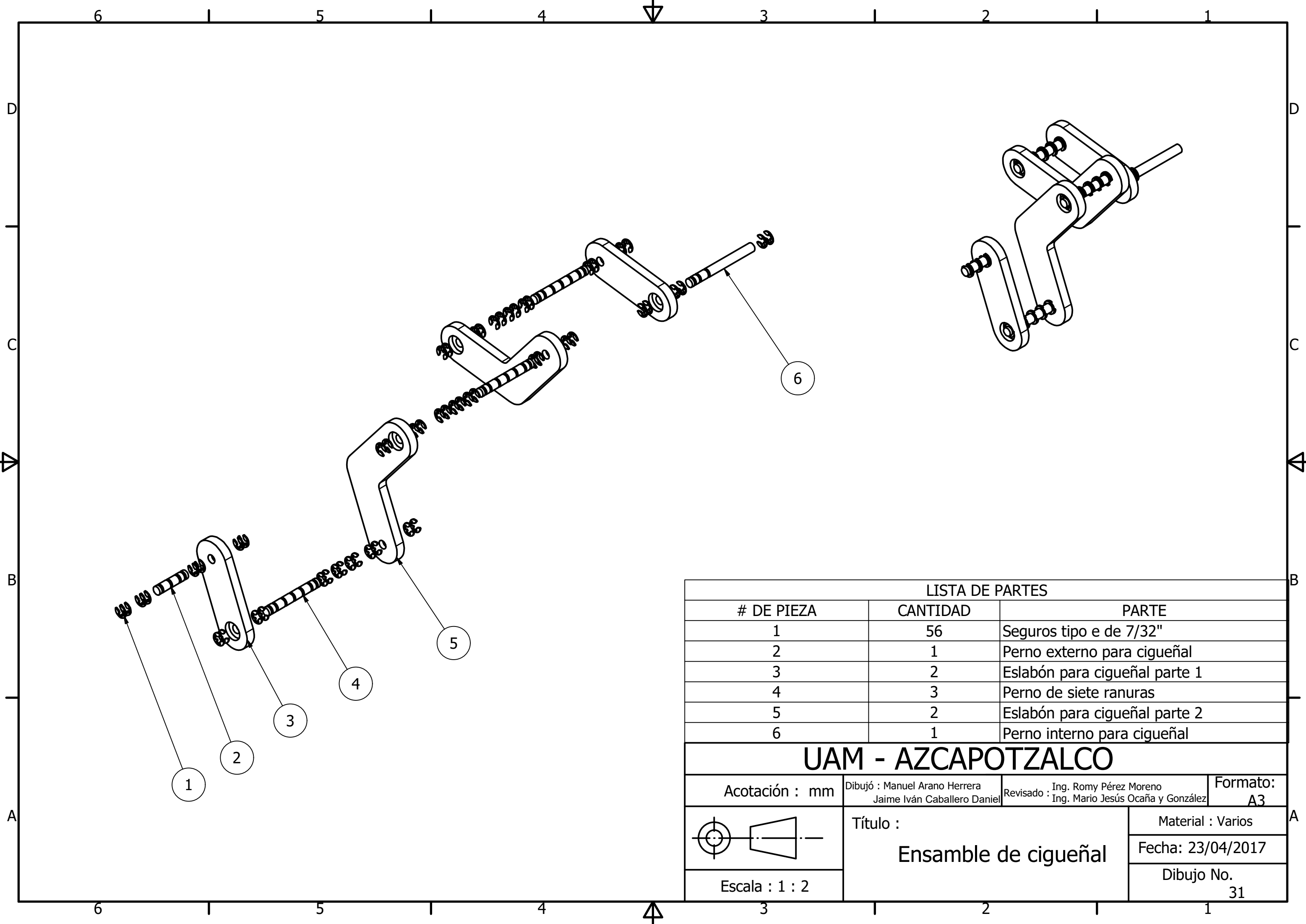


( 1 : 4 )

LISTA DE PARTES		
# DE PIEZA	CANTIDAD	PARTE
1	2	rueda
2	1	Perno de 12.7 mm de diametro
3	1	Triangulo inferior
4	1	Perno de cinco ranuras
5	5	Balero de 5 mm de diametro interior
6	30	Seguro tipo e de 3/16"
7	2	Eslabón de 126 mm
8	1	Eslabon de 219 mm
9	5	Balero de 6 mm de diametro interior
10	1	Eslabón de 188 mm
11	2	Eslabón de 129 mm
12	1	Perno de tres ranuras
13	1	Triangulo superior
14	2	Perno de cuatro ranuras

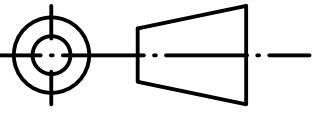
## UAM - AZCAPOTZALCO

Acotación : mm	Dibujó : Manuel Arano Herrera Jaime Iván Caballero Daniel	Revisado : Ing. Romy Pérez Moreno Ing. Mario Jesús Ocaña y González	Formato: A3
	Título :  <b>Ensamble de pierna</b>	Material : Varios	
		Fecha: 23/04/2017	
Escala : 1 : 2			Dibujo No. 30

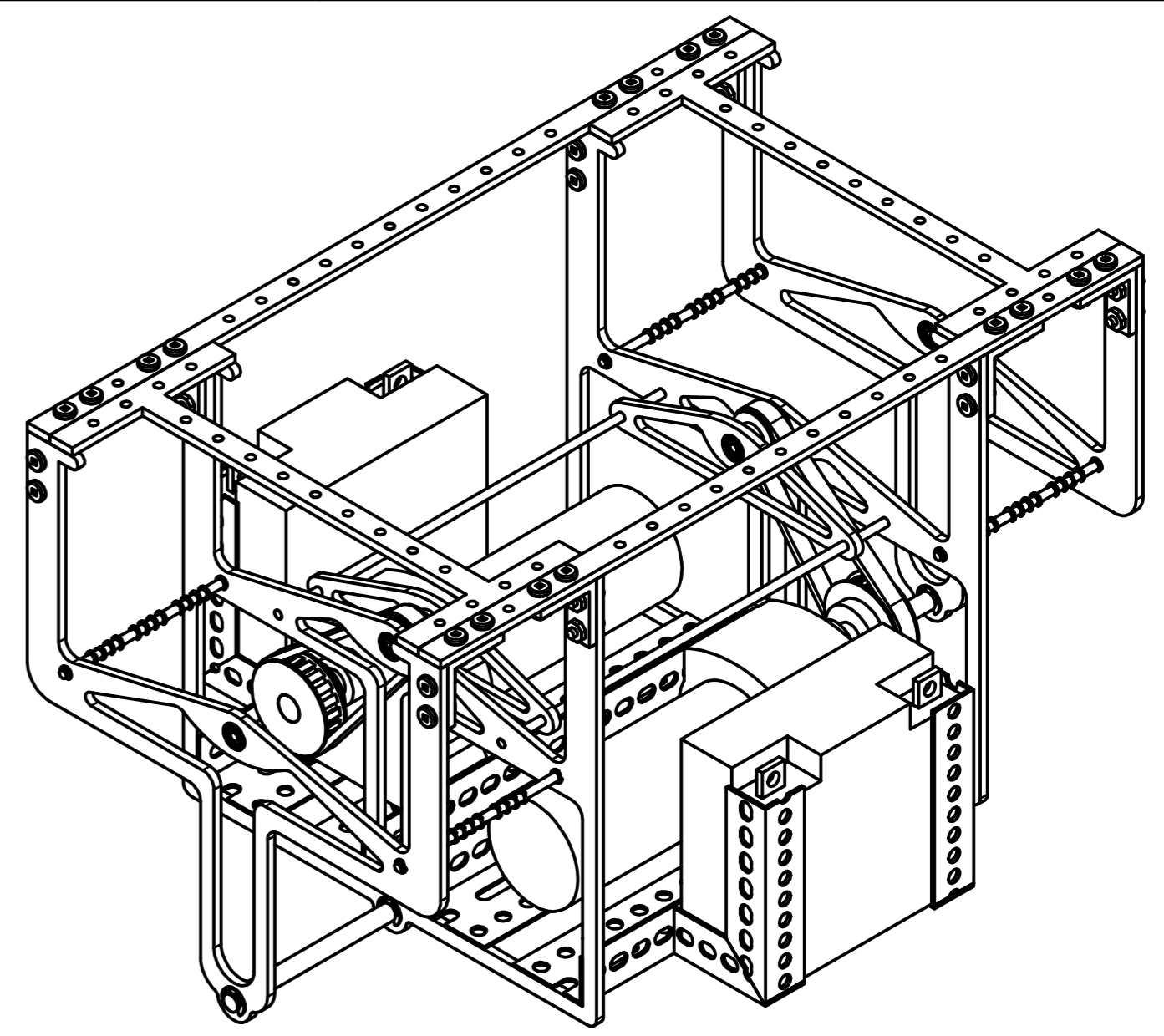
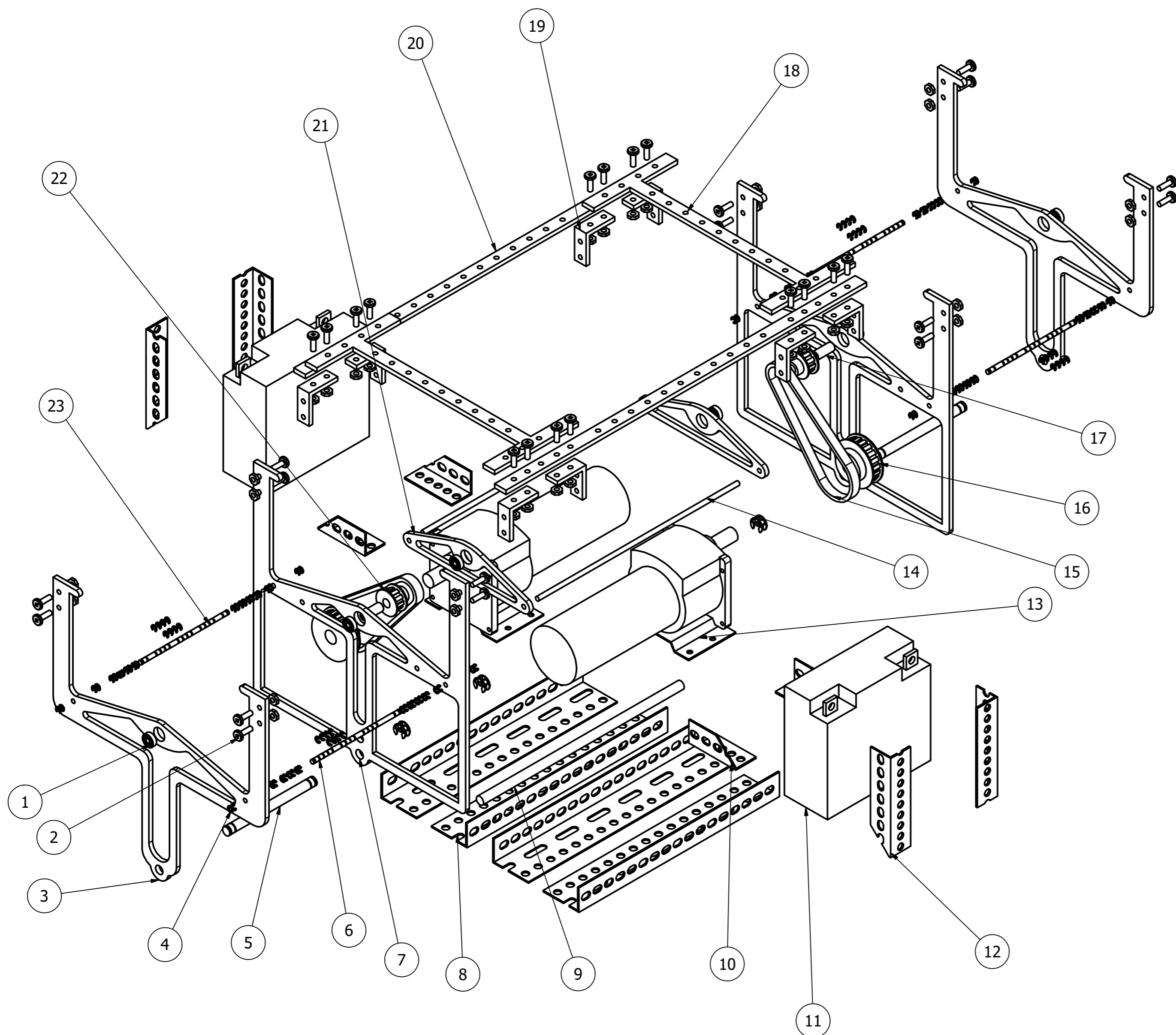


LISTA DE PARTES		
# DE PIEZA	CANTIDAD	PARTE
1	56	Seguros tipo e de 7/32"
2	1	Perno externo para cigüeñal
3	2	Eslabón para cigüeñal parte 1
4	3	Perno de siete ranuras
5	2	Eslabón para cigüeñal parte 2
6	1	Perno interno para cigüeñal

## UAM - AZCAPOTZALCO

Acotación : mm	Dibujó : Manuel Arano Herrera Jaime Iván Caballero Daniel	Revisado : Ing. Romy Pérez Moreno Ing. Mario Jesús Ocaña y González	Formato: A3
	Título :  <h3 style="text-align: center;">Ensamble de cigüeñal</h3>		Material : Varios
			Escala : 1 : 2
			Dibujo No. 31



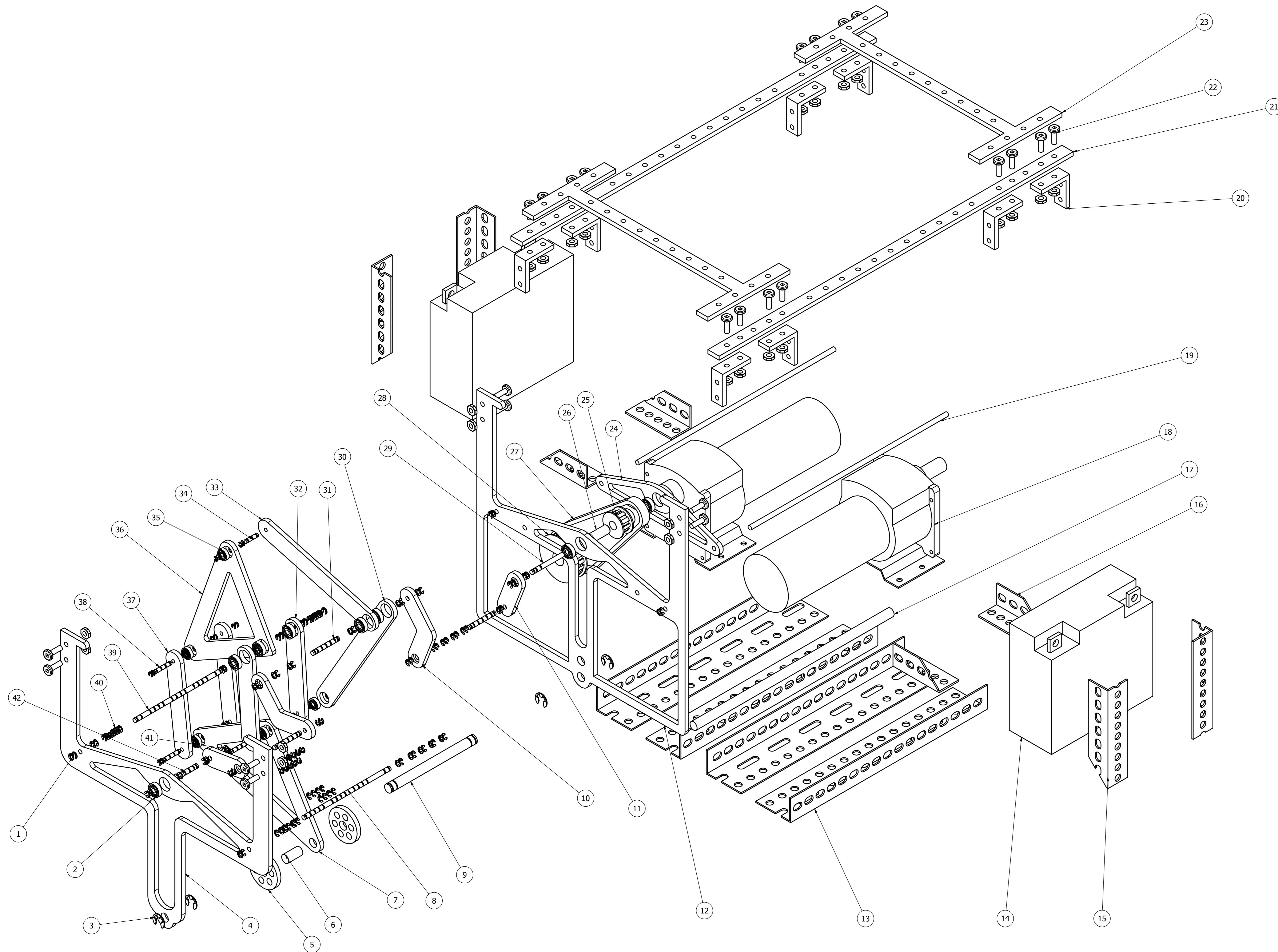
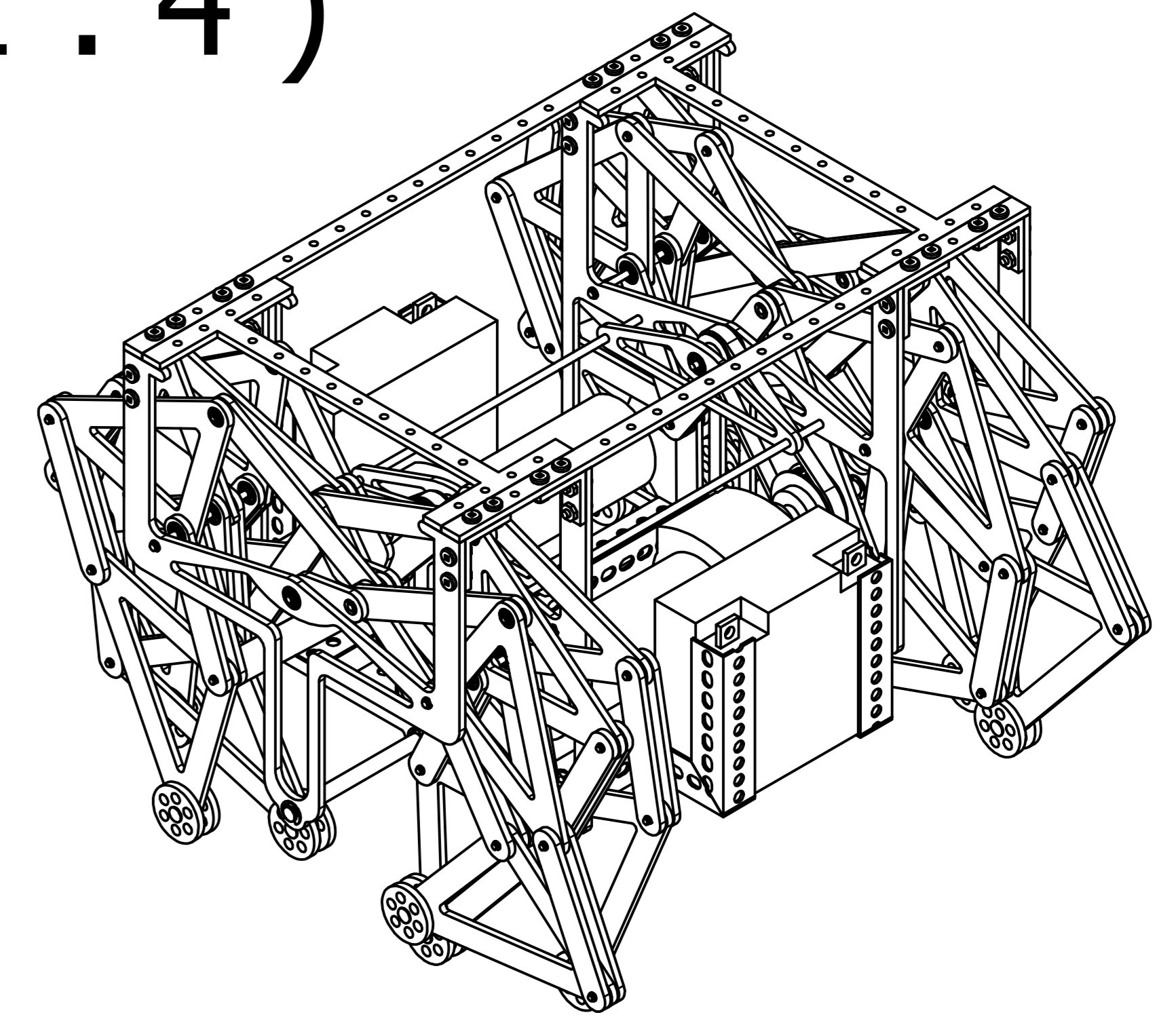


LISTA DE PARTES		
# DE PIEZA	CANTIDAD	PARTE
1	6	Balero de 6 mm de diametro interior
2	32	Tornillo tipo allen (3/16" x 1")
3	2	Base externa
4	124	Seguros tipo e de 7/32"
5	2	Eje de bases
6	2	Eje derecho
7	2	Base interna
8	4	Ángulo para motor
9	1	Barra de 1.27 cm x 35 cm
10	4	Ángulo para bateria parte 1
11	2	Bateria de 12v
12	4	Ángulo para bateria parte 2
13	2	Motor Dayton mod: 4Z147B
14	2	Barra de 0.635 cm x 35 cm
15	2	Banda dentada
16	2	Polea dentada de 2"
17	2	Buje para polea
18	2	Base vertical
19	8	mensula
20	2	Base horizontal
21	2	Soporte interno
22	2	Polea dentada de 1"
23	2	Eje izquierdo

**UAM - AZCAPOTZALCO**

Acotación : mm	Dibujó : Manuel Arano Herrera Jaime Iván Caballero Daniel	Revisado : Ing. Romy Pérez Moreno Ing. Mario Jesús Ocaña y González	Formato : A2
	<b>Título :</b> <b>Ensamble de la base del mecanismo</b>		Material : Varios
			Fecha: 23/04/2017 Dibujo No. 32
Escala : 1 : 4			

(1:4)



LISTA DE PARTES		
# DE PIEZAS	CANTIDAD	PORTE
1	236	Seguros tipo e de 7/32"
2	66	Baleros de 6 mm de diametro interno
3	8	Seguros tipo e de 1/4"
4	2	Base externa
5	24	Rueda
6	12	Perno de 12.7 mm
7	12	Triangulo inferior
8	2	Eje derecho
9	2	Eje de bases
10	4	Eslabon para cigueñal parte 2
11	4	Eslabon para cigueñal parte 1
12	2	Base interna
13	4	Angulo para motor
14	2	Bateria de 12v
15	4	Angulo para bateria parte 2
16	4	Angulo para bateria parte 1
17	1	Barra de 1.27 cm x 35 cm
18	2	Motor Dayton mod: 4Z147B
19	2	Barra de 0.635 cm x 35 cm
20	8	Mensula
21	2	Base horizontal
22	32	Tornillos tipo allen (3/16" x 1")
23	2	Base vertical
24	2	Soporte interno
25	2	Polea dentada de 1"
26	2	Buje para polea
27	2	Banda dentada
28	2	Polea dentada de 2"
29	2	Perno interno para cigueñal
30	12	Eslabon de 219 mm
31	6	Perno de siete ranuras
32	24	Eslabon de 126 mm
33	12	Eslabon de 188 mm
34	12	Perno de tres ranuras
35	60	Balero de 5 mm
36	12	Triangulo superior
37	24	Eslabon de 129 mm
38	24	Perno de cuatro ranuras
39	2	Eje izquierdo
40	360	Seguro tipo e de 3/16"
41	12	Perno de cinco ranuras
42	2	Perno externo para cigueñal

UAM - AZCAPOTZALCO

Acotación : mm	Dibujó : Manuel Arano Herrera Jaime Iván Castellano Durán	Revisado : Ing. Robby Pérez Henríquez Ing. Mario Jesús Ocaña y González	Formato : A0
Título : Ensamble del mecanismo para la silla Jansen		Material : Varios	Fecha : 23/04/2017
Escala : 1 : 2		Dibujo No.	33

Diseño y construcción del sistema de movilidad para la Silla Jansen.

## 4.2 Dimensiones generales del mecanismo

Se realizaron las medidas de largo, ancho y alto, donde posteriormente fue comparado con las medidas planteadas en los objetivos específicos, en la tabla 9 tenemos las dimensiones propuestas en comparación con las medidas del prototipo.

*Tabla 9. Dimensiones del mecanismo.*

	Objetivos (cm)	Teórico (cm)	Prototipo (cm)
Largo	85 ~ 95	78	79.5
Ancho	58	62	62.5
Altura	Proporcional a las dimensiones anteriores.	47	47

En lo largo del mecanismo a comparación del prototipo y la simulación de WorkingModel se tiene una diferencia de 1.5 cm, así como de 0.5 cm de diferencia en el ancho del diseño.



*Imagen 102. Toma de medida a lo ancho del mecanismo.*

Diseño y construcción del sistema de movilidad para la Silla Jansen.



*Imagen 103. Toma de medida a la altura del mecanismo.*



*Imagen 104. Toma de medida a lo largo del mecanismo.*

### 4.3 Velocidad del mecanismo

Dentro de los objetivos se propuso una velocidad entre 5 y 7 km/h para poder trasladar al paciente sobre el mecanismo. Con una serie de pruebas se determinó que la velocidad que alcanza el mecanismo se encuentra entre 2 km/h a 2.2 km/h.

Diseño y construcción del sistema de movilidad para la Silla Jansen.

#### 4.4 Peso del mecanismo

Se propuso la optimización del mecanismo para no sobrepasar los 50 kg, así se creó una simulación por medio del software Inventor, dando las proporciones y materiales que fue utilizado para el prototipo dando resultado de 49.055 kg como se muestra en la Imagen 86.

El prototipo elaborado fue pesado en una báscula como se muestra en la imagen 103, éste resultado tener un peso 55 kg, con una diferencia de 5 kg a los objetivos propuesto y 5.945 kg diferente a la simulación.



*Imagen 105. Prueba de peso del mecanismo.*



*Imagen 106. Resultado del peso.*



*Imagen 107. Captura de peso.*

#### 4.5 Análisis y discusión de resultados.

Es esencial mencionar que las dimensiones propuestas en los objetivos iniciales para el proyecto fueron modificadas, ya que con las nuevas medidas se cumple con el estándar de las sillas hospitalaria. El tamaño del prototipo resultante fue un largo de 78 cm por 62 cm de ancho y un alto de 47 cm. Es por ello que en los resultados obtenidos se observa una diferencia considerable en las dimensiones.



*Imagen 108. Mecanismo sometido a pruebas.*

En consecuencia al cambio de dimensiones que se presentaron en el mecanismo, se disminuyó la velocidad, ya que al ser un mecanismo complejo donde el comportamiento es lineal, la altura de paso y la velocidad son dependientes del eslabonamiento, alcanzando una velocidad promedio entre los 2 km/h y los 2.2 km/h.

Para corroborar el desplazamiento que genera el eslabón final en el eje Y (imagen 41), se observó detalladamente el comportamiento del mecanismo en el suelo plano con el fin de visualizar el más mínimo desbalance generada en la coordenada Y cuando este se encontraba en el suelo, el cual no ocurrió ya que se comportó como lo muestra la imagen 42. Durante las pruebas se pudo observar que en todo momento se encontraran al menos cuatro apoyos para generar estabilidad.

El peso del prototipo se encontró un poco elevado pero dentro de un rango confiable, esto por dos factores, el primero fue que se cambió el modelo y marca de las baterías las cuales eran más pesadas que con las que se contó al inicio y la segunda es que se requirieron de piezas de sujeción para los motores y las baterías las cuales no se habían contemplado en el diseño. El exceso fue de 5 kg, esto dependió al cambio de piezas que se otorgaron por parte de la Universidad y al añadir seguridad al sistema.

En la parte del ensamble, resultó ser más detallada, pues al diseñar piezas así como sub ensambles no se alcanzan a notar lo complejo que pueden llegar a ser. Esto ocurrió con el sub-ensamble 1 el cual al tener forma de cigüeñal, se requirió de gran precisión para poderlo desfasar  $120^\circ$  como lo mostraba el diseño y además que tuvo que llevar soldadura entre cada uno de sus eslabones, por lo cual se requería de personal capacitado para realizar esta pieza y aun así resultó ser complicado el ensamble.

El ensamble del proyecto requirió de mucho cuidado, ya que se tenía muy poco margen de error pues el espacio con el que se contaba era muy reducido para incorporar el mecanismo Jansen con la base de los motores los cuales tenían un tamaño demasiado grande. La manufactura de las piezas que conforman cada pierna no fue realizada con la exactitud indicada en los dibujos de detalle, por lo que al ensamblar con los demás eslabones y los baleros se presentó un juego entre los sub-ensambles. Este juego permite que los eslabones en conjunto giren un poco y ocasionalmente choquen entre sí, lo cual podría llegar a detener el movimiento de las patas.

Diseño y construcción del sistema de movilidad para la Silla Jansen.

Propuestas de trabajo futuro para el prototipo:

- Mejorar la manufactura de los pernos para eliminar el juego entre los eslabones.
- Cambiar la distancia entre las piernas para poder evitar choque entre ellas.
- Reducir vibraciones en el desplazamiento del mecanismo.
- Cambiar motores y baterías por unos más pequeños con la finalidad de ser más ligero el diseño.



*Imagen 109. Prototipo del mecanismo para la Silla Jansen ensamblado.*



## CAPITULO 5. CONCLUSIONES

En este proyecto se presentó el diseño y construcción del sistema de movilidad para la Silla Jansen, mostrando cada uno de los procesos para su ensamble y así posteriormente ser sometidos a pruebas para obtener resultados.

Con este prototipo, se pretendió mejorar la movilidad para personas que requieran desplazarse en zonas irregulares y poder facilitar su traslado. Cabe mencionar que el proyecto de la silla Jansen requiere de otras áreas de ingeniería y de diseño, aquí solo se basó en el sistema de movilidad.

El objetivo general del proyecto se cumplió al diseñar y construir un mecanismo que puede transportar a un paciente de hasta 100 kg a una velocidad de hasta 2.2 km/h. Sin embargo, la manufactura de algunas de las piezas no cumplió con las especificaciones indicadas en los dibujos de detalle a la empresa que realizó los cortes. Esta falla en la manufactura provocó que el juego entre los pernos y los eslabones pudiera provocar un eventual choque entre los eslabonamientos. La situación se corrigió en el prototipo final colocando superficies de deslizamiento en diferentes pernos de forma que al deslizar unos sobre otros el mecanismo no se detenga.

Las dimensiones originales fueron modificadas para tener un prototipo que cumpliera de mejor forma los criterios de un producto que posteriormente pudiera ser comercializado. Esto obligó a adaptar los objetivos específicos planteados en un inicio. El tamaño final fue un poco más reducido y un poco más lento respecto a la velocidad planteada en un inicio, sin embargo, se cumplieron los movimientos requeridos de los eslabones.

Respecto al análisis de esfuerzos se observó experimentalmente que las piezas resistieron las cargas como fueron diseñadas en las simulaciones, lo cual muestra que fue correcta la selección de los materiales y las geometrías de cada una de ellas. Sin embargo, queda como trabajo futuro explorar la posibilidad de reducir material en cada uno de los eslabones, lo cual llevaría a una reducción en el peso global del sistema.

Finalmente, en las pruebas realizadas se observó que los motores proporcionados al Proyecto podrían estar excedidos en dimensiones, por lo que podría considerarse colocar unos más pequeños, lo que liberaría espacio para separar más los planos que contienen a las patas del mecanismo y por tanto, los posibles choques entre ellas se reducirían aún más.

## Referencias bibliográficas

- [1] Beard, Ricardo, 2013, "Theo Jansen: Estructuras Kinéticas", consultado en: <http://culturacolectiva.com/theo-jansen-estructuras-kineticas/>
- [2] Adriaan Kok, 1993, imagen tomada de: <http://www.strandbeest.com/photos.php>
- [3] Khamashta Llorens, Nabil, 2009, "Estudio de una plataforma móvil para desplazarse sobre superficies irregulares Proyecto Final de carrera", Licenciatura en Ingeniería Industrial, Escuela técnica superior de Ingenierías Industrial y Aeronáutica de Terrassa, pp. 32, 42 - 43
- [4] 2008, "Theo Jansen", consultado en: <http://www.strandbeest.es/strandbeest/theo-jansen/>
- [5] 2014, "Vehículos sin ruedas basados en el mecanismo de Theo Jansen", consultado en: [http://immf.uma.es/disenio\\_maquinas.php?PHPSESSID=ec773d1813d31cb3331d934da869ac73 &accion=ver&linea\\_sel=10/](http://immf.uma.es/disenio_maquinas.php?PHPSESSID=ec773d1813d31cb3331d934da869ac73 &accion=ver&linea_sel=10/)
- [6] Dirección de Comunicación Social, 2015, "Obtiene equipo de la UAM Primer Lugar en Expociencias Nacional 2014", en Boletines UAM, México, Universidad Autónoma Metropolitana, consultado en: <http://www.comunicacionsocial.uam.mx/boletinesuam/011-15.html>
- [7] Dennis K. Lieu, Sheryl Sorby, "Dibujo para diseño en ingeniería", Cengage Learning, México D.F., 2011.
- [8] Arthur G. Erdman, George N. Sandor "Diseño de mecanismo, análisis y síntesis", 3a edición, Pearson Prentice Hall, México, 1998.
- [9] Robert L. Norton, "Diseño de maquinaria, síntesis y análisis de máquinas y mecanismos", 5ª edición, Mc Graw Hill, México, 2013
- [10] Ricardo Chicurel Uziel, 2012, "Reductor de velocidad de engranes magnéticos", imagen tomada de: <http://www.iingen.unam.mx/es-mx/Publicaciones/GacetaElectronica/GacetaMarzo2012/Paginas/Reductordevelocidaddeengranesmagneticos.aspx>
- [11] Colegio Bretón de los Herreros Logroño, "Máquinas simples", imagen tomada de: <http://www.clarionweb.es>
- [12] Romy Pérez Moreno, "Análisis de mecanismos y problemas resueltos", 2ª edición, Alfaomega, Mexico, 2013.
- [13] Consultado en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Mecanismo\\_de\\_Watt](https://es.wikipedia.org/wiki/Mecanismo_de_Watt)

- [14] Ricardo Montero, 2015, “Mecanismo de Chebyshev”, consultado en: <https://prezi.com/vyexz2ahsd3d/mecanismo-de-chebyshev/>
- [15] Imagen tomada de: <https://www.softintegration.com/chhtml/toolkit/mechanism/fourbar/fourbarHoekens.html>
- [16] “Bandas y poleas”, consultado en: <https://docs.google.com/document/d/1eMya3CrPpT5FrzdaJOCpBrIFUw4mDO3Cx02qI93llsQ/edit?pli=1>
- [17] “Acero al carbono”, consultado en: <http://www.sabelotodo.org/herramientas/acerotemplado.html>
- [18] “Aluminio” consultado en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Aluminio>
- [19] Imagen tomada de: <https://www.amazon.com/Dayton-4ZJ47-Gearmotor-RPM-24vdc/dp/B000BI96I8>

## Apéndice

Tabla 10. Tolerancias principales.

Valores en micras (0.001 mm)      Temperatura de referencia 20° C

Diámetros en mm	Temperatura de referencia 20° C												
	< 3	> 3 a 6	> 6 a 10	> 10 a 18	> 18 a 30	> 30 a 50	> 50 a 80	> 80 a 120	> 120 a 180	> 180 a 250	> 250 a 315	> 315 a 400	
AGUJEROS	H 6	+ 8 0	+ 8 0	+ 9 0	+ 11 0	+ 13 0	+ 16 0	+ 19 0	+ 22 0	+ 25 0	+ 29 0	+ 32 0	+ 36 0
	H 7	+10 0	+ 12 0	+ 15 0	+ 18 0	+ 21 0	+ 25 0	+ 30 0	+ 35 0	+ 40 0	+ 46 0	+ 52 0	+ 57 0
	H 8	+14 0	+ 18 0	+ 22 0	+ 27 0	+ 33 0	+ 39 0	+ 46 0	+ 54 0	+ 63 0	+ 72 0	+ 81 0	+ 89 0
	H 9	+25 0	+ 30 0	+ 36 0	+ 43 0	+ 52 0	+ 62 0	+ 74 0	+ 87 0	+ 100 0	+ 115 0	+ 130 0	+ 140 0
	H 11	+60 0	+ 75 0	+ 90 0	+ 110 0	+ 130 0	+ 160 0	+ 190 0	+ 220 0	+ 250 0	+ 290 0	+ 320 0	+ 360 0
	q 5	- 2 - 6	- 4 - 9	- 5 - 11	- 6 - 14	- 7 - 16	- 9 - 20	- 10 - 23	- 12 - 27	- 14 - 32	- 15 - 35	- 17 - 40	- 18 - 43
	h 5	0 - 4	0 - 5	0 - 6	0 - 8	0 - 9	0 - 11	0 - 13	0 - 15	0 - 18	0 - 20	0 - 23	0 - 25
	k 5	+ 2 - 2	+2.5 - 2.5	+ 3 - 3	+ 4 - 4	+4.5 - 4.5	+ 5.5 - 5.5	+ 6.5 - 6.5	+ 7.5 - 7.5	+ 9 - 9	+ 10 - 10	+ 11.5 - 11.5	+ 12.5 - 12.5
	k 5	+ 4 0	+ 6 + 1	+ 7 + 1	+ 9 + 1	+ 11 + 2	+ 13 + 2	+ 15 + 2	+ 18 + 3	+ 21 + 3	+ 24 + 4	+ 27 + 4	+ 29 + 4
	f 6	- 6 -12	- 10 - 18	- 13 - 22	- 16 - 27	- 20 - 33	- 25 - 41	- 30 - 49	- 36 - 58	- 43 - 68	- 50 - 79	- 56 - 88	- 62 - 98
	g 6	- 2 - 8	- 4 - 12	- 5 - 14	- 6 - 17	- 7 - 20	- 9 - 25	- 10 - 29	- 12 - 34	- 14 - 39	- 15 - 44	- 17 - 49	- 18 - 54
h 6	0 - 6	0 - 8	0 - 9	0 - 11	0 - 13	0 - 16	0 - 19	0 - 22	0 - 25	0 - 29	0 - 32	0 - 36	
l 6	+ 3 - 3	+ 4 - 4	+4.5 - 4.5	+ 5.5 - 5.5	+ 6.5 - 6.5	+ 8 - 8	+ 9.5 - 9.5	+ 11 - 11	+ 12.5 - 12.5	+ 14.5 - 14.5	+ 16 - 16	+ 18 - 18	
m 6	+ 8 + 2	+ 12 + 4	+ 15 + 6	+ 18 + 7	+ 21 + 8	+ 25 + 9	+ 30 + 11	+ 35 + 13	+ 40 + 15	+ 46 + 17	+ 52 + 20	+ 57 + 21	
p 6	+12 + 6	+ 20 + 12	+ 24 + 15	+ 29 + 18	+ 35 + 22	+ 42 + 26	+ 51 + 32	+ 59 + 37	+ 68 + 43	+ 79 + 50	+ 88 + 56	+ 98 + 62	
e 7	-14 -24	- 20 - 32	- 25 - 40	- 32 - 50	- 40 - 61	- 50 - 75	- 60 - 90	- 72 - 107	- 85 - 125	- 100 - 146	- 110 - 162	- 125 - 182	
f 7	- 6 -16	- 10 - 22	- 13 - 28	- 16 - 34	- 20 - 41	- 25 - 50	- 30 - 60	- 36 - 71	- 43 - 83	- 50 - 96	- 56 - 108	- 62 - 119	
h 7	0 -10	0 - 12	0 - 15	0 - 18	0 - 21	0 - 25	0 - 30	0 - 35	0 - 40	0 - 46	0 - 52	0 - 57	
e 8	-14 -28	- 20 - 38	- 25 - 47	- 32 - 59	- 40 - 73	- 50 - 89	- 60 - 106	- 72 - 126	- 85 - 148	- 100 - 172	- 110 - 191	- 125 - 214	
f 8	- 6 -20	- 10 - 28	- 13 - 35	- 16 - 43	- 20 - 53	- 25 - 64	- 30 - 76	- 36 - 90	- 43 - 106	- 50 - 122	- 56 - 137	- 62 - 151	
h 8	0 -14	0 - 18	0 - 22	0 - 27	0 - 33	0 - 39	0 - 46	0 - 54	0 - 63	0 - 72	0 - 81	0 - 89	
d 9	-20 -45	- 30 - 60	- 40 - 76	- 50 - 93	- 65 - 117	- 80 - 142	- 100 - 174	- 120 - 207	- 145 - 245	- 170 - 285	- 190 - 320	- 210 - 350	
e 9	-14 -39	- 20 - 50	- 25 - 61	- 32 - 75	- 40 - 92	- 50 - 112	- 60 - 134	- 72 - 159	- 85 - 185	- 100 - 215	- 110 - 240	- 125 - 265	
d 11	-20 -80	- 30 -105	- 40 - 130	- 50 - 160	- 65 - 195	- 80 - 240	- 100 - 290	- 120 - 340	- 145 - 395	- 170 - 460	- 190 - 510	- 210 - 570	
h 11	0 -60	0 - 75	0 - 90	0 - 110	0 - 130	0 - 160	0 - 190	0 - 220	0 - 250	0 - 290	0 - 320	0 - 360	
l 11	+30 -30	+ 37 - 37	+ 45 - 45	+ 55 - 55	+ 65 - 65	+ 80 - 80	+ 95 - 95	+ 110 - 110	+ 125 - 125	+ 145 - 145	+ 160 - 160	+ 180 - 180	

Tabla 11. Tolerancias recomendadas.

AJUSTES PRINCIPALES UTILIZAR DE PREFERENCIA LOS DE LOS CIRCULOS			Arboles (posi- ción)	AGUJEROS Y CALIDAD DE LOS ARBOLES					
				H 6	H 7	H 8	H 9	H 11	
AJUSTES CON JUEGO	JUEGO AMPLIO	Ensamblés cuyo funcionamiento requiere juego amplio por dilata- ciones, mal alineamiento, cojinetes grandes, etc.	c				9	11	
			d				9	⑪	
	JUEGO MEDIANO	Piezas que giran o deslizan con una buena lubricación.	e		7	⑧	⑨		
			f	6	6 7	⑦			
	JUEGO PEQUEÑO	Piezas con guía precisa y movimientos de pequeña amplitud.	g	5	⑥				
	AJUSTE EXACTO		h	⑤	⑥	⑦	⑧		
AJUSTES CON APRIETE	APRIETE DEBIL	El ensamble se puede hacer a mano, la unión no puede trans- mitir esfuerzos. Se puede mon- tar y desmontar.	Ensamble a mano		js	⑤	6		
					k	⑤			
	APRIETE MEDIANO		Ensamble a mano auxiliándose de un mazo		m		⑥		
					p		⑥		
	APRIETE FUERTE	Imposible desmontar sin dete- rioro. La unión puede trans- mitir esfuerzos.	Ensamble a prensa		s		7		
			Ensamble a prensa o por di- latación (verificar los esfuer- zos internos).		u		7		
					x		7		
					z		7		

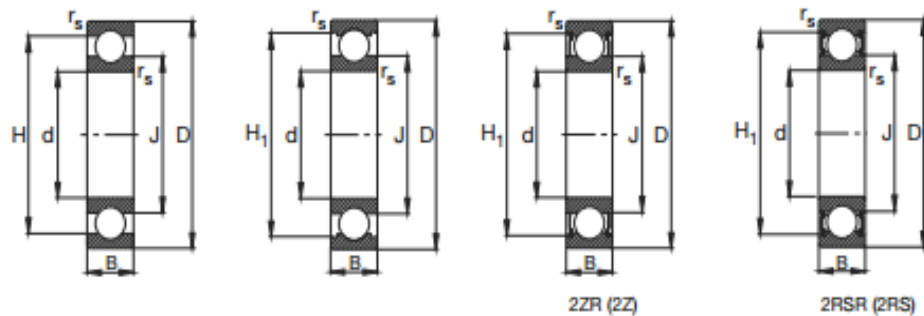
Tabla 11. Características y símbolos de tolerancia geométrica.

	TIPO DE TOLERANCIA	CARACTERÍSTICA	SÍMBOLO
PARA RASGOS INDIVIDUALES	FORMA	RECTITUD	—
		PLANITUD	
		CIRCULARIDAD	
		CILINDRICIDAD	
PARA RASGOS INDIVIDUALES O RELACIONADOS	PERFIL	PERFIL DE UNA LÍNEA	
		PERFIL DE UNA SUPERFICIE	
PARA RASGOS RELACIONADOS	ORIENTACIÓN	ANGULARIDAD	
		PERPENDICULARIDAD	
		PARALELISMO	
	UBICACIÓN	POSICIÓN	
		CONCENTRICIDAD	
		SIMETRÍA	
	ALABEO	ALABEO CIRCULAR	
ALABEO TOTAL			



Tabla 13. Catálogo de los baleros seleccionados.

### Rodamientos FAG rígidos de bolas de una hilera



Eje	Dimensiones							Peso
	d	D	B	r <sub>s</sub> min	H	H <sub>1</sub>	J	kg
	mm							
3	3	10	4	0,15	7,7	8,2	5	0,001
	3	10	4	0,15	7,7	8,2	5	0,001
	3	10	4	0,15	7,7	8,2	5	0,001
4	4	13	5	0,2	10,5	11,2	7	0,003
	4	13	5	0,2	10,5	11,2	7	0,004
	4	13	5	0,2	10,5	11,2	7	0,003
	4	16	5	0,3	12,5	13,4	8,5	0,006
	4	16	5	0,3	12,5	13,4	8,5	0,006
	4	16	5	0,3	12,5	13,4	8,5	0,006
5	5	16	5	0,3	12,5	13,4	8,5	0,005
	5	16	5	0,3	12,5	13,4	8,5	0,005
	5	16	5	0,3	12,5	13,4	8,5	0,005
	5	19	6	0,3	15,5	16,7	10,8	0,008
	5	19	6	0,3	15,5	16,7	10,8	0,009
	5	19	6	0,3	15,5	16,7	10,8	0,008
6	6	19	6	0,3	15,5	16,7	10,6	0,008
	6	19	6	0,3	15,5	16,7	10,6	0,009
	6	19	6	0,3	15,5	16,7	10,6	0,008
7	7	19	6	0,3	15,5	16,7	10,6	0,007
	7	19	6	0,3	15,5	16,7	10,6	0,008
	7	19	6	0,3	15,5	16,7	10,6	0,007
	7	22	7	0,3	18	19,1	12,4	0,011
	7	22	7	0,3	18	19,1	12,4	0,012
	7	22	7	0,3	18	19,1	12,4	0,011
8	8	22	7	0,3	18	19,1	12,4	0,01
	8	22	7	0,3	18	19,1	12,4	0,011
	8	22	7	0,3	18	19,1	12,4	0,01
9	9	24	7	0,3	19,6	20,5	14	0,015
	9	24	7	0,3	19,6	20,5	14	0,016
	9	24	7	0,3	19,6	20,5	14	0,015



Tabla 14. Tabla de dimensiones de chavetera para polea.

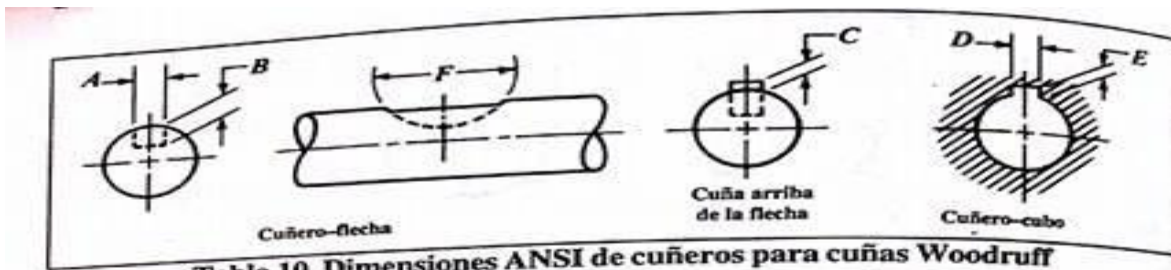
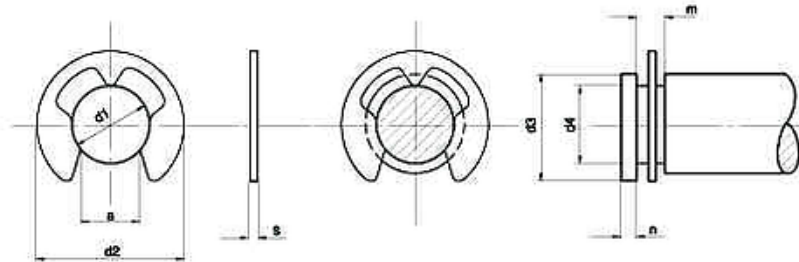


Tabla 10. Dimensiones ANSI de cuñeros para cuñas Woodruff

Cuña No.	Tamaño nominal de la cuña	Cuñero—flecha					Cuña arriba de la flecha	Cuñero—cubo	
		Ancho A*		Profund. B	Diámetro F		Altura C	Ancho D	Profund. E
		Mín.	Máx.	+0.005 -0.000	Mín.	Máx.	+0.005 -0.005	+0.002 -0.000	+0.005 -0.000
202	$\frac{3}{16} \times \frac{1}{4}$	0.0615	0.0630	0.0728	0.250	0.268	0.0312	0.0635	0.0372
202.5	$\frac{3}{16} \times \frac{3}{16}$	0.0615	0.0630	0.1038	0.312	0.330	0.0312	0.0635	0.0372
302.5	$\frac{3}{16} \times \frac{3}{16}$	0.0928	0.0943	0.0882	0.312	0.330	0.0469	0.0948	0.0529
203	$\frac{3}{16} \times \frac{3}{8}$	0.0615	0.0630	0.1358	0.375	0.393	0.0312	0.0635	0.0372
303	$\frac{3}{16} \times \frac{3}{8}$	0.0928	0.0943	0.1202	0.375	0.393	0.0469	0.0948	0.0529
403	$\frac{1}{8} \times \frac{3}{8}$	0.1240	0.1255	0.1045	0.375	0.393	0.0625	0.1260	0.0685
204	$\frac{3}{16} \times \frac{1}{2}$	0.0615	0.0630	0.1668	0.500	0.518	0.0312	0.0635	0.0372
304	$\frac{3}{16} \times \frac{1}{2}$	0.0928	0.0943	0.1511	0.500	0.518	0.0469	0.0948	0.0529
404	$\frac{1}{8} \times \frac{1}{2}$	0.1240	0.1255	0.1355	0.500	0.518	0.0625	0.1260	0.0685
305	$\frac{3}{16} \times \frac{3}{8}$	0.0928	0.0943	0.1981	0.625	0.643	0.0469	0.0948	0.0529
405	$\frac{1}{8} \times \frac{3}{8}$	0.1240	0.1255	0.1825	0.625	0.643	0.0625	0.1260	0.0685
505	$\frac{3}{16} \times \frac{3}{8}$	0.1553	0.1568	0.1669	0.625	0.643	0.0781	0.1573	0.0841
605	$\frac{3}{16} \times \frac{3}{8}$	0.1863	0.1880	0.1513	0.625	0.643	0.0937	0.1885	0.0997
406	$\frac{1}{8} \times \frac{3}{4}$	0.1240	0.1255	0.2455	0.750	0.768	0.0625	0.1260	0.0685
506	$\frac{3}{16} \times \frac{3}{4}$	0.1553	0.1568	0.2299	0.750	0.768	0.0781	0.1573	0.0841
606	$\frac{3}{16} \times \frac{3}{4}$	0.1863	0.1880	0.2143	0.750	0.768	0.0937	0.1885	0.0997
806	$\frac{1}{4} \times \frac{3}{4}$	0.2487	0.2505	0.1830	0.750	0.768	0.1250	0.2510	0.1310
507	$\frac{3}{16} \times \frac{3}{8}$	0.1553	0.1568	0.2919	0.875	0.895	0.0781	0.1573	0.0841
607	$\frac{3}{16} \times \frac{3}{8}$	0.1863	0.1880	0.2763	0.875	0.895	0.0937	0.1885	0.0997
707	$\frac{3}{16} \times \frac{3}{8}$	0.2175	0.2193	0.2607	0.875	0.895	0.1093	0.2198	0.1153
807	$\frac{1}{4} \times \frac{3}{8}$	0.2487	0.2505	0.2450	0.875	0.895	0.1250	0.2510	0.1310
608	$\frac{3}{16} \times 1$	0.1863	0.1880	0.3393	1.000	1.020	0.0937	0.1885	0.0997
708	$\frac{3}{16} \times 1$	0.2175	0.2193	0.3237	1.000	1.020	0.1093	0.2198	0.1153
808	$\frac{1}{4} \times 1$	0.2487	0.2505	0.3080	1.000	1.020	0.1250	0.2510	0.1310
1008	$\frac{3}{16} \times 1$	0.3111	0.3130	0.2768	1.000	1.020	0.1562	0.3135	0.1622
1208	$\frac{3}{8} \times 1$	0.3735	0.3755	0.2455	1.000	1.020	0.1875	0.3760	0.1825
609	$\frac{3}{16} \times 1\frac{1}{8}$	0.1863	0.1880	0.3853	1.125	1.145	0.0937	0.1885	0.0997
709	$\frac{3}{16} \times 1\frac{1}{8}$	0.2175	0.2193	0.3697	1.125	1.145	0.1093	0.2198	0.1153
809	$\frac{1}{4} \times 1\frac{1}{8}$	0.2487	0.2505	0.3540	1.125	1.145	0.1250	0.2510	0.1310
1009	$\frac{3}{16} \times 1\frac{1}{8}$	0.3111	0.3130	0.3228	1.125	1.145	0.1562	0.3135	0.1622
610	$\frac{3}{16} \times 1\frac{1}{8}$	0.1863	0.1880	0.4483	1.250	1.273	0.0937	0.1885	0.0997
710	$\frac{3}{16} \times 1\frac{1}{8}$	0.2175	0.2193	0.4327	1.250	1.273	0.1093	0.2198	0.1153

Tabla 15. Tabla para selección de seguros en “e”.



ANILLO					MEDIDAS DE LA RANURA										
$\alpha$	$\alpha$	a	s	Tolerancia	Peso Kgs. x 1000 Pzas.	d3		d4	m	Tolerancia	n	Carga Axial para d3 en Kg.			
d1	d2	H10				de	hasta	h11				min.	min.	max.	
1,5	4,0	1,28	0,4	± 0,02	0,021	2,0	2,5	1,5	0,44	+ 0,02 - 0	0,8	7	12		
1,9	4,5	1,61	0,5		0,040	2,5	3,0	1,9	0,54			+ 0,03 - 0	1,0	10	20
2,3	6,0	1,94	0,6		0,070	3,0	4,0	2,3	0,64					14	32
3,2	7,0	2,70			0,090	4,0	5,0	3,2			20		45		
4,0	9,0	3,34	0,7		0,158	5,0	7,0	4,0	0,74		1,2		30	65	
5,0	11,0	4,11			0,234	6,0	8,0	5,0				40	75		
6,0	12,0	5,26	0,9		0,255	7,0	9,0	6,0	0,94		1,5	50	100		
7,0	14,0	5,84		0,474	8,0	11,0	7,0	60		120					
8,0	16,0	6,52		1,0	0,660	9,0	12,0	8,0		1,05		+ 0,06 - 0	1,8	70	170
9,0	18,5	7,63	1,1	1,000	10,0	14,0	9,0	1,15	2,0	80	200				
10,0	20,0	8,32	1,2	1,120	11,0	15,0	10,0	1,25		90	220				
12,0	23,0	10,45	1,3	1,770	13,0	18,0	12,0	1,35	2,5	100	240				
15,0	29,0	12,61	1,5	3,370	16,0	24,0	15,0	1,55		3,0	130		300		
19,0	37,0	15,92	1,75	5,619	20,0	31,0	19,0	1,80			3,5		150	425	
24,0	44,0	21,88	2,0	8,180	25,0	38,0	24,0	2,05		4,0			200	550	

DIMENSIONES EN MM.