

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica

Tesis

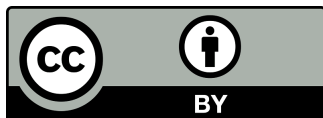
**Diseño de una silla de ruedas con mecanismo
bípedo para personas con paraplejia en la región
Junín**

Yeremy Brayan Espejo Palacios

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Mecánico

Huancayo, 2025

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

A : Decano de la Facultad de Ingeniería
DE : Ever Luis Poma Tintaya
Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 30 de Setiembre de 2025

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

Título:

Diseño de una silla de ruedas con mecanismo bípedo para personas con paraplejia en la región Junín

Autores:

1. Yeremy Brayan Espejo Palacios – EAP. Ingeniería Mecánica

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 14 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI ☒ NO ☐
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores SI ☒ NO ☐
Nº de palabras excluidas (en caso de elegir "SI"): 30
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI ☐ NO ☒

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,

La firma del asesor obra en el archivo original
(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación a Dios, fuente de fortaleza, guía y esperanza en cada etapa de mi vida académica y personal. Me dedico esta tesis a mí mismo, por creer, resistir y demostrar que, con esfuerzo y fe en mis sueños, todo es posible. A mis padres, cuyo amor incondicional, esfuerzo y sacrificio me han permitido llegar hasta aquí. A ellos les debo cada logro alcanzado, su ejemplo de perseverancia y entrega ha sido mi mayor inspiración. Dedico este logro a mi pareja, por su amor, apoyo incondicional y por acompañarme en cada paso de este camino, dándome la fuerza necesaria para no rendirme. Y a mi hijo, mi mayor inspiración, quien me motiva día a día a ser mejor y a luchar por un futuro lleno de esperanzas y oportunidades.

A mis docentes, por su compromiso en la formación profesional, por compartir su conocimiento y por impulsarme a dar siempre lo mejor de mí. Finalmente, dedico esta tesis a todas aquellas personas que creen en el valor de la educación como herramienta de transformación, y a quienes, con esfuerzo y dedicación, trabajan día a día por alcanzar sus sueños.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a Dios, por iluminar mi camino, darme fortaleza en los momentos de dificultad y permitirme culminar con éxito esta etapa tan importante de mi vida. A mis padres, por su amor incondicional, sacrificio y apoyo constante, pilares fundamentales que me sostuvieron en todo momento y que me inspiraron a no rendirme ante los desafíos. A mi familia, por brindarme comprensión, paciencia y palabras de aliento durante este proceso de formación profesional.

Expreso mi más sincero reconocimiento a mis docentes y asesores de tesis, quienes con sus conocimientos, orientaciones y exigencia académica contribuyeron significativamente a la realización de este trabajo académico. Finalmente, extendiendo mi gratitud a la Universidad Continental, y en especial a la facultad de Ingeniería Mecánica por acogerme y brindarme todos los conocimientos necesarios para desarrollarme como profesional.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS	v
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvii
INTRODUCCIÓN	xviii
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	20
1.1. Planteamiento y formulación del problema.....	20
1.1.1. Planteamiento del problema	20
1.1.2. Problema general:	21
1.1.3. Problemas específicos:	21
1.2. Objetivos de la investigación	22
1.2.1. Objetivo general.....	22
1.2.2. Objetivos específicos	22
1.3. Justificación e importancia.....	22
1.3.1. Justificación económica	22
1.3.2. Justificación teórica.....	22
1.3.3. Justificación práctica.....	23
1.3.4. Justificación social	23
1.3.5. Justificación ambiental.....	23
1.3.6. Justificación metodológica	23
1.4. Flujograma del proyecto	24
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	25
2.1. Antecedentes de la investigación	25
2.1.1. Antecedentes a nivel internacional.....	25
2.1.2. Antecedentes a nivel nacional	28
2.2. Bases teóricas.....	30
2.2.1. Situación de la silla de ruedas y las personas con paraplejia en el Perú.....	30
2.2.2. Leyes y normativas sobre la accesibilidad.....	38
2.2.3. Biofísica de la bipedestación.....	39
2.2.4. Análisis del movimiento al levantarse	40
2.2.5. La silla de ruedas.....	41
2.2.6. Mecanismos de elevación.....	47

2.2.7. Consideraciones biomecánicas	49
2.2.8. Modelo biomecánico de la silla de ruedas con posicionamiento bípedo.....	51
2.2.9. Estática, cinemática y dinámica	52
2.2.10. Antropometría y ergonomía	53
2.2.11. Diseño conceptual, requerimientos y consideraciones de la silla de ruedas.....	56
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....	79
3.1. Tipo de investigación	79
3.2. Metodología aplicada para el desarrollo de la solución	79
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	90
4.1. Identificación de requerimientos	90
4.1.1 Inicio del diseño	90
4.1.2. Lista de exigencia.....	92
4.1.3. Planificación del desarrollo del proyecto	96
4.1.4. Análisis de la solución	97
4.2. Selección de materiales y medidas	108
4.2.1. Criterios de diseño mecánico aplicados a componentes estructurales	109
4.2.2. Medida y selección de los perfiles para la estructura de la silla de ruedas.....	116
4.2.3. Cálculo del centro de gravedad o cálculos dinámicos	117
4.2.4. Cálculo de la propulsión y rozamiento a rodar	127
4.2.5. Cálculo de las fuerzas que actúan en cada rueda	129
4.2.6. Cálculos para la selección de rodamiento de las ruedas de 24 pulgadas.....	132
4.2.7. Cálculos para la selección de rodamientos para las ruedas de dirección o ruedas delanteras.....	134
4.2.8. Análisis por elementos finitos del soporte ranurado	134
4.2.9. Análisis del mecanismo de estabilidad	138
4.2.10. Mecanismo de accionamiento a posición bípeda.....	141
4.2.11. Selección del mecanismo de elevación y suspensión	142
4.2.12. Selección de conexiones del actuador	144
4.2.13. Componentes del circuito de control	145
4.2.14. Análisis del eje para unión de ruedas y chasis	147
4.2.15. Componentes y dimensiones de la silla de ruedas	150
4.2.16. Dimensionamiento y de la estructura del asiento	152
4.2.17. Selección del material para el asiento.....	152
4.2.18. Dimensionamiento y función de la estructura del respaldar	153
4.3. Dimensionamiento del chasis de la silla de ruedas	156
4.3.1. Selección de ángulos para el usuario en la silla de ruedas	157

4.3.2. Diseño y análisis del mecanismo de levante.....	158
4.3.3. Tornillos de la silla de ruedas.....	160
4.3.4. Análisis de puntos críticos de la silla de ruedas bípeda	160
4.3.5. Componentes adaptables a la fisionomía del usuario	168
4.4. Discusión de resultados.....	171
4.5. Estimación de costo	172
4.5.1. Costo de materiales	172
4.5.2. Costos de fabricación	173
4.6. Diseño final de la silla de ruedas.....	175
4.7. Planos:.....	178
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	179
5.1 Conclusiones	179
5.2 Recomendaciones	181
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	183
ANEXOS	189

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Dimensiones frecuentes de la silla de ruedas.....	54
Tabla 2. Dimensiones primordiales de la silla de ruedas.....	56
Tabla 3. Repartición de peso y talla para mayores de 20 años	58
Tabla 4. Factores de seguridad mínimos	71
Tabla 5. Propiedades del aluminio 6061	72
Tabla 6. Coeficientes de roce según superficies en contacto	73
Tabla 7. Características, etapas y objetivos de la norma VDI 2221.....	81
Tabla 8. Etapas de la norma VDI 2221	81
Tabla 9. Guía de lista de exigencias	84
Tabla 10. Modelo del plan de trabajo.....	85
Tabla 11. Modelo de matriz morfológica	86
Tabla 12. Ejemplo de evaluación de lista de exigencias.....	86
Tabla 13. Ejemplo de evaluación del valor técnico	87
Tabla 14. Ejemplo de evaluación del valor económico	87
Tabla 15. Requerimientos para la silla de ruedas	91
Tabla 16. Lista de exigencias	93
Tabla 17. Planificación de desarrollo del estudio	96
Tabla 18. Matriz morfológica	100
Tabla 19. Evaluación de lista de exigencias	105
Tabla 20. Evaluación técnica	106
Tabla 21. Evaluación económica	107
Tabla 22. Valor económico y técnico	107
Tabla 23. Materiales para fabricar componentes de la silla de ruedas	109
Tabla 24. Factores de seguridad	110
Tabla 25. Peso, dimensión y radio de curvatura de tubo	116
Tabla 26. Propiedades mecánicas.....	116
Tabla 27. Porcentaje y peso en kilogramos de cada miembro del cuerpo.....	117
Tabla 28. Centro de gravedad en posición sentada en la silla de ruedas	120
Tabla 29. Centro de gravedad en postura vertical	122
Tabla 30. Factor de seguridad	133
Tabla 31. Rendimiento del rodaje W61903-2RS1.....	133
Tabla 32. Rendimiento del rodaje NSK 619/9-2Z.....	134
Tabla 33. Propiedades del material	135
Tabla 34. Cargas y fijaciones	135

Tabla 35. Fuerza resultantes.....	136
Tabla 36. Especificaciones del actuador	143
Tabla 37. Especificaciones técnicas del amortiguador	144
Tabla 38. Superficies primordiales de la estructura de silla de ruedas.....	151
Tabla 39. Tornillos de sujeción	160
Tabla 40. Propiedades del chasis.....	161
Tabla 41. Cargas y sujeciones	162
Tabla 42. Fuerza resultantes.....	162
Tabla 43. Cargas y sujeción	165
Tabla 44. Fuerzas resultantes	166
Tabla 45. Lista de materiales y costos.....	172
Tabla 46. Listado de accesorios comerciales.....	173
Tabla 47. Costo de componentes para fabricar cada pieza	174
Tabla 48. Síntesis de los costos de fabricación y materiales	175

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Flujograma del proyecto de investigación.....	24
Figura 2: Personas con discapacidad, según departamento	32
Figura 3. Personas con discapacidad según sexo y edad	32
Figura 4. Pirámide poblacional de los individuos con discapacidad.....	33
Figura 5. Población inscrita en el registro nacional de la persona con discapacidad con sola una deficiencia.....	33
Figura 6: Población registrada en el Registro Nacional de la Persona con Discapacidad con una sola limitación durante el período.....	34
Figura 7. Población con discapacidad etario	35
Figura 8. Tipos de discapacidad.....	35
Figura 9. Proyección vertical imaginaria sobre la tierra que penetra al COM y BOS.....	39
Figura 10. Momentos del COM para conservar el equilibrio y la posición bípeda.....	40
Figura 11. Modelo de tres barras representando el cuerpo humano.....	41
Figura 12. Silla de ruedas.....	42
Figura 13. Silla de ruedas manual	42
Figura 17. Silla de ruedas para subir escaleras	44
Figura 18. Silla de rueda pediátrica.....	44
Figura 19. Sillas de ruedas de postura	45
Figura 20. Silla de ruedas eléctrica	46
Figura 21. Componentes de la silla de ruedas	46
Figura 22. Silla de rueda articulada en postura horizontal.....	47
Figura 23. Silla de rueda articulada en posición vertical	47
Figura 24. Dispositivo de silla de ruedas que levanta a posición vertical al usuario	48
Figura 25. Funcionamiento de mecanismo de silla de ruedas.....	48
Figura 26. Ángulos apropiados para utilizar la silla de ruedas	49
Figura 27. Esquemas de soportes, sistema bípedo (plano sagital) y fuerzas en el cuerpo	51
Figura 28. Ángulos de referencia para el modelo estático	52
Figura 29. Medidas antropométricas del peruano en postura de pie	53
Figura 30. Medidas antropométricas del peruano en postura sentada.....	54
Figura 31. Medidas antropométricas extraídas del software antropógeno para un individuo en postura vertical	55

Figura 32. Medidas antropométricas extraídas del software antropógeno para un individuo en postura sentada	55
Figura 33. Interruptor momentáneo.....	61
Figura 34. Interruptor de mantenimiento.....	61
Figura 35. Relé.....	61
Figura 36. Actuador neumático	62
Figura 37. Actuador hidráulico	63
Figura 38. Actuador eléctrico.....	63
Figura 39. Actuador magnético/térmico.....	63
Figura 40. Actuador mecánico	64
Figura 41. Componentes de fuerzas internas.....	65
Figura 42. Esfuerzo en una soldadura de ranura tipo V.....	67
Figura 43. Categorización del proceso de soldadura	68
Figura 44. Propiedades mecánicas de perno.....	69
Figura 45. Reacciones y apoyos.....	72
Figura 46. Fuerza normal en un plano inclinado	73
Figura 47. Fuerza de rozamiento estático.....	73
Figura 48. Rodamiento de esferas de una sola hilera	74
Figura 49. Rodamiento de esferas de dos hileras	74
Figura 50. Distribución de diseño, según la norma VDI 2221.	80
Figura 51. Fases del diseño de la VDI 2221	82
Figura 52. Ejemplo de Black-Box.....	85
Figura 53. Caja negra.....	97
Figura 54. Estructura funcional.....	99
Figura 55. Idea solución 1	103
Figura 56. Idea solución 2.....	103
Figura 57. Idea solución 3.....	104
Figura 58. Gráfico de decisión	108
Figura 59. Barra de soporte inferior del actuador lineal	112
Figura 60. Análisis de tensión	114
Figura 61. Factor de seguridad.....	115
Figura 62. Análisis de tensión	115
Figura 63. Factor de seguridad.....	116
Figura 64. Distancia en el centro de gravedad de los planos “X,” Y”	117
Figura 65. Centro de gravedad en postura sentada	118

Figura 66. Centro de gravedad en postura sentado del usuario en correlación al eje de la rueda posterior.....	119
Figura 67. Centro de gravedad en posicion sentada	121
Figura 68. Centro de gravedad en postura vertical del usuario	122
Figura 69. Centro de gravedad a través del Solid Word en posicion biepeda.....	123
Figura 70. Reposapiés al nivel del suelo, en posición bípeda.....	128
Figura 71. Ruedas antivuelco traseras	128
Figura 72. Aros de propulsión con proyecciones	129
Figura 73. Ruedas delanteras	129
Figura 74. Cálculo de las fuerzas de las ruedas delanteras y traseras sin el peso del usuario.....	130
Figura 75. Fuerzas que actúan en cada rueda	131
Figura 76. Referencia de modelo	134
Figura 77. Tensión de Von Mises	136
Figura 78. Análisis estático desplazamiento.....	137
Figura 79. Análisis de deformación unitaria equivalente	137
Figura 80. Factor de seguridad.....	138
Figura 81. Centro de gravedad con persona incluida.....	139
Figura 82. Mecanismo no Grashof del paralelogramo.....	141
Figura 83. Selección del mecanismo de elevación y suspensión	142
Figura 84. Selección de actuador	143
Figura 85. Medidas del actuador y elección del actuador.....	144
Figura 86. Interruptor tipo botón.....	145
Figura 87. Batería seca Oxford modelo 6-DZM-23 de 12 V 23 Ah	145
Figura 88. Módulo de Relé OONO	146
Figura 89. Interruptor de palanca	146
Figura 90. Diagrama de activación del actuador lineal eléctrico	147
Figura 91. Tipos de eje.....	147
Figura 92. D.C.L. de cliente en postura sentada: W (peso de cliente) y Ws (peso de silla).....	148
Figura 93. D.C.L. en eje de la rueda.....	149
Figura 94. Silla de ruedas con posicionamiento bípedo en posición sentada.....	150
Figura 95. Representación de la silla de ruedas en posición sentada con sus longitudes geométricas	150
Figura 96. Representación de la silla de ruedas en postura bípeda y sus longitudes geométricas	151

Figura 97. Estructura de asiento de silla de ruedas	152
Figura 98. Asiento de silla de ruedas	153
Figura 99. Ensamblaje con estructura de asiento.....	153
Figura 100. Estructura de respaldar de silla de ruedas.....	154
Figura 101. Tapicería de nylon elástico recubierto del respaldar	154
Figura 102. Mecanismo para retraer el respaldar	154
Figura 103. Análisis de tensión cuando el usuario está apoyado al respaldar	155
Figura 104. Análisis estático del reposa brazos	156
Figura 105. Estructura óptima del chasis	156
Figura 106. Rango ideal para la posición sentada del usuario	157
Figura 107. Ángulo de 14° en relación de la vertical	158
Figura 108. Usuario posición sentado 4 puntos de apoyo	158
Figura 109. Pasador en una ranura	159
Figura 110. Silla posición bípeda, 6 puntos de apoyo	159
Figura 111. Puntos críticos del chasis cuando está el usuario en posición sentado.....	161
Figura 112. Análisis de tensión	163
Figura 113. Análisis desplazamientos resultantes	163
Figura 114. Deformación unitaria equivalente	164
Figura 115. Análisis DEL FACTOR de seguridad	164
Figura 116. Análisis de chasis con la persona en posición bípeda.....	165
Figura 117. Análisis de tensiones.....	166
Figura 118. Análisis desplazamientos resultantes	167
Figura 119. Deformación unitaria equivalente	167
Figura 120. Análisis del factor de seguridad	168
Figura 121. Ángulo del asiento	169
Figura 122. Ajuste del centro de gravedad	169
Figura 123. Diámetro de la rueda.....	170
Figura 124. Regulación del reposapiés.....	170
Figura 125. Regulación del reposabrazos.....	171
Figura 126. Vista isométrica del diseño final	176
Figura 127. Usuario sentado	177
Figura 128. Usuario en posición bípedo.....	177

RESUMEN

El actual estudio de investigación desarrolla el diseño de una silla de ruedas con mecanismo de posicionamiento bípeda, orientado a usuarios con paraplejia en la región Junín. Su objetivo principal es permitir el cambio seguro de una postura sentada a una posición erguida con el fin de prevenir la formación de escaras o coágulos, mejorar la circulación sanguínea y facilitar el alcance de objetos fuera del radio habitual del usuario. La necesidad surge de la escasa disponibilidad de dispositivos de asistencia accesibles y adaptados a las características antropométricas de la población de Junín, lo cual limita calidad de vida y su autonomía.

La investigación es de tipo tecnológica aplicada y se formuló siguiendo la metodología de diseño sistemático establecida por la norma VDI 2221, asegurando una solución estructurada, funcional y factible. El diseño fue modelado en SolidWorks y validado mediante simulaciones estructurales por elementos finitos (FEA).

El resultado obtenido es un dispositivo ergonómico, funcional y adaptable a las características antropométricas del usuario, que mantiene un ángulo fijo de bipedestación. La estructura incorpora componentes clave como reposapiés abatibles, frenos tipo tijera, cinturones de sujeción pectoral y pélvico de dos puntos y soportes ajustables para miembros inferiores. En posición erguida el sistema proporciona seis puntos de apoyo sobre el suelo para mejorar la estabilidad complementado con ruedas antivuelco traseras que aseguran la seguridad en superficies irregulares. Las ruedas delanteras pequeñas y dirigibles, junto con ruedas traseras de mayor diámetro, permiten un desplazamiento eficiente y maniobrable. El sistema de propulsión puede ser manual mediante aros de empuje o asistido y cuenta con guardas de protección para evitar lesiones en las manos del usuario. La transición a la postura bípeda se ejecuta mediante un actuador lineal eléctrico controlado por un interruptor, apoyado por amortiguadores a gas que incrementan el confort y absorben impactos. La estructura se basa en un chasis rígido de alta resistencia mecánica diseñado bajo criterios de seguridad y funcionalidad.

Finalmente, el diseño resultante no solo cumple con las condiciones técnicas y ergonómicas exigidas por los usuarios, sino que también representa una alternativa económica, con un costo estimado de S/ 3,350 significativamente inferior al de modelos comerciales importados. Se concluye que esta solución tecnológica constituye un aporte importante para elevar la autonomía, movilidad y calidad de vida de ciudadanos con discapacidad física en contextos de bajos recursos. No obstante, se sugiere considerar futuras mejoras enfocadas en la optimización

del confort, la facilidad de uso y la adaptabilidad del sistema según las necesidades individuales del usuario.

Palabras claves: diseño, silla de ruedas, posicionamiento bípedo, paraplejia.

ABSTRACT

This research project presents the design of a wheelchair with a bipedal positioning mechanism, aimed at individuals with paraplegia in the Junín region. Its main objective is to enable a safe transition from a seated to an upright position in order to improve blood circulation, prevent the formation of pressure ulcers or blood clots, and facilitate access to objects beyond the user's usual reach. The need arises from the limited availability of accessible assistive devices adapted to the anthropometric characteristics of the local population, which restricts users' autonomy and quality of life.

This is applied technological research, developed following the systematic design methodology established by the VDI 2221 standard, ensuring a structured, functional, and feasible solution. The design was modeled in SolidWorks and validated through finite element analysis (FEA).

The resulting product is an ergonomic, functional, and adaptable device tailored to the user's anthropometric features, maintaining a fixed bipedal standing angle. The structure includes key components such as foldable footrests, scissor-type brakes, two-point chest and pelvic support belts, and adjustable lower limb supports. In the standing position, the system provides six ground contact points for enhanced stability, complemented by rear anti-tip wheels that ensure safety on uneven surfaces. The small, steerable front wheels and larger rear wheels allow for efficient and maneuverable movement. The propulsion system can be manual using push rims or assisted, and includes protective guards to prevent hand injuries. The transition to the standing position is performed by an electric linear actuator controlled by a switch, supported by gas springs that increase comfort and absorb impacts. The structure is based on a high-strength rigid chassis designed according to safety and functionality criteria.

Ultimately, the final design not only meets the technical and ergonomic requirements demanded by users but also represents a cost-effective alternative, with an estimated cost of S/ 3,350, significantly lower than imported commercial models. It is concluded that this technological solution represents a significant contribution to improving autonomy, mobility, and quality of life for individuals with physical disabilities in low-resource settings. However, future improvements are suggested, focusing on optimizing comfort, ease of use, and system adaptability according to individual user needs.

Keywords: design, wheelchair, bipedal positioning, paraplegia.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, más del 12 % de la población peruana, según el INEI-CONADIS-2000 al 2017, tiene algún tipo de discapacidad (visual, audición, motriz, habla, conductual o intelecto), que no le deja desenvolverse “normalmente” en la sociedad. Siendo así, que las personas con paraplejía para atenuar dicha discapacidad requieren de una silla de ruedas, la cual es un medio de traslado, que apoya al usuario a movilizarse, logrando la inclusión y participación de la persona en la sociedad. Sin embargo, disponer de una silla de ruedas adecuada al peso y talla de la persona es limitado, debido a que comúnmente estas sillas deben ser importadas, siendo su costo de adquisición mayor a \$1000 para sillas con componentes eléctricos y \$200 para sillas con componentes simples.

Las sillas de ruedas deben ajustarse a la persona y no al revés, teniendo como primordial peculiaridad la comodidad, movilidad y funcionalidad del cliente. Es por ello, que a nivel nacional hay diversas variedades de sillas de ruedas (eléctricas o manuales) que son desmontables, transportables, plegables, ajustables (en los reposabrazos, respaldo, reposapiés, anchura del asiento, etc.), siendo estos componentes de diversos mecanismos para su regulación y materiales.

A nivel nacional, algunos modelos de sillas de ruedas son confeccionadas en el Perú, como las manuales, sin embargo, en algunos casos son modificados, siendo estas muy amplias, pesadas, con estructuras no modulares que aminoran el desplazamiento de una parte a otra. No obstante, existe la necesidad de una silla de ruedas con posicionamiento bípedo que ayudaría al individuo a tener mayor independencia, ya que alcanzaría objetos que están a mayor altura y podría cambiar frecuentemente de posición.

Por ello, en la presente investigación se formula el diseño mecánico de una silla de ruedas con posicionamiento bípedo. Buscando una ventaja económica a nivel local, considerando los planos de fabricación de la estructura y los cálculos de diseño. Con el fin de ejecutar objetivos planteados en el presente estudio se utilizará la norma alemana VDI 2221 (método de diseño en Ingeniería mecánica), que ayudará en el progreso del diseño de la silla de ruedas con postura bípedo, desempeñando cada una de las tareas que establece, entre las cuales tenemos: la planificación, elaboración del proyecto, concepto de solución y elaboración de la ingeniería de detalles.

El presente estudio completo se dividirá en cinco capítulos. En el primer capítulo se enfocará en plantear y formular el problema dando a conocer los inconvenientes musculoesqueléticos y movilidad limitada de las personas con paraplejía en la región Junín, también, se darán a conocer los objetivos principales y específicos. En el segundo capítulo se abordará el marco teórico, donde se desarrollará los conceptos y teorías en las cuales se basará el estudio, asimismo se darán a conocer los antecedentes de la tesis, ya sean artículos y tesis referentes al tema a nivel internacional, nacional y local. En el tercer capítulo se desarrollará la metodología de diseño con sus correspondientes fases, modelos y etapas. En el cuarto capítulo se evaluará la alternativa más eficiente de solución del prototipo de la silla de ruedas bípeda que se adapte a la comodidad, seguridad y economía del usuario. Finalmente, en el quinto capítulo se hará la conclusión del prototipo favorablemente para el usuario y se realizarán las recomendaciones respectivas.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

1.1.1. Planteamiento del problema

La silla de ruedas tiene su origen en Kazajistán, ya que se descubrió una prótesis del año 2300 a. C. en Egipto. En Grecia, alrededor del año 530 a. C., se adecuaron ruedas a una cama, y posteriormente, en China en el año 525 a. C., se añadieron ruedas a una silla. Finalmente, en 1995, Carlos V de España creó por primera vez la silla de ruedas como la conocemos hoy en día (1).

La OMS (1970) señaló que alrededor del 10 % de los humanos a nivel mundial sufría algún tipo de discapacidad (2). En 2021, alrededor de mil millones de humanos (aproximadamente el 15 % de los ciudadanos a nivel mundial) presentan esta condición (3). Según el INDEC (2018), más del 10 % de los argentinos tienen alguna discapacidad, siendo la más prevalente la motora, que afecta al 59 % de los casos (4).

A nivel nacional, el CONADIS (2018) informó que, en 2017, más del 62 % de los individuos con discapacidad en Perú presentaban una déficit músculo-esquelética, y aproximadamente el 32 % sufría un defecto en la locomoción (5). Además, el INEI (2017) indicó que 3,051,612 personas en el país poseen alguna discapacidad, de lo cual más del 15 % (462,060) tienen dificultades para moverse o caminar (6).

En la región de Junín, según el Informe Estadístico del Registro Nacional de la Persona con Discapacidad del reporte de enero de 2022 – CONADIS, 50,327 personas tienen algún tipo de discapacidad, y 11,506 de ellas están registradas, representando el 22.9 % del total de humanos con discapacidad en la región. De estas, 7,924 personas, esto es, el 68.9 % de los registrados, toleran alguna discapacidad en la locomoción (7).

La limitación en la locomoción impide que las personas se desplacen por sí mismas. Para mitigar esta deficiencia, se utilizan prótesis o sillas de ruedas para individuos con paraplejia, entre otras condiciones. No obstante, un usuario con paraplejia que maneja una silla de ruedas usual puede enfrentar dificultades en su movilidad y, al sostener la misma posición de manera prolongada, puede experimentar incomodidad y desarrollar úlceras por presión. Además, la falta de movimiento afecta la circulación sanguínea y aumenta la dependencia de la persona hacia su cuidador.

Por lo cual, en la presente investigación, se plantea el diseño de una silla de ruedas con posicionamiento bípedo destinada a favorecer la extensión y funcionalidad de movimientos, y así incrementar la independencia de este segmento de la población.

1.1.2. Problema general:

¿Cómo realizar el diseño de una silla de rueda con mecanismo de posicionamiento bípedo para personas con paraplejia en la región Junín?

1.1.3. Problemas específicos:

1. ¿Cuáles son las medidas antropométricas de los ciudadanos de la región de Junín para el diseño de una silla de ruedas con mecanismo de posicionamiento bípedo para personas con paraplejia en la región Junín?
2. ¿Cómo seleccionar el tipo de material y medidas para el diseño de la estructura de cada componente de una silla de ruedas con mecanismo de posicionamiento bípedo para personas con paraplejia en la región Junín?
3. ¿Cómo diseñar los componentes de una silla de ruedas con mecanismo de posicionamiento bípedo para individuos con paraplejia en la región Junín?

4. ¿Cómo diseñar los mecanismos de elevación, suspensión y estabilidad con las consideraciones biomecánicas de una silla de ruedas con mecanismo de posicionamiento bípedo, para individuos con paraplejía en la región Junín?

1.2. Objetivos de la investigación

1.2.1. Objetivo general

Realizar el diseño de una silla de ruedas con mecanismo de posicionamiento bípedo para personas con paraplejía en la región Junín.

1.2.2. Objetivos específicos

1. Identificar las medidas antropométricas del ciudadano de la región de Junín para el diseño de una silla de ruedas con mecanismo de posicionamiento bípedo para personas con paraplejía en la región Junín.
2. Seleccionar el tipo de material y medidas para el diseño de la estructura de cada componente de la silla de ruedas con mecanismo de posicionamiento bípedo para personas con paraplejía en la región Junín.
3. Diseñar los componentes de una silla de ruedas con mecanismo de posicionamiento bípedo para individuos con paraplejía en la región Junín.
4. Diseñar los mecanismos de elevación, suspensión y estabilidad con las consideraciones biomecánicas de una silla de ruedas con mecanismo de posicionamiento bípedo, para individuos con paraplejía en la región Junín.

1.3. Justificación e importancia

1.3.1. Justificación económica

El presente trabajo aportará un valor económico significativo al ofrecer una alternativa más accesible en las sillas de ruedas vendidas en el mercado, cuyo costo es de S/ 7500. Además, facilitará la integración de individuos con paraplejía en el ámbito profesional o laboral.

1.3.2. Justificación teórica

El valor teórico de este estudio se encuentra en la ampliación y generación del conocimiento sobre el diseño de sillas de ruedas con posición bípeda. Este estudio fomentará el interés en

futuras investigaciones destinadas a desarrollar y perfeccionar el diseño de una silla de ruedas con mecanismo de postura bípeda, dado que su fabricación no implicará costos elevados.

1.3.3. Justificación práctica

El valor práctico de esta investigación radica en el diseño de una silla de ruedas con postura bípeda, que se utilizará como medio de transporte para personas con paraplejia. Esta silla permitirá posicionar a los usuarios en una postura vertical, reduciendo la presión corporal al estar sentados y disminuyendo el riesgo de lesiones, lo cual mejorará su bienestar.

1.3.4. Justificación social

El valor social del estudio tendrá un impacto en los aspectos de accesibilidad e inclusión, ya que la silla de ruedas bípeda mejorará la movilidad e independencia de la persona con paraplejia, permitiéndoles participar más activamente en la sociedad, incluido el mercado laboral. Asimismo, esta silla con postura bípeda mejorará la calidad de vida, ya que el usuario será más independiente y autónomo, también permitirá una postura más natural y ergonómica, logrará reducir problemas de salud relacionados con el uso prolongados de una silla de ruedas habitual, como problemas musculo esqueléticos y úlceras por presión.

1.3.5. Justificación ambiental

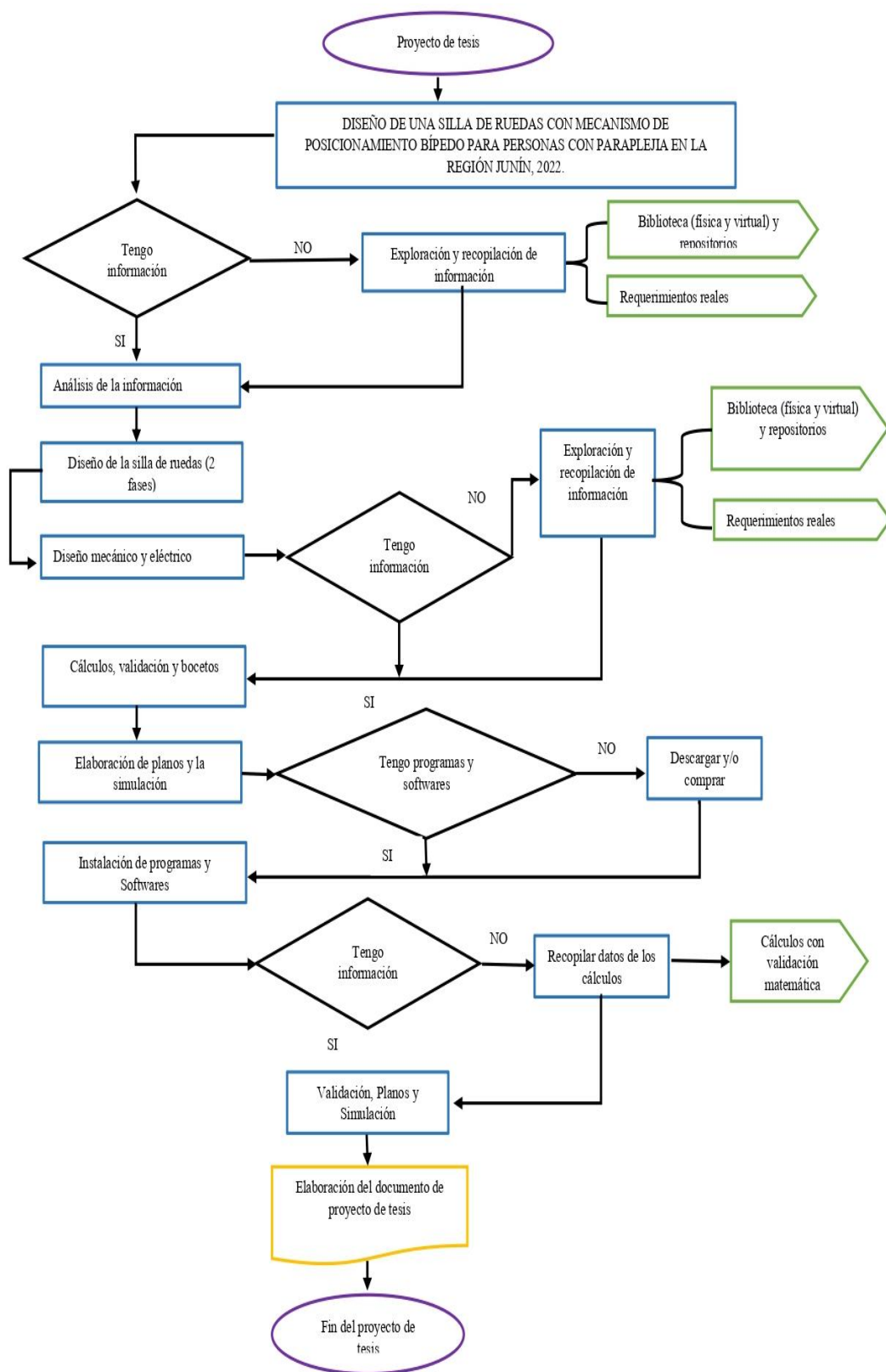
El valor ambiental del presente proyecto permitirá la eficiencia en el uso de recursos, se realizará un diseño ligero y modular para facilitar la reparación y reutilización. Además, el diseño de la silla de ruedas con postura bípeda facilitará el desplazamiento de una persona con paraplejia en zonas inclinadas con un máximo de 6.84° (según la norma NTE INEN 2 245, 2000) y en superficies planas, sin requerir la asistencia de terceros. Asimismo, una silla de ruedas diseñada con durabilidad tendrá un mínimo impacto ambiental durante su vida útil, ya que reducirá la necesidad de reemplazos frecuentemente por ello no existirá demanda de nuevo recursos.

1.3.6. Justificación metodológica

Por otro lado, el valor metodológico de la investigación sobre la silla de ruedas con posición bípeda proporcionará información novedosa, ya que en el Perú y en la región de Junín no se realizaron investigaciones sobre este tipo de dispositivos especiales, destinados a personas con discapacidad física en sus miembros inferiores. Esta información será valiosa para el desarrollo de futuros diseños de sillas de ruedas con posición bípedo.

1.4. Flujograma del proyecto

Figura 1. Flujograma del proyecto de investigación



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes a nivel internacional

El artículo científico titulado: «*Diseño de un equipo de bipedestación*» tiene por finalidad desarrollar un mecanismo que facilite ejecutar terapias de bipedestación. Utilizando herramientas de diseño asistido por computadora (CAD), los resultados incluyen un sistema que mantiene al paciente seguro en el equipo, Este sistema consiste en dos dispositivos: uno ubicado bajo del asiento y otro conectado detrás del respaldo. El diseño permite que el paciente realice terapias de bipedestación y, si es necesario, ejercite sus extremidades superiores e inferiores mediante pedales y palancas (8). Este análisis es significativo para la tesis porque proporciona un diseño funcional para realizar terapias de bipedestación.

La investigación de maestría titulada: «*Diseño estructural de una silla de ruedas de bipedestación con sistema de verticalización y la incidencia en su eficiencia energética*» tiene por finalidad diseñar el chasis de la silla de ruedas de posición bípeda con un enfoque en la eficiencia energética y el sistema de verticalización. Utilizando la metodología de elementos finitos (FEM), se obtuvieron como logros que incluyen un modelo de una silla de ruedas con sistema de posición bípeda, utilizando principalmente tubos redondos en la estructura. Para los ensayos estáticos y dinámicos, se establecieron valores de seguridad infalibles, al igual que niveles aceptables de esfuerzo y deformación equivalente máximo a partir del análisis global de toda la estructura. No obstante, se identificaron puntos críticos aceptables en la estructura inferior (9). Se recomienda utilizar este estudio como apoyo para la construcción, diseño y validación de un modelo de una silla de ruedas de posición bípeda con un sistema de

verticalización energéticamente eficaz. Este análisis es significativo para el estudio porque proporciona un diseño del chasis de una silla de ruedas de posición bípeda con un enfoque en la eficiencia energética y el sistema de verticalización.

El trabajo académico de pregrado denominado: «*Construcción de una silla de ruedas eléctrica para bipedestación*» tiene por finalidad construir y diseñar una silla de ruedas eléctrica para bipedestación. Utilizando las metodologías de diseño CAM y CAD, se obtuvo un mecanismo de bipedestación con las medidas adecuadas para una postura bípeda correcta, logrando un ángulo de 75°. El diseño CAD permitió diseñar el 70 % de los componentes de ensamblaje para su selección y revisión de materiales antes del desarrollo de fabricación, y al culminar la simulación se obtuvo una estructura capaz de soportar 100 kg en un componente no crítico, con un factor de seguridad de 2.1. Para adaptarse al usuario, la estructura es ajustable en el respaldo, el ángulo del asiento, la altura del reposapiés y las ruedas centrales (10). Se recomienda utilizar este trabajo de investigación como referencia para analizar la localización de los puntos de presión de los arneses y mejorar el equilibrio de dichos puntos para la incorporación de sensores. Este análisis es importante para la tesis porque proporciona un diseño y elaboración de una silla de ruedas eléctrica para bipedestación.

La investigación de posgrado: «*Diseño y construcción de una silla bipedestadora para personas con discapacidad en sus extremidades inferiores*» tuvo como finalidad el diseño y fabricación de una silla bipedestadora hacia individuos que tienen discapacidad en sus partes inferiores. Se usó el software SolidWorks y se validó en ANSYS, luego se analizó la posición, aceleración y velocidad en el software ADAMS. Se obtuvo como resultados; que para elevar a la persona la mínima fuerza es de 1475.88N; también, se manufacturó la silla que presentó un costo factible de 1052.800\$ (11). Asimismo, se recomienda que de modo adecuado se ajuste a la persona a la silla de ruedas bípeda, realizando mantenimiento en el plazo establecido. Este estudio es importante para el estudio porque proporciona la construcción y diseño de la silla con postura bípeda para personas con discapacidad en sus miembros inferiores.

El estudio de pregrado denominado: «*Diseño de una silla bipedestadora para terapias de rehabilitación y reeducación física para personas adultos con un peso máximo de 100 kg*» tuvo como objetivo diseñar una silla con posicionamiento bípedo para rehabilitación y reeducación física de los miembros inferiores de individuos adultos de peso menor a 100 kg. Se usó el software SolidWorks, diseñando la base a través de la silla; analizando la condición de Grashof se obtuvo el mecanismo de cuatro barras que sirve para la bipedestación, el material que se mejor se acomoda a los requerimientos del prototipo se halló con el software CES EduPack; finalmente, el actuador lineal es elegido en base a las exigencias de uso y tomando en cuenta

que va ser utilizado por individuos con discapacidad temporal (12). Asimismo, se recomienda implementar sensores como fines de carrera, quienes emitan un ruido para que la persona tenga una mejor percepción de la posición en la que se encuentra. También, se recomienda incrementar un controlador de ángulos de inclinación. Este estudio es importante para la investigación porque aporta un diseño de una silla con postura bípeda para terapias de reeducación física y rehabilitación para usuarios mayores de edad con un peso menor de 100 kg.

La investigación titulada: «*Sistema de control para la movilidad y extensión de una silla de ruedas eléctrica de bipedestación*» tuvo como fin diseñar un sistema de control para mejorar extensión y el desplazamiento de una silla de ruedas eléctrica en posición bípeda. Los resultados obtenidos incluyeron un sistema de control que solo funcionaba cuando la carga de batería era adecuada. Además, se implementó una memoria en el sistema de control para recopilar datos relevantes, que podían ser presentados estadísticamente y ayudar en el desarrollo de decisiones. El estudio del sistema de control permitió al usuario controlar la silla cómodamente, ya que los indicadores del joystick se ajustaron para evitar movimientos bruscos (13). Se recomendó considerar esta investigación como una referencia previa para analizar estadísticamente el sistema de control en función por persona, lo que permitiría generar mejoras específicas para cada tipo de usuario. Este estudio es importante porque proporcionó un diseño de un sistema de control para el desplazamiento y extensión de una silla de ruedas eléctrica en posición bípeda.

El estudio de tesis titulado: «*Diseño y fabricación de una silla de ruedas bipedestadora multi postura con sistema de desplazamiento horizontal y vertical para la empresa Sayani*» tuvo como fin fabricar una silla de ruedas multi postura usando el mecanismo de bipedestación con elementos eléctricos para mejorar el ángulo de elevación en individuos con discapacidad física (paraplejia). Se obtuvo como resultados que, para la selección de materiales mecánicos se debe valorar factores como la durabilidad, resistencia y peso, se usó tubos rectangulares de acero A36 para el diseño del chasis, el mecanismo de bipedestación debe alcanzar una elevación máxima de 84° para que sea levantado (14). Asimismo, se recomienda materiales más livianos y resistentes que pueda soportar el peso del usuario de 100 kg; asimismo, el ángulo de inclinación debe ser de 84° ya que no habrá apoyo de las piernas sobre la estructura si llega a 90°. Este estudio es importante porque aporta un diseño y construcción de una silla de ruedas bipedestadoras multi postura con método de deslizamiento vertical y horizontal.

2.1.2. Antecedentes a nivel nacional

El artículo científico denominado: *«Efecto de la rehabilitación de la calidad de vida para personas con lesión medular»* tuvo como meta evaluar los resultados de un proyecto de rehabilitación en las condiciones de vida de individuos con lesión medular. Utilizando una metodología analítica, observacional, longitudinal y prospectiva, se alcanzaron hallazgos significativos en cuanto a la selección del personal hospitalizado según edad, sexo, estado civil, dimensiones física y mental de la calidad de vida, tanto al inicio como al final del programa. En su estudio, se concluye que las personas con cuadriplejía tipo ASIA A deben fortalecer los aspectos mentales y psicológicos para fomentar su capacidad de superación. Es crucial la práctica de terapia atlética incorporada en pacientes con mejor funcionalidad, con fines de socialización y participación, tras el alta hospitalaria (15). Este estudio es importante porque aporta información sobre el impacto del programa de rehabilitación sobre la calidad de vida de personas con lesión medular.

La investigación titulada: *«Diseño de una silla de ruedas con mecanismo de posicionamiento bípedo»* tiene como propósito diseñar una silla de ruedas mecánica que admita colocar al individuo en postura vertical. Utilizando la metodología de diseño de la Norma Alemana VDI 2221, se logró un bosquejo de una silla de ruedas para individuos con paraplejía que incluye un sistema que permite moverse de la postura sentada a bípeda. La silla de ruedas tiene una disposición máxima de carga de 100 kg y cumple con los requisitos de seguridad, gracias a un cinturón de seguridad ubicado en el pecho, pelvis y rodillas (16). Además, se recomienda utilizar esta tesis como base para mejorar los materiales y el diseño, así como para integrar un sistema de accionamiento eléctrico (16). Este estudio es relevante ya que proporciona un diseño de una silla de ruedas mecánica con un mecanismo que permite posicionar verticalmente al paciente.

El estudio titulado: *«Diseño de una silla de ruedas bípeda para personas con discapacidad motriz de las extremidades inferiores»* utiliza la herramienta computacional SOLIDWORKS para desarrollar un diseño de silla de ruedas con un sistema de postura bípeda. Este diseño incorpora una estructura compuesta principalmente por un tubo redondo. Los valores obtenidos empleando el método de elementos finitos (FEM) muestran que el diseño proporciona estabilidad óptima, con el centro de gravedad encontradas en las coordenadas adecuadas. Se establecen parámetros que desempeñan con los requisitos de deformaciones, esfuerzos y factor de seguridad (2). Asimismo, se recomienda tomar en cuenta este estudio, ya que nos recomienda el uso del aluminio como materia prima para el diseño de la silla de ruedas. Este estudio es

importante para la tesis ya que presenta un diseño de silla de ruedas bípeda para personas con paraplejía y un peso inferior a 150 kg.

El estudio de tesis titulado: *«Propuesta conceptual en el diseño de una silla de ruedas con sistema de posicionamiento bípodo para personas con paraplejas»* detalla el proceso de elaboración de un diseño teórico para una silla de ruedas que permita una postura bípoda de individuos con paraplejía. Haciendo uso de la metodología VDI 2221 de la norma alemana, se logró un diseño conceptual ideal que incluye cada uno de los dispositivos de seguridad requeridos para conservar estable a la persona en todo instante. Además, se elaboró una relación de requisitos de diseño del dispositivo para seleccionar los elementos que desarrollen las tareas esenciales (17). Esta investigación servirá como guía o base para futuras proyectos o investigaciones relacionados con el diseño de sillas de ruedas con posicionamiento bípodo. Esta investigación es importante porque proporciona un diseño conceptual de una silla de ruedas con posicionamiento bípodo.

El estudio de pregrado titulado: *«Diseño de una silla de ruedas mecatrónica funcional para mejorar la accesibilidad de un adulto con paraplejía»* se realizó utilizando el software Autodesk Inventor para simular el modelo de trabajo y micro plan para la programación. Este estudio propone un diseño de silla de ruedas mecatrónica multifuncional, que aprovecha como apoyo técnico para una mejor accesibilidad de personas con paraplejía en áreas transitadas en Lima. Los resultados fueron positivos, con el diseño de un sistema de dirección diferencial que ayuda a minimizar cualquier lesión mientras la persona está sentada. Este sistema optimiza la libertad de movimiento de una persona con paraplejía gracias a una transmisión directa, proporcionando mejor maniobrabilidad y tracción (18). Para futuros estudios sobre la independencia de movimiento, se recomienda considerar un sistema de amortiguación más eficaz y una estructura más ligera. Este estudio es importante porque proporciona un diseño funcional de una silla de ruedas mecatrónica orientado a personas con paraplejía.

El estudio denominado: *«Silla de ruedas con cambio de posición de sentado a erguido para asistir la discapacidad motora de miembros inferiores en adultos – 2019»* se realizó utilizando la herramienta computacional SOLIDWORKS. Los frutos del estudio incluyen el diseño de una silla de ruedas que permite cambiar de la posición sedente a la posición erguida, con un actuador lineal que tiene una rapidez de 5 mm/s. El tiempo de elevación es de setenta segundos y el de descenso es de sesenta y ocho segundos, lo que ayuda a que el usuario no tenga sobresaltos y se sienta seguro. El actuador lineal ejecuta movimientos suaves para proteger la seguridad de los pacientes. Además, se añadieron correas de reposa pantorrillas y pies, así como sujeción y apoyo de rodillas para evitar movimientos indeseados (19). Este estudio es importante para el

proyecto de investigación porque proporciona un diseño de una silla de ruedas mecánica con variación de postura de sedestación a bipedestación para tratar la deficiencia motora de las extremidades inferiores en personas mayores.

La investigación titulada: «*Configuración de una silla de ruedas ergonómica inteligente para cuadripléjicos*» tuvo como fin configurar la parte mecánica de una silla de ruedas ergonómica para individuos cuadripléjicos. Los resultados obtenidos incluyen una silla de ruedas ergonómica con un respaldo de 50 cm de ancho y 82 cm de alto, y un asiento de 50 cm de ancho y 47 cm de profundidad. También se configuró una silla de ruedas inteligente seleccionando mecanismos que facilitan el desplazamiento, como sensores bioeléctricos y ultrasónicos, actuadores y procesamiento de datos. En cuanto al sistema de fijación, se dedujo que unas correas de seguridad de cuatro puntos fabricado con fibras artificiales, un fijador de cabeza y un reposabrazos antideslizante habían sido los componentes más adecuados. Además, se añadió un sistema de inclinación de 135 grados a la silla (20). Este estudio es importante para la tesis porque ofrece configurar la parte mecánica de una silla de ruedas ergonómica para usuarios cuadripléjicos.

El estudio denominado: «*Diseño de silla de ruedas económica para el desplazamiento en escaleras – Piura, 2019*» empleó la técnica de diseño de Dieter (2012), obteniendo varios resultados clave. Se expresó el diseño de la silla de ruedas, determinando los materiales de la estructura deseados por las personas con discapacidad. A través del software 3D “SolidWorks”, se evaluó el diseño de la silla de ruedas y se confirmó que cumplía con la función principal de subir y bajar escaleras mediante un análisis de movimiento. Además, se realizó una simulación de tensión que mostró la capacidad de soportar 102 kg (21). Se recomienda utilizar este estudio como sustento para añadir más componentes al diseño de la silla de ruedas, como un arnés de sujeción, y realizar transformaciones en el mecanismo para favorecer el movimiento de la persona en la silla. Este estudio es significativo para la tesis ya que proporciona un diseño económico de una silla de ruedas para el traslado en escaleras.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Situación de la silla de ruedas y las personas con paraplejia en el Perú

2.2.1.1. Problemática de los individuos con paraplejia

Primero, se establecerá la interpretación de "Discapacidad" y luego se abordará el entorno actual de las personas con invalidez en el Perú, especialmente aquellas con paraplejía.

Discapacidad se describe como "cualquier falta de capacidad o restricción para desarrollar una actividad de manera habitual o dentro de los límites que se contemplan común para una persona" (22). La invalidez es un fenómeno complejo que evidencia la interacción entre las particularidades del cuerpo humano y las condiciones de la sociedad en la que radica.

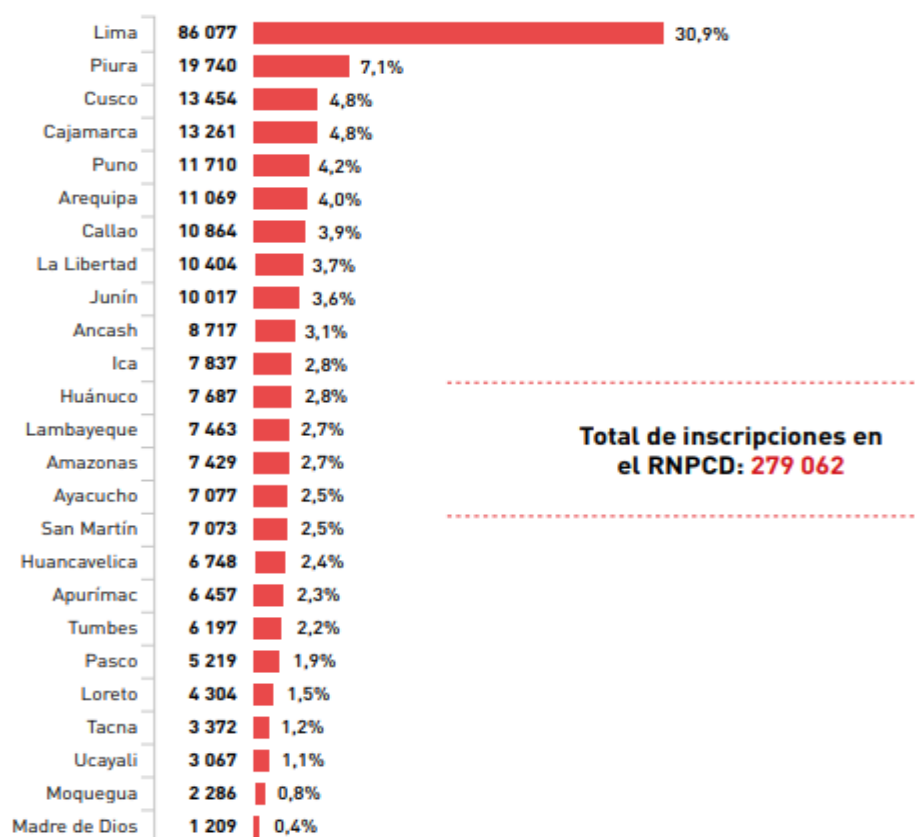
En el ámbito nacional, la ley general de la persona con discapacidad determina que un paciente con discapacidad implica que presenta una o más limitaciones, evidenciadas por el deterioro significativo de algunos de sus funciones sensoriales, físicas o mentales. Esto conlleva una falta o disminución en la capacidad para realizar movimientos dentro de los estándares establecidos, limitándole para desempeñar un rol, ejercicios o función de funciones y participar parcialmente en la población (23). Por tanto, se concreta la discapacidad como cualquier limitación en las actividades cotidianas de un individuo y en su integración social, originada por una deficiencia que impacta de forma duradera en la persona.

Según la OMS, la tipología de las discapacidades es: discapacidad visual, auditiva, motora o física e intelectual (22).

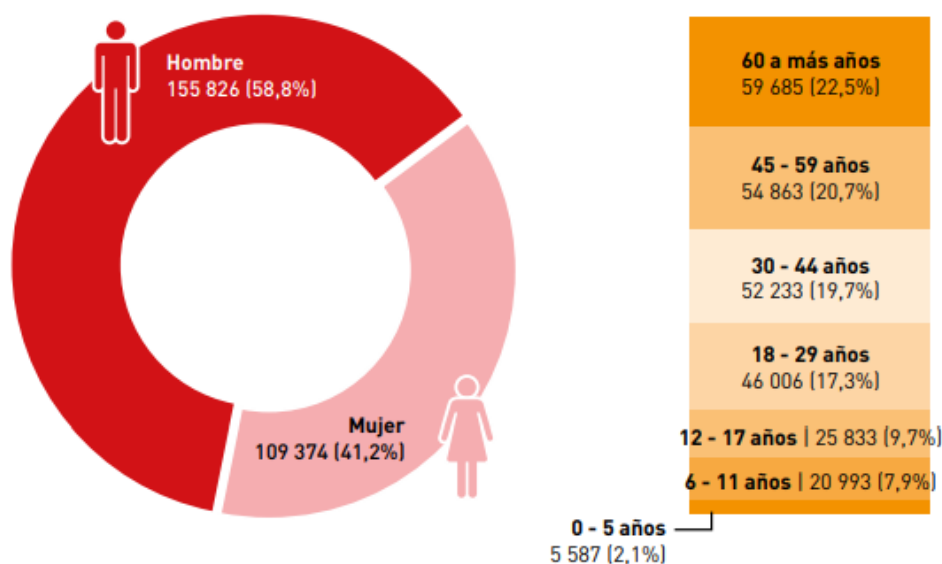
La Clasificación Internacional del Funcionamiento (CIF), de la Discapacidad y de la Salud de la OMS, menciona que la paraplejía se encuentra en el apartado de enfermedades del sistema nervioso (24), el cual se encuentra en:

- "G80-G83: Parálisis cerebral y otros síndromes paralíticos" (24)
- "G80: Parálisis cerebral" (24)
- "G81: Hemiplejía" (24)
- "G82: Paraplejía y tetraplejía" (24)
- "G82.0: Paraplejía flácida: Extrema debilidad de los músculos y pérdida de tono" (24)
- "G82.1: Paraplejía espástica: Rigidez progresiva del tono muscular" (24)
- "G82.2: Paraplejía sin especificar" (24)
- "G82.3: Tetraplejía flácida" (24)
- "G82.4: Tetraplejía espástica" (24)
- "G82.5: Tetraplejía sin especificar" (24)
- "G83: Otras parálisis" (24)

Según el CONADIS 2020, en el periodo del 2000 al 2019, en la región Junín, se inscribió a 10 017 individuos con discapacidad, que indica el 3,6 % de la comunidad inscrita con discapacidad (figura 2). De los individuos inscritos el 57,7 % son personas de edades entre 18 y 59 años, asimismo, 41,2 % son mujeres y el 58,8% son hombres (figura 3).



*Figura 2: Personas con discapacidad, según departamento
Tomada de CONADIS, 2000-2019 (25)*



*Figura 3. Personas con discapacidad según sexo y edad
Tomada de CONADIS, 2000-2019 (25)*

En 2017, se desarrolló en Perú una encuesta para analizar las características de los humanos con discapacidad según los diferentes tipos de restricciones. Los resultados evidenciaron que la gran parte de los individuos con discapacidad tenían entre 10 y 59 años. Más del 62% de estos individuos padecían deficiencias músculo-esqueléticas, y alrededor del 33% presentaban limitaciones en su capacidad para moverse. Esta restricción en la movilidad les impide desplazarse de un lugar a otro de manera autónoma.

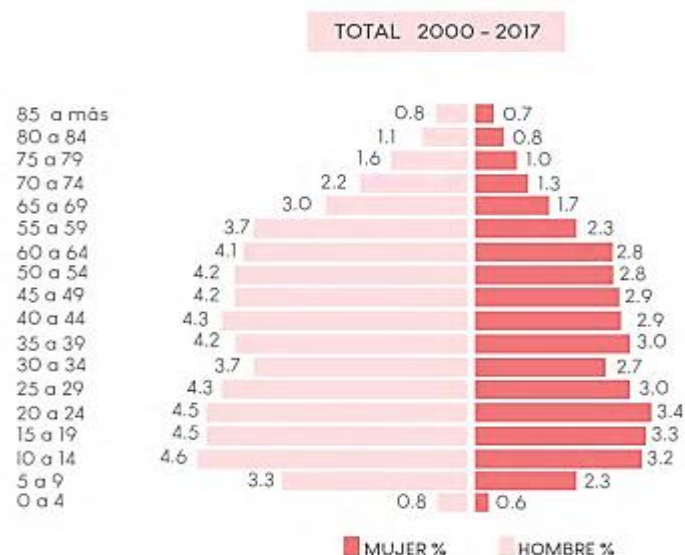


Figura 4. Pirámide poblacional de los individuos con discapacidad
Tomada de CONADIS, 2000-2017 (26)

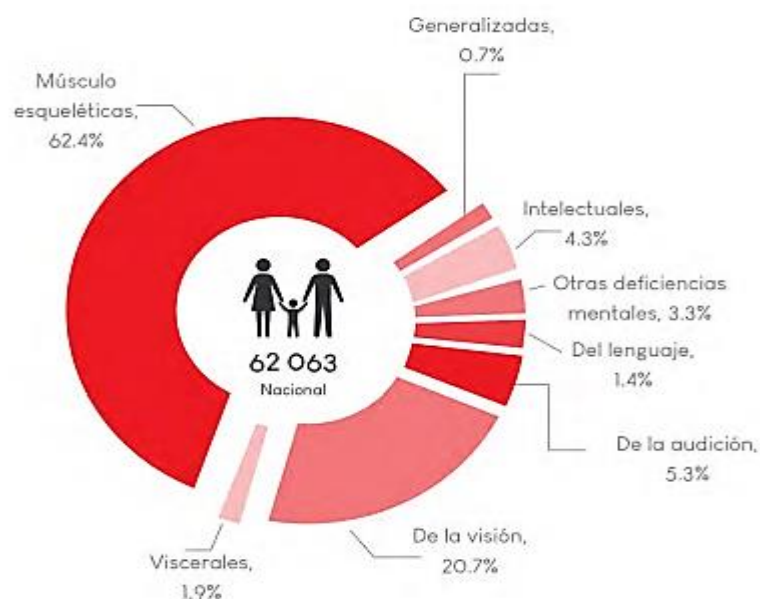


Figura 5. Población inscrita en el registro nacional de la persona con discapacidad con sola una deficiencia
Tomada de CONADIS, 2000-2017 (26)

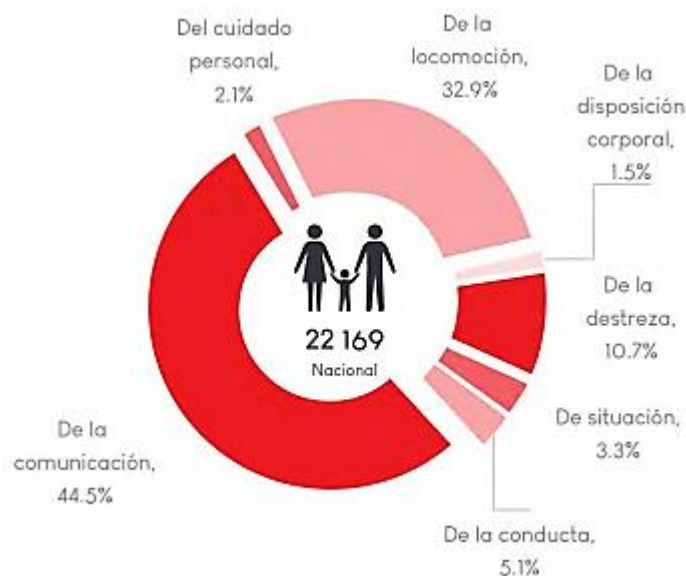


Figura 6: Población registrada en el Registro Nacional de la Persona con Discapacidad con una sola limitación durante el período
Tomada de CONADIS, 2000-2017 (26)

2.2.1.2. Características principales de la paraplejia

La paraplejia es una condición que involucra la pérdida de movilidad y sensibilidad en la zona inferior del cuerpo, especialmente en las piernas. Esto puede dificultar acciones como caminar, controlar la función intestinal y vesical, así como percibir estímulos como el calor, el frío o el contacto físico. Entre sus causas se encuentran las lesiones en la médula espinal, enfermedades del sistema nervioso o factores genéticos (27).

Entre las características primordiales de la paraplejia se encuentran los siguientes:

- Limitación del movimiento. - Imposibilidad de mover las piernas y, en algunos casos, también los músculos del abdomen, según el nivel de la lesión medular (27).
- Alteración de la sensibilidad. - Dificultad para percibir estímulos como el tacto, el calor o el frío en la parte baja del cuerpo (27).
- Disfunción en el control de esfínteres. - Complicaciones para manejar la vejiga e intestinos, lo que puede provocar escapes involuntarios o dificultad para evacuar.
- Espasticidad. - Aparición de espasmos o movimientos involuntarios en las piernas.
- Modificaciones en la vida sexual. - Posibles cambios en la capacidad y sensibilidad sexual.
- Efectos secundarios. - Riesgo de desarrollar úlceras por presión, infecciones urinarias, dificultades respiratorias o dolor persistente.
- Repercusiones emocionales. - La condición puede afectar el bienestar psicológico, desencadenando ansiedad, depresión o estrés (27).

- Necesidad de ajustes. - Quienes viven con paraplejia suelen requerir modificaciones en su entorno y rutinas para mantener su autonomía en las actividades cotidianas (27).

2.2.1.3. Características de personas con paraplejia en la región Junín

De acuerdo con la Encuesta Nacional Especializada sobre Discapacidad (ENEDIS) 2012 se calcula que, en la región Junín existen 45 622 individuos con discapacidad, lo que representa al 3.4 % de la población en general, siendo el 47 % varones y 53 % mujeres (7). De esta población, el 44.4 % pertenece al grupo etario de 24 a 64 años y el 35.2 % corresponde al grupo etario de 65 años a más; tal como se observa en la figura N°7. Es por ello que en la presente tesis se tomara como público objetivo a individuos de la región Junín de 64 a 20 años; ya que la mayor proporción de personas con discapacidad se encuentra dentro de este grupo de edad.

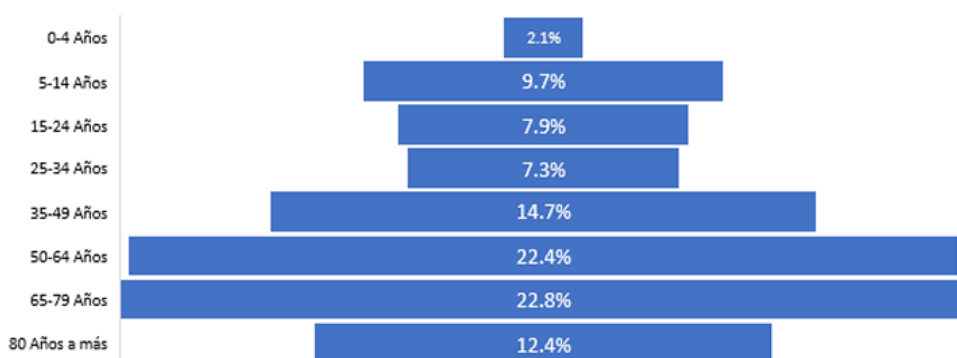


Figura 7. Población con discapacidad etario
Tomada de CONADIS, 2021 (7)

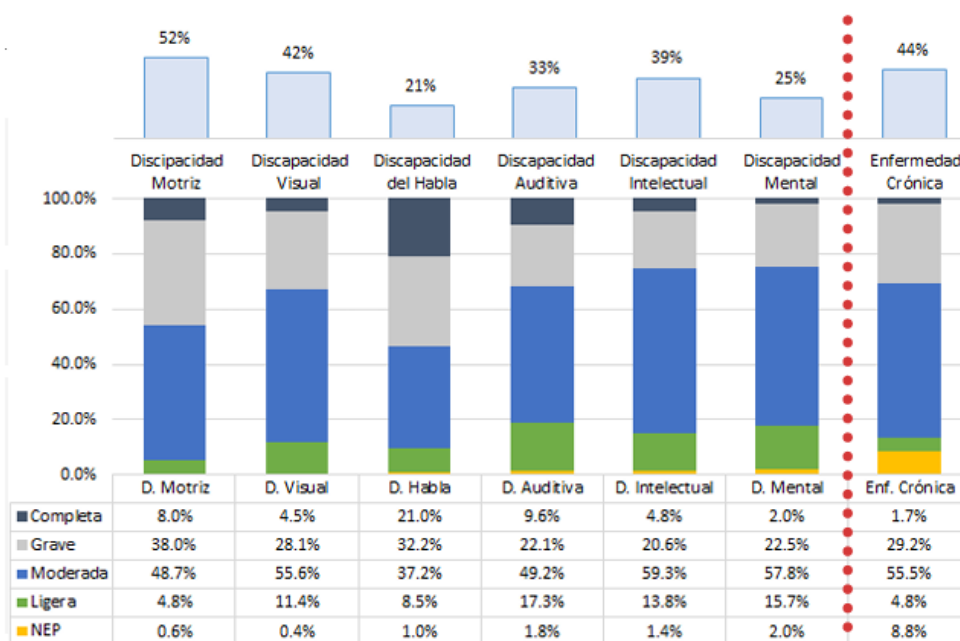


Figura 8. Tipos de discapacidad
Tomada de CONADIS, 2021 (7)

Además, se identifica en la figura 8 que la mayor parte de la población total con discapacidad en la región Junín presenta discapacidad motriz 52 %; encontrándose la paraplejia dentro de este tipo de discapacidad; es por ello que el diseño de la silla de ruedas con posicionamiento bípedo será destinado a las personas con paraplejia de la región Junín.

2.2.1.3. Causas de la paraplejia

La paraplejia se describe como una afección en la zona inferior del cuerpo que sufre una pérdida de funcionalidad y queda paralizada. Esta condición generalmente se origina a partir de una enfermedad cognitiva o de una lesión medular, como ocurre en la espina bífida, la cual produce una protuberancia en la región inferior de la espalda. Además, la paraplejia es capaz de surgir debido a una neuropatía generalizada, que reduce la capacidad de moverse o sentir debido a un daño en el sistema nervioso (28).

Las causas de la paraplejia incluyen la presencia de tumores (presión crónica a la médula espinal), lesiones traumáticas (compresión o seccionamiento de la médula espinal), mielitis transversa, esclerosis múltiple y la enfermedad de Pott (28). Otras causas incluyen:

- Lisiadura durante el proceso de parto que dañan la columna vertebral en el cuello.
- Accidentes en deportes, tránsito, trampolines o saltos al agua
- Caídas
- Violencia física

En cuanto al origen de la discapacidad, el 28 % se debe a enfermedades, el 16 % es de origen congénito, otro 16 % se atribuye al envejecimiento y el 9 % es resultado de actividades deportivas o accidentes (28).

2.2.1.4. Mecanismo bípedo

Primero se interpretará “mecanismo y bipedestación” para luego se desarrollará tipos de mecanismo de bipedestación.

- Se define un mecanismo como un componente de una maquina cuya función consiste en transmitir movimiento y fuerza desde una fuente energía hacia una salida (29).
- Bipedestación se define como la habilidad para mantenerse erguido sobre las extremidades inferiores, o la capacidad de estar de pie. En los seres humanos, la postura de pie y la locomoción bípeda constituyen la forma natural y predominante de desplazamiento. No obstante, la pérdida de esta función ya sea por enfermedades, lesiones o el proceso de envejecimiento, puede generar diversas repercusiones tanto físicas como psicológicas. En

respuesta a estas limitaciones, se han desarrollado dispositivos especializados, como las sillas de ruedas bipedestadoras, que facilitan a los usuarios con discapacidad la posibilidad de adoptar la posición de pie, mejorando así su calidad de vida (30).

Un mecanismo bípedo es un sistema robótico o mecánico diseñado para imitar la locomoción sobre las dos extremidades. En una silla de ruedas permiten al individuo con movilidad limitada cambiar de posición de sentada a bípeda.

2.2.1.5. Entorno físico

Esto se refiere a cualquier entorno construido por el ser humano, donde todo sujeto, incluidas aquellas con discapacidades, deben poseer las habilidades inevitables para desenvolverse en estos espacios con seguridad, comodidad y autonomía.

En este sentido, se consideraran las normativas que establecen los escenarios para que el mobiliario urbano (como teléfonos, semáforos, postes de señalización, asientos, carteles publicitarios, restaurantes, contenedores de residuos, quioscos, paraderos de autobuses, toldos, etc.), los espacios públicos (parques, estacionamiento, plazas, entre otros) y los edificios sean accesibles y cumplan con las especificaciones necesarias para el desplazamiento y la movilidad adecuada de los individuos con discapacidad.

En resumen, todas las personas, ya sea que tengan discapacidad o no, deberían poder acceder a todos los edificios y lugares que deseen, donde se ofrezcan servicios sin necesidad de realizar esfuerzos adicionales. Además, deberían poder utilizar las infraestructuras disponibles y, en caso de ser necesario, ser evacuadas de manera segura.

2.2.1.6. Accesibilidad de personas en silla de ruedas

La accesibilidad se basa en tres aspectos fundamentales de la labor humana: comprensión, comunicación y movilidad. No obstante, existen barreras que dificultan la realización de estas actividades (31):

- Barreras arquitectónicas: impedimentos para acceder a infraestructuras.
- Barreras urbanísticas: espacios públicos, incluido el mobiliario urbano.
- Barreras en las comunicaciones: obstaculizan la recepción y comprensión de mensajes verbales, ya sea a través de medios visuales o técnicos.
- Barreras en la movilidad: dificultan el acceso a los sistemas de transporte.

Se debe contemplar la magnitud de los espacios y los parámetros requeridos para garantizar el uso adecuado y el movimiento seguro, especialmente cuando los usuarios necesitan ajustes biomecánicos u otro tipo de apoyo para su locomoción (31).

Las condiciones de acceso adecuadas para una persona en silla de ruedas son (31):

- Entradas principales. - en establecimientos estatales, el ancho mínimo debe ser 1,2 m y la altura mínima de 2,1 m. Los mangos deben ser de tipo palanca y deben tener una altura máxima de 1,2 m.
- Ingresos. - deben tener rampas con una inclinación máxima del 14%, un ancho mínimo de 90 cm y una longitud adecuada. Si no hay rampa, se debe disponer de un medio mecánico.
- Ascensores. - la zona interior mínima para uso público debe ser de 1,5 m de ancho y 1,4 m de profundidad.
- Pasadizos. - el ancho mínimo debe estar entre 1,2 m y 1,5 m para pasadizos dobles y simples, permitiendo la rotación de una silla de ruedas.
- Servicios higiénicos: las superficies interiores deben tener una profundidad de 2,0 m y un ancho de 1,5 m.
- Escaleras. - deben ser antideslizantes y el ancho mínimo debe ser 1,2 m; además de referir con pasamanos a una altura de 80 cm.
- Señalización. - es obligatorio que todos los espacios públicos dispongan de señalización que identifique claramente las zonas reservadas para personas con discapacidad.

2.2.2. Leyes y normativas sobre la accesibilidad

Actualmente, se encuentran vigentes distintas normas y leyes destinadas a proteger la integridad física de las personas con discapacidad, prevenir la discriminación y asegurar su acceso a edificaciones públicas y privadas (31) . Algunas de estas leyes y normas son:

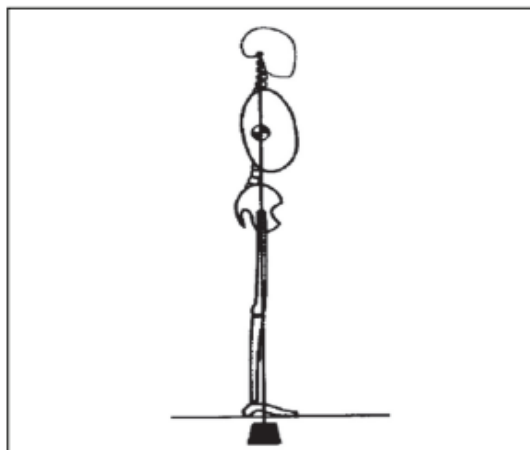
- Adecuación Arquitectónica para Individuos con Discapacidad - Norma Técnica de Edificación NTE A.060 (32)
- Ley General de la Persona con Discapacidad – Ley N°27050 (33)
- Adecuación Urbanística para Individuos con Discapacidad - Norma Técnica de Edificación NTE U.190 (34)
- Ley en favor de los impedidos físicos que utilizan sillas de ruedas, Ley N°23347 (35).
- Ley N°28164 modifica varios artículos de la Ley N°27050, Ley General de la Persona con Discapacidad (36).
- Ley que Regula el Parqueo Especial para Vehículos Ocupados por Personas con Discapacidad, Ley N°28084 (37).

- Ley 27920: Ley que establece sanciones por incumplimiento de normas técnicas de edificación NTE A. 060 y NTE U. 190, sobre adecuación arquitectónica y urbanística para individuos con discapacidad (38).

2.2.3. Biofísica de la bipedestación

La bipedestación se define como la situación o acción de mantenerse vertical sobre dos pies (mantenerse en posición vertical sobre dos piernas). Para alcanzar esta posición influyen múltiples factores, entre los cuales se encuentran: las articulaciones, la información visual, los músculos, el sistema nervioso y vestibular, todos colaboran en armonía para mantenernos erguidos y en movimiento (39).

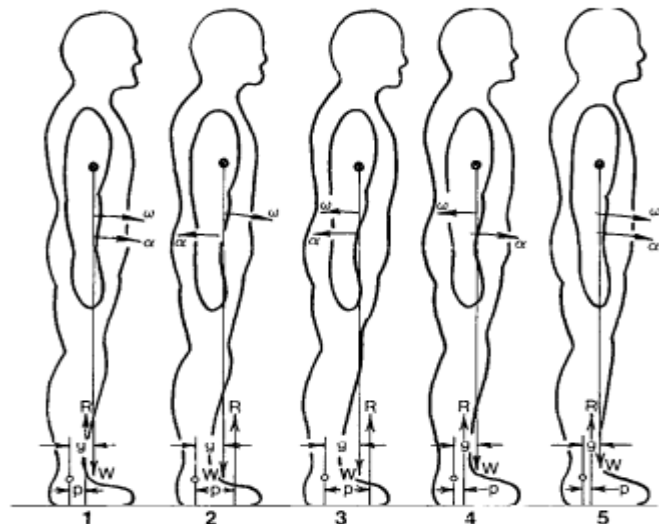
Para mantener el equilibrio y evitar caídas, sobre la base de apoyo (BOS) el sistema de control del cuerpo se encarga de mantener el centro de masa (COM). Esto se logra mediante el balance entre la gravedad y las fuerzas musculares anti gravitatorias. El control postural considera una fase de estabilidad económica, ya que es necesario conservar constante el COM sobre el BOS para conservar una posición erguida. Este proceso implica un movimiento oscilatorio en el cual, se encuentran alteraciones internas y externas, el cuerpo humano ajusta la ubicación de su COM tanto hacia delante como hacia atrás de la línea perpendicular trazada desde la superficie de contacto entre el suelo y el BOS (39).



*Figura 9. Proyección vertical imaginaria sobre la tierra que penetra al COM y BOS
Tomada de Luengas, 2013 (39)*

Winter (1995) distribuye en cinco momentos en los que el COM muestra diversas posturas para conservar la posición erecta, a este desplazamiento oscilatorio (40). Siendo los cinco momentos los siguientes:

- Momento 1.- inicia con la alteración que desliza el COM, juntamente a todo el organismo para adelante en el que la velocidad angular y aceleración se encuentran en sentido coincidente.
- Momento 2.- el movimiento angular del centro de masa (COM) experimenta una desaceleración y una variación de dirección al pivotar sobre el tobillo, influenciado por los movimientos de los dedos y la acción de los músculos de las piernas.
- Momento 3.- el COM experimenta una variación en la dirección de su velocidad angular, vinculada con la aceleración que induce un movimiento opuesto.
- Momento 4.- de manera similar al segundo momento, la aceleración modifica su dirección con el fin de reducir la velocidad del movimiento.
- Momento 5.- regresa a la fase uno y reinicia el ciclo.



*Figura 10. Momentos del COM para conservar el equilibrio y la posición bípida
Tomada de Winter, 1995 (40)*

2.2.4. Análisis del movimiento al levantarse

El cuerpo humano fue modelado mediante un sistema compuesto por tres barras rígidas, unidas por tres articulaciones y con tres grados de libertad. Dichas articulaciones corresponden a las rodillas, el centro de masa de la cadera y el tobillo. Adicionalmente, se asignaron coordenadas a la unión del hombro con el propósito de determinar su posición y trayectoria de movimiento (41).

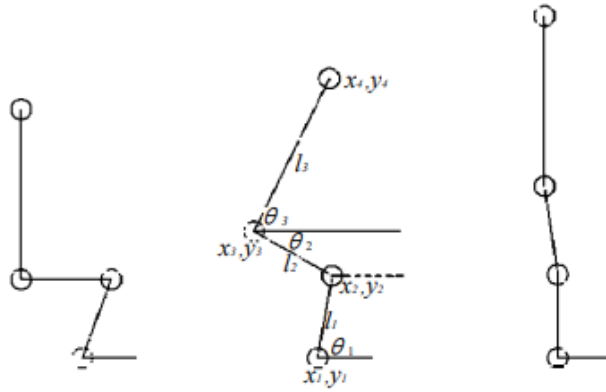


Figura 11. Modelo de tres barras representando el cuerpo humano
Tomada de Shi; Men y Chen, 2019 (41)

Se puede observar en la figura 11, las uniones que muestran a una articulación requerida para que el ser humano se pueda poner de pie, incluye variables determinadas para evaluar su posición con el método vectorial similar a un mecanismo.

Las siguientes ecuaciones del 1 al 3 son en el plano sagital que ubica la cadera, la rodilla y el hombro en movimiento, respecto a un sistema de referencia absoluto (inercial).

Ecuación para el centro de masa de articulación en la rodilla:

$$\begin{cases} x_2 = x_1 + l_1 \cos \theta_1 \\ y_2 = y_1 + l_1 \sin \theta_1 \end{cases} \quad \text{Ecu (1)}$$

Ecuación para el centro de masa de las articulaciones de la cadera:

$$\begin{cases} x_3 = x_1 + l_1 \cos \theta_1 - l_2 \cos \theta_2 \\ y_3 = y_1 + l_1 \sin \theta_1 + l_2 \sin \theta_2 \end{cases} \quad \text{Ecu (2)}$$

Ecuación del centro de masa de la articulación del hombro:

$$\begin{cases} x_4 = x_1 + l_1 \cos \theta_1 - l_2 \cos \theta_2 + l_3 \cos \theta_3 \\ y_4 = y_1 + l_1 \sin \theta_1 + l_2 \sin \theta_2 + l_3 \sin \theta_3 \end{cases} \quad \text{Ecu (3)}$$

2.2.5. La silla de ruedas

Los dispositivos de asistencia a la movilidad tienen sus orígenes alrededor del 4000 a.C., coincidiendo con la invención de la rueda, hecho que marcó el inicio de los primeros mecanismos de transporte adaptados a personas con dificultades motoras.

En 1595 se documenta la fabricación de un modelo similar a los actuales, creado para el Rey Felipe II (ver figura 12) (42).



Figura 12. Silla de ruedas
Tomada de KARMA, 2020 (42)

2.2.5.1. Especímenes de sillas de ruedas

Los dispositivos de asistencia se dividen según su método de propulsión en eléctricas y manuales, con diversas variedades dentro de cada categoría. A continuación, se describen las más destacadas:

- a) Sillas de ruedas manuales: son movidas por el individuo que las utiliza o por un asistente. Tienen generalmente ruedas traseras con un diámetro de entre 20 y 26 pulgadas, montadas en un eje y dispuestas de manera que los usuarios pueden manejarlas empujando hacia afuera o tirando hacia arriba de los bordes (ver figura 13) (16).

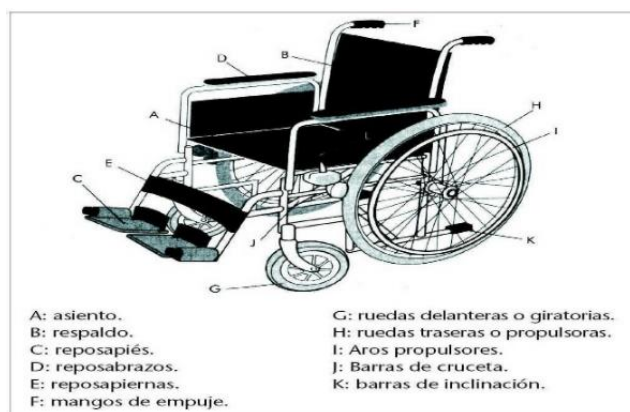


Figura 13. Silla de ruedas manual
Tomada de Gorgues, 2005 (43)

- b) Las sillas de ruedas tipo scooter: están equipadas con cuatro ruedas pequeñas que se despliegan desde una plataforma. Estas ruedas cambian según las necesidades y discapacidad del usuario. Una ventaja de este modelo es su capacidad de girar y facilitar al usuario subirse. Sin embargo, entre sus desventajas se encuentra la necesidad de que el usuario adopte una posición específica, lo que indica que estas sillas no son adecuadas para personas con discapacidades graves (ver figura 14) (16).



***Figura N°14: Silla de ruedas Scooter
Tomada de Fernández, 2020 (44)***

- c) Las sillas de ruedas deportivas: se emplean en actividades como baile, baloncesto, atletismo, rugby y tenis. Algunas de sus características comunes incluyen sistemas antivuelco, un centro de gravedad bajo, ruedas inclinadas y defensas. En esta categoría destacan las Hand Bikes para competencias y los triciclos de mano. Estas sillas tienen un chasis sólido y liviano, lo que les brinda una gran estabilidad (ver figura 15) (16).



***Figura 15. Silla de ruedas deportivas
Tomada de Blauwet y Donovan, 2016 (45)***

- d) Las sillas de ruedas para ponerse de pie: están diseñadas con mecanismos que permiten al paciente pasar de una posición sentada a bípeda, utilizando energía hidráulica. Lo cual es una particularidad fundamental, ya que facilita al usuario lograr alcanzar objetos en estantes altos, como un libro. (ver figura 16) (16).



Figura 16. Silla de ruedas para levantarse
Tomada de Fernández, 2017 (46)

- e) Las sillas de ruedas diseñadas para subir escaleras: enfrentan uno de los mayores desafíos, lo cual es permitir que los usuarios asciendan y desciendan de escaleras. A pesar de esta dificultad, existen soluciones para abordar este problema (ver figura 17) (16).



Figura 17. Silla de ruedas para subir escaleras
Tomada de DRAGON (47)

- f) Las sillas de ruedas pediátricas: están fabricadas específicamente para jóvenes y niños. Están dotados de mecanismos de ajuste que facilitan la modificación del ancho y de diversos elementos, con el fin de adecuarse a los requerimientos del niño (ver figura 18).



Figura 18. Silla de rueda pediátrica
Tomada de TOP MEDIC (48)

- g) Las sillas de ruedas de posturas o reclinables: contruidos para individuos con limitaciones totales o parciales de movimiento, que requieren mantener una adecuada estabilidad postural. En su diseño, se dejan de lado elementos como el tamaño y el peso para garantizar una postura sentada exacta. Estas sillas disponen de reposapiés regulables, cabeceras con un mejor control postural y controles adicionales. (ver figura 19).



*Figura 19. Sillas de ruedas de postura
Tomada de ORTOWEB, 2019 (49)*

- h) Las sillas de ruedas eléctricas: están abastecidas con motores eléctricos, lo que las hace ideales para personas que carecen de la habilidad o fuerza necesaria para operar una silla de ruedas común. Ubicadas debajo del asiento, las baterías recargables proporcionan energía a los motores eléctricos que impulsan el sistema de dos o cuatro ruedas. Las diferentes configuraciones de tracción determinan cómo se mueve la silla, y generalmente la rueda motriz es de mayor dimensión (ver figura 20).
- Chasis. - Sobre este dispositivo se instalan las diversas partes que conforman la silla, elaboradas comúnmente en aluminio o acero.
 - Motor. - El sistema de tracción de estos dispositivos generalmente integra dos motores independientes, uno a cada lado, responsables de controlar la dirección y la velocidad de desplazamiento. Este mecanismo permite que las ruedas giren 360°, ofreciendo movilidad en cualquier dirección; característica presente en las sillas de ruedas eléctricas modernas.
 - Sistema de control. - El más común es el joystick, que puede ser integrado o modular. En el sistema modular, el control de potencia está separado del joystick, mientras que, en el sistema integral, están combinados. Ambos sistemas envían corriente a los motores.
 - Batería. - Existen tres tipos principales: de célula húmeda (livianas y baratas), de célula de gel (duraderas y pesadas) y AGM (pesadas y costosas, sin necesidad de inspección).

- Cargador. - Recarga las baterías y puede ser automático, variando según el tipo de silla de ruedas.



Figura 20. Silla de ruedas eléctrica
Tomada de ORTOWEB, 2020 (50)

2.2.5.2. Componentes de la silla de ruedas

Los elementos inevitables para la silla de ruedas manual o eléctrica se encuentran en la ilustración 21.

- Chasis. - Pueden encontrarse plegables o rígidos. Los rígidos aprovechan mejor la energía suministrada por el usuario (15% a 20% del impulso), mientras que los plegables aprovechan menos (8 a 5% del impulso) (16).
- Ruedas. - Generalmente, pueden clasificarse en tres tipos: mixtas, neumáticas y macizas. Las dimensiones de las ruedas se modifican en función del tipo de uso previsto.
- Aros de las llantas. - Son con rayos de plástico, fibras de carbono y aluminio.
- Aros de propulsión. - suelen ser de materiales como el titanio, acero, aluminio o revestidos de plástico.
- Frenos. - Existen frenos tipo tijera, zapata y tambor.
- Reposabrazos. - Son fijos, desmontables y regulables.
- Reposapiés. - Son elevables, fijos, regulables.
- Asientos. - El material tiene que ser de tela fuerte.
- Respaldos. - Soporta la espalda del usuario su construcción equivale al asiento.



Figura 21. Componentes de la silla de ruedas
Tomada de Figueroa, 2015 (51)

2.2.6. Mecanismos de elevación

Los mecanismos de elevación son manejados por tres tipologías de energía (manual, eléctrica e hidráulica) primordialmente, y estas se hallan en el medio del chasis.

En la figura 23 se encuentra un ensamblaje articulado que posiciona de pie a la persona con el apoyo de unos resortes de gas contraído, Asimismo, se observa que los mangos (#51 en la imagen 23) se emplean como apoyo de los brazos de la persona y también bloquea los resortes de gas que los conserva comprimidos.

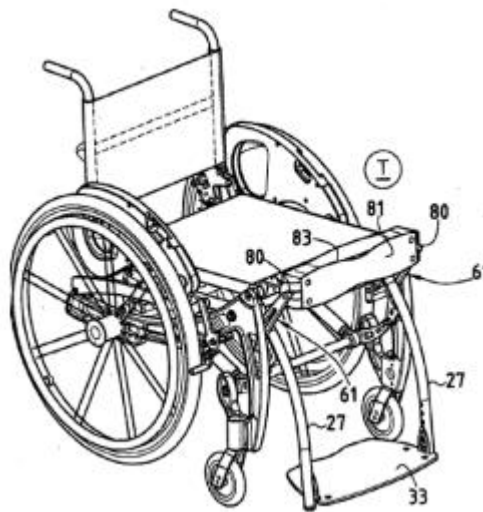


Figura 22. Silla de rueda articulada en postura horizontal
Tomada de Atarama, 2021 (16)

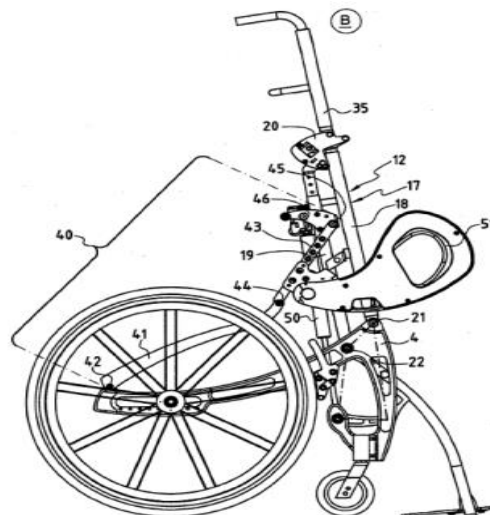


Figura 23. Silla de rueda articulada en posición vertical
Tomada de Atarama, 2021 (16)

Además, los actuadores eléctricos son otro mecanismo de elevación, tal como se aprecia en la figura 23, siendo el #50. Por el sistema eléctrico nutrido por una batería el actuador eléctrico

es activado, que al ser operado desplaza un grupo de mecanismos que facilita colocar en postura bípeda a la persona, tal como se visualiza en la figura 25.

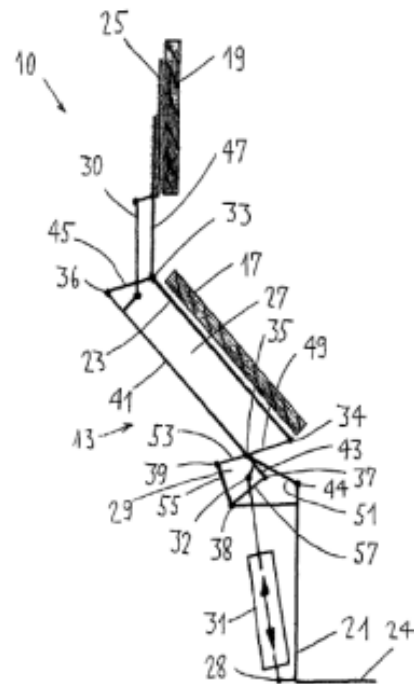


Figura 24. Dispositivo de silla de ruedas que levanta a posición vertical al usuario
Tomada de Atarama, 2021 (16)

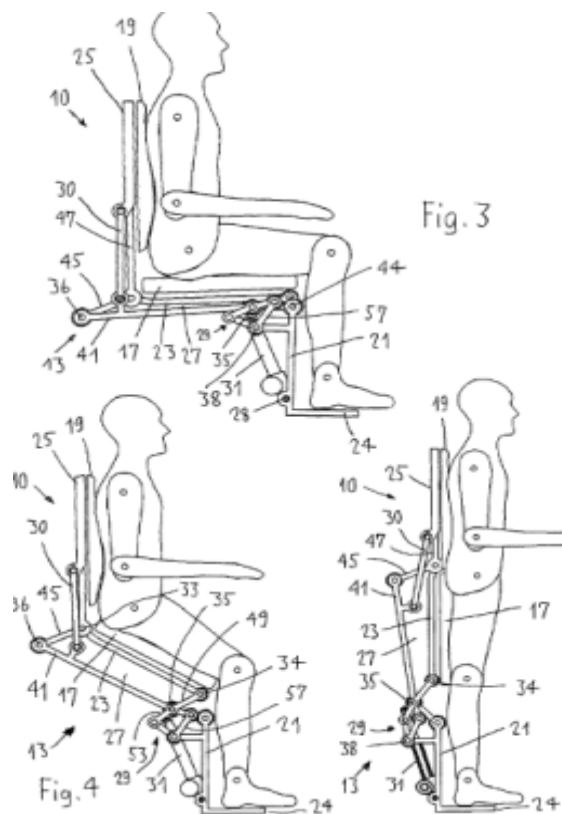


Figura 25. Funcionamiento de mecanismo de silla de ruedas
Tomada de Atarama, 2021 (16)

2.2.7. Consideraciones biomecánicas

Un diseño óptimo para la silla de ruedas considerará la seguridad y comodidad del individuo, sin que ello le ocasione resultados negativos a su integridad física, por lo cual en el diseño se debe considerar la biomecánica, para ello se analizará los siguientes elementos (16):

a) Posición del individuo en la silla de ruedas:

- Ángulo y forma del asiento. - Una posición óptima es donde el ángulo es de 90° entre el tronco y los muslos, usando un adaptado cojín a la estructura humana es la mejor opción de alcanzar este ángulo.
- Soporte de los pies. - El ángulo apropiado es 90° para los tobillos, aunque ligeramente puede variar hasta unos 82° , con el fin de evitar toparse con los bordes de las escaleras.
- Tamaño del asiento. - Debe ser adecuado a la repartición del peso de la persona y mantiene estable a la silla de ruedas. Asimismo, las adecuadas dimensiones del asiento son aquella donde la persona sentada erguida mente se distancie dos dedos de espacio aproximadamente entre la región interna de las rodillas y el final del asiento.
- Altura del respaldo. - Deberá contar con la suficiente elevación para sostener la parte superior de la región lumbar.
- Reposabrazos. - Su finalidad es proporcionar alivio a los músculos del cuello y brazos. Ajustándolos de modo adecuado, los antebrazos de la persona descansados deben estar a 90° del codo.

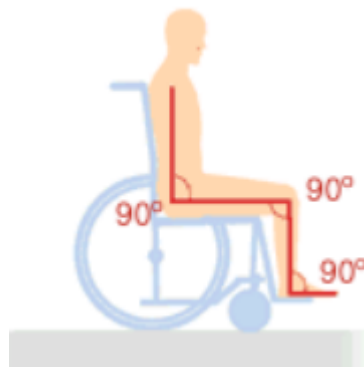


Figura 26. Ángulos apropiados para utilizar la silla de ruedas
Tomada de Atarama, 2021 (16)

b) Propulsión:

- Posición y altura de la rueda. - La óptima postura de la rueda se da cuando la persona alcanza los ejes de la rueda en una cómoda postura y con los brazos erguidos.
- Grado de movilidad. - Para que la persona posea una óptima movilidad en las articulaciones (hombro, codo, columna, muñeca y dedos) dependerá del grado de movilidad, lo cual

- limitará la probabilidad de ejecutar un trayecto de propulsión excelente que va desde la flexión de la musculatura de los brazos por atrás del tronco al mismo nivel de los muslos.
- Postura. - Para el impulso la persona debe estar sentada en posición simétrica y erguida mente.
 - Dimensión de la rueda. - Es común utilizar ruedas posteriores de 24" de ancho total.
 - Distancia entre ejes. - En base al modelo de utilidad de la silla de ruedas, se selecciona un largo trayecto entre eje delantero y trasero permitiendo conservar un rumbo más recto, sin embargo, para su propulsión se utiliza más energía; o una corta distancia que gira fácilmente y que para su propulsión necesita menos gasto de energía.
 - Ángulos de las ruedas. - La impulsión adecuada se efectúa con un ángulo formado de 90° entre las ruedas traseras y el piso (16).

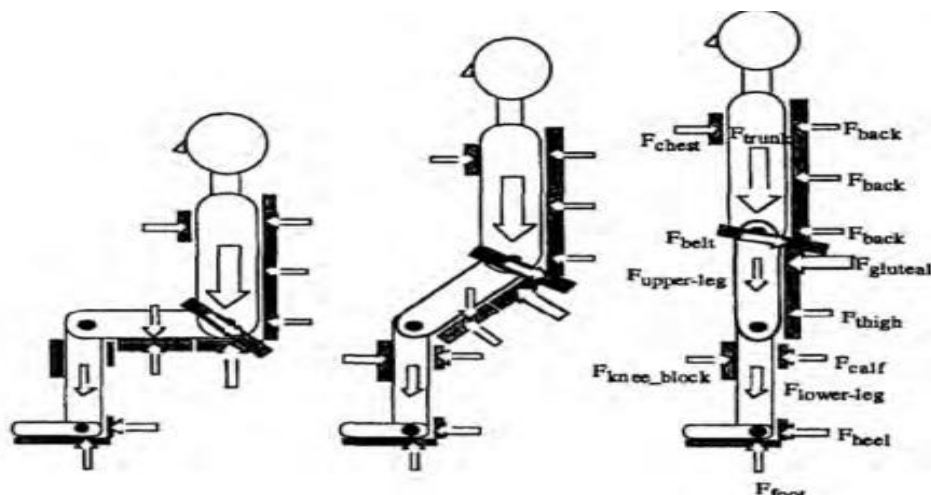
c) Rozamiento a rodar:

- La repartición del peso. - En las ruedas frontales debe tener superior peso ocasionando superior rozamiento y más estabilidad a la silla. Una silla de ruedas común posee una repartición de 50/50, pero una silla ajustable ligeramente posee una distribución cerca de 20% frontales y 80% en las ruedas posteriores; lo cual genera que mejore su rodamiento que una común, sin embargo, tiene menor estabilidad.
- El terreno. - Es importante que se desplace en un suelo duro, en donde el rozamiento es inferior que en el suelo suave.
- Tipo y tamaño de rueda. - Se recomienda que las ruedas presenten un diámetro mayor, ya que esto favorece un mejor agarre con la superficie de contacto, incrementando el nivel de fricción. En contraste, las ruedas de menor diámetro presentan el efecto opuesto, reduciendo la tracción. Por otro lado, las ruedas neumáticas ofrecen una mayor capacidad de amortiguación y generan más fricción en comparación con las ruedas macizas, las cuales priorizan la resistencia, pero con menor absorción de impactos.
- Centro de gravedad. - Cuando el centro de gravedad se desplaza hacia adelante y en dirección descendente, la maniobrabilidad disminuye mientras que la estabilidad y el nivel de fricción aumentan. En cambio, al trasladarse hacia arriba y hacia atrás, se incrementa la maniobrabilidad, pero a costa de una reducción en la fricción y la estabilidad. Por ello, resulta fundamental encontrar un punto de equilibrio que evite caer en extremos.
- Tamaño de las ruedas delanteras. - Se debe considerar el tipo de terreno y la distribución del peso para tomar una decisión del adecuado tamaño de las ruedas. Si seleccionamos una distribución 20/80 debemos usar una rueda de menor diámetro para superficies de desplazamiento planos y duros. Sin embargo, si el suelo es desnivel debemos utilizar una rueda de superior diámetro.

- Distancia entre ejes de ruedas traseras y delanteras. - Una mayor distancia entre los ejes tiene más estabilidad para conservar el rumbo, más se pierde delicadeza en la maniobrabilidad; sin embargo, una inferior distancia entre los ejes aumenta la maniobrabilidad, generando mayor inestabilidad para conservar la dirección.
- Ángulo de las ruedas traseras. - La estabilidad de la silla aumenta cuando la base presenta un ángulo más amplio (positivo); sin embargo, esto implica una reducción en la comodidad postural del usuario. Por el contrario, una base con un ángulo más reducido (negativo) disminuye la estabilidad general del sistema. Lo más óptimo para una silla de ruedas cotidiana sería un ángulo neutro
- Ángulo de las ruedas delantera. - La silla girará más rápido, si el ángulo es superior a 90° , más al pararse estará propenso a orientarse hacia atrás y la parte del frente del armazón estará elevada. Por el contrario, existe dificultad cuando el ángulo de giro es menor a 90° , presentando inconvenientes en el giro cuando se desee posicionar verticalmente la silla, estando propenso a seguir girando, y la parte del frente de la silla estará más abajo que la parte posterior (16).

2.2.8. Modelo biomecánico de la silla de ruedas con posicionamiento bípedo

El método de la silla bípeda-individuo tiene la posibilidad de moldearse como un método cuasi estático, en base a ello se puede usar momentos simples y sistemas de fuerzas para estudiar la fuerza desde un punto de vista sagital en ambos ejes (figura 27).



*Figura 27. Esquemas de soportes, sistema bípedo (plano sagital) y fuerzas en el cuerpo
Tomada de Cooper, Robertson y Boninger; 1995 (52)*

Se soluciona el sistema usando los ángulos referenciales (figura 28) y haciendo descomposiciones como retirar entre los mecanismos de apoyo de la silla y el cuerpo las fuerzas cortantes, asumiendo que el individuo no generará momentos en las articulaciones. También se

hallan las fuerzas del asiento y la rodilla no considerando el peso de sujetar de la cadera, anulando las fuerzas del espaldar con la del soporte del pecho (52).

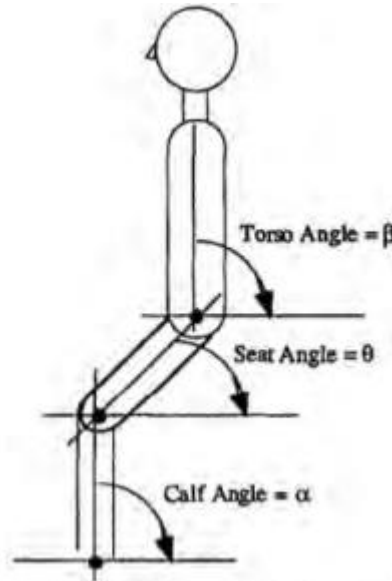


Figura 28. Ángulos de referencia para el modelo estático
Tomada de Cooper, Robertson y Boninger; 1995 (52)

A continuación, se aplica equilibrio estático en las ecuaciones 4 a 6:

En el tobillo:

$$\begin{aligned} \text{En } x: F_{heel} - F_{ankle} \cos \alpha &= 0 \\ \text{En } y: 0.43 * M_{lowerleg} g + F_{ankle} \sin \alpha &= F_{foot} \end{aligned} \quad Ecu(4)$$

En la rodilla:

$$\begin{aligned} \text{En } x: F_{ankle} \cos \alpha - F_{knee} \cos \theta + F_{knee_block} &= 0 \\ \text{En } y: F_{ankle} \sin \alpha + F_{knee} \sin \theta &= 0.57 * M_{lowerleg} g + 0.44 * M_{upperleg} g \end{aligned} \quad Ecu(5)$$

En la cadera:

$$\begin{aligned} \text{En } x: F_{knee} \cos \theta - F_{hip} \cos \beta &= 0 \\ \text{En } x: F_{knee} \cos \theta + F_{hip} \cos \beta &= 0.56 * M_{upperleg} g + M_{trunk} g \end{aligned} \quad Ecu(6)$$

2.2.9. Estática, cinemática y dinámica

- Estática. - Cuenta con cimientos en unos cuantos principios al igual que toda ciencia, obtenidos de fenómenos físicos, por la cual carecen de demostración matemática. La estática pertenece a la física la cual analiza los momentos y las fuerzas que intervienen en un cuerpo cuyas resultantes son nulas, su objetivo es identificar el momento resultante y las fuerzas resultantes estableciendo contextos de equilibrio (16).
- Cinemática. - Analiza el movimiento de los cuerpos, propuestos como partículas, como parte de la física, también, estudia las leyes de movimiento y sus indicadores son; aceleración,

velocidad más las fuerzas que la ocasionan y cambios de posición, como fragmento de la mecánica (16).

- Dinámica. - Analiza colectivamente el movimiento de la partícula y las causas que lo ocasionan o lo alteran, como parte de la física. Esta se reparte en dos fragmentos; la cinemática y la cinética (vincula el ejercicio que operan sobre los cuerpos) con los movimientos resultantes (16).

2.2.10. Antropometría y ergonomía

La antropometría analiza las dimensiones y medidas del cuerpo humano. Mientras que, la ergonomía investiga las herramientas, diseño de los espacios y actividades que concuerdan con las peculiaridades psicológicas, anatómicas y fisiológicas del trabajador (16).

En este estudio, además de considerar las dimensiones de la silla de ruedas, es necesario determinar las medidas antropométricas de los usuarios en la región de Junín. Por eso se necesita reconocer la categoría de las dimensiones antropométricas del cuerpo humano para clientes dentro de 64 y 20 años. Conforme al Manual Antropométrico del Ciudadano Peruano, publicado por el instituto de investigación tecnológica industrial y de normas técnicas (ITINTEC), en promedio la altura de una persona peruana es de 1.66 metros. Este manual también proporciona las medidas cuando la persona está sentada, lo cual es importante para diseñar y ajustar las sillas de ruedas (16).

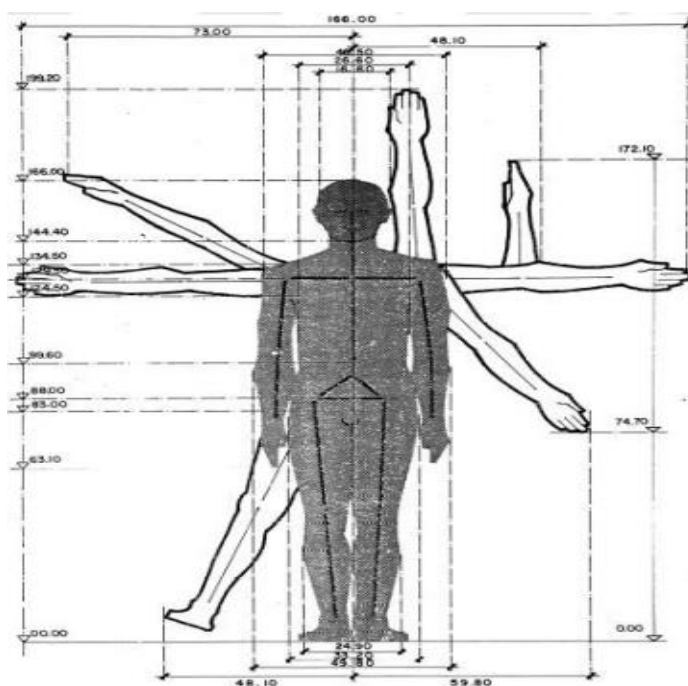


Figura 29. Medidas antropométricas del peruano en postura de pie
Tomada de Atarama, 2021 (16)

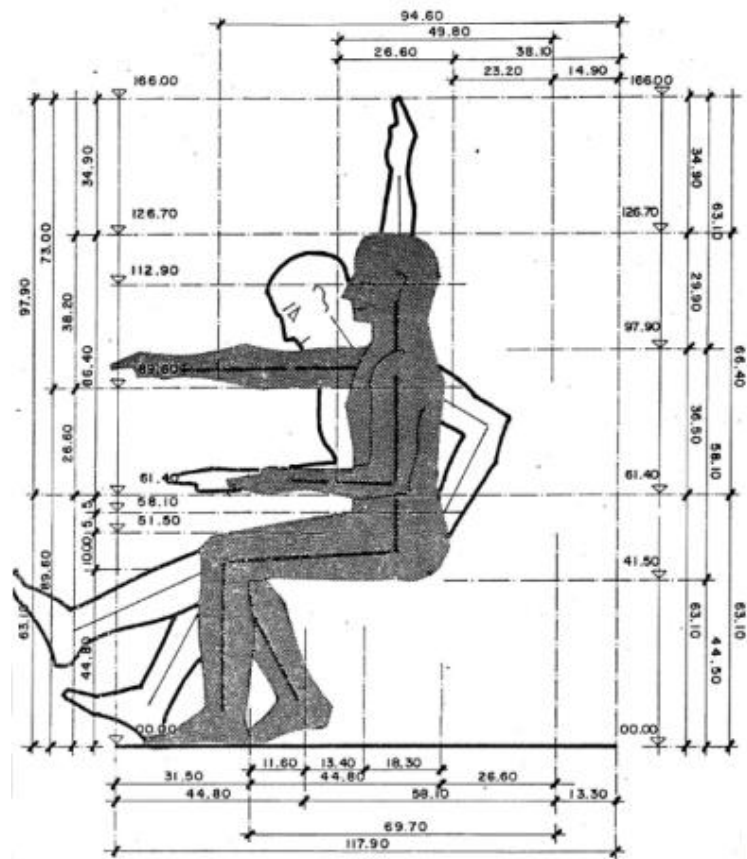


Figura 30. Medidas antropométricas del peruano en postura sentada
Tomada de Atarama, 2021 (16)

Las dimensiones antropométricas obtenidas se contrastarán con las proporcionadas por el software Antropojeto (figura 31). A partir de estos datos, y con el respaldo de la guía “Cómo elegir tu silla de ruedas manual” del Instituto de Biomecánica de Valencia (IBV), se establecen las medidas estándar de la silla de ruedas.

Tabla 1. Dimensiones frecuentes de la silla de ruedas

Dimensiones Generales (m)	
Ancho	0.65 a 0.7
Largo	1.1 a 1.2
Alto	0.94 a 1.1

Tomada de Atarama, 2021 (16)

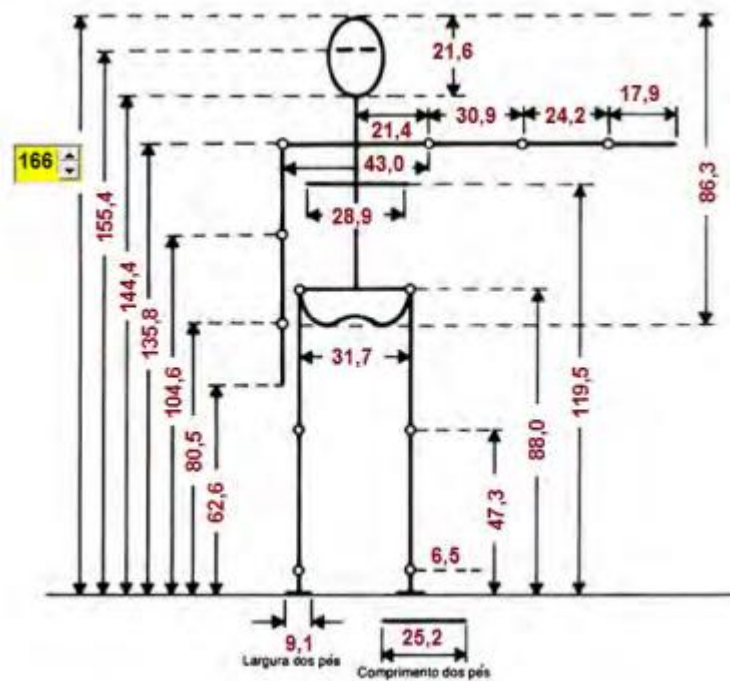


Figura 31. Medidas antropométricas extraídas del software antropógeno para un individuo en postura vertical
Tomada de Atarama, 2021 (16)

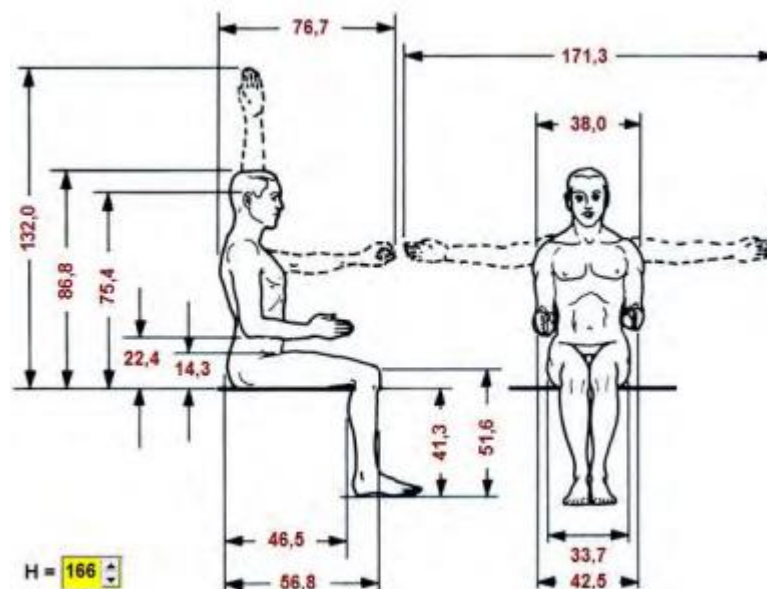


Figura 32. Medidas antropométricas extraídas del software antropógeno para un individuo en postura sentada
Tomada de Atarama, 2021 (16)

Después de analizar más específicamente, se muestran las especificaciones primordiales de la silla de rueda en la tabla 2.

Tabla 2. Dimensiones primordiales de la silla de ruedas

Dimensiones Específicas (m)	
Longitud del respaldo	0.45
Ángulo del asiento respecto de la horizontal	1°-4°
Altura del reposapiés	0.1-0.13
Longitud del asiento	0.42
Ancho del asiento	0.39
Altura del asiento	0.48-0.52
Ancho del respaldo	0.39
Ángulo del respaldo respecto del asiento	100°-110°

Tomada de Atarama, 2021 (16)

2.2.11. Diseño conceptual, requerimientos y consideraciones de la silla de ruedas

Se tomará en cuenta ciertas características y parámetros que ayuden a comprender y focalizar las dimensiones primordiales y secundarias de la silla de ruedas con la finalidad de plantear un diseño conceptual. Por ello, en este módulo se instaurarán las exigencias para el diseño.

2.2.11.1. Público objetivo

Como la mayoría de las personas con paraplejía o problemas psicomotores se ubican en la categoría de edad de 20 a 64 años, los adultos de estas edades serán el grupo objetivo, como se ilustra en la Figura 4 del capítulo 1. Este periodo del ciclo de vida también se caracteriza por una alta carga de actividades (académicas, familiares, laborales, etc.). Por otra parte, la silla de ruedas poseerá un límite de 100 kg, teniendo en cuenta que el peso promedio de un individuo de 26 años en la región de Junín no excede los 70 kg, conforme al informe del estudio nutricional en el Perú del Instituto Nacional de Salud (ver tabla 3).

Asimismo, cabe señalar en proporción a la encuesta demográfica y de la salud (ENDES), INEI (2022) el peso promedio de las mujeres peruanas es de 64,5 kg y la talla promedio es de 153,2 cm. Los resultados del sondeo nacional de hogares (ENAHOG 2012-2013) ejecutada por el INEI en conjunto con el Centro Nacional de Alimentación y Nutrición (CENAN) del instituto nacional de salud del Ministerio de Salud del Perú; en donde se encuestó a 940 ciudadanos de la región Junín; siendo 515 mujeres y 425 varones; arrojan que el peso promedio de las damas mayores de 18 años es de 60,8 kg y la talla promedio es de 150,7 cm; mientras que el peso promedio de los varones mayores de 18 años es de 68,1 kg y la talla promedio es de 162,6 cm (53).

El estudio facilitará el desplazamiento, además de permitir a la persona cambiar de una postura sentada a bípeda, lo que facilitará a la persona conseguir objetos situados a mayor altura, también mejorará la circulación de los fluidos corporales. Al mismo tiempo, apoyará al usuario a interactuar con otros individuos en un mismo nivel de comunicación.

Tabla 3. Repartición de peso y talla para mayores de 20 años

Edad (años)	Varón		Mujer	
	Peso (kg)	Talla (cm)	Peso (kg)	Talla (cm)
20	60.3	164.3	53.5	152.7
21	62.2	165.1	54.7	152.9
22	62.4	164.9	55.1	153.3
23	62.7	163.7	55.1	152.7
24	63.3	164.7	56.0	152.5
25	65.6	165.0	56.4	152.6
26	65.0	164.5	57.9	152.4
27	65.7	164.5	58.4	152.3
28	65.2	163.7	57.7	152.2
29	66.7	164.6	59.5	152.1
30	66.3	163.7	59.6	152.0
31	67.1	164.1	60.2	152.1
32	67.7	164.5	58.9	152.3
33	67.0	163.6	60.4	152.1
34	66.8	163.7	60.1	151.3
35	66.5	163.6	59.3	151.4
36	67.2	164.0	61.0	151.8
37	66.2	163.1	59.2	150.7
38	67.6	164.0	60.7	151.6
39	67.8	162.7	61.6	151.7
40	69.3	163.5	61.6	150.9
41	68.5	163.6	62.6	151.4
42	67.5	162.7	61.9	151.6

43	67.6	163.2	62.4	151.6
44	68.0	163.2	62.2	150.8
45	66.6	163.2	61.2	151.0
46	68.2	162.5	62.3	151.0
47	67.7	163.0	63.2	150.8
48	67.5	162.3	63.0	151.3
49	67.5	162.7	61.9	151.2
50	67.6	162.6	60.7	150.0
51	67.9	162.5	60.8	150.3
52	68.9	162.4	61.0	149.6
53	66.9	161.5	62.5	150.8
54	66.2	161.7	60.3	150.2
55	67.8	162.0	60.6	149.5
56	66.4	160.2	59.0	149.8
57	65.8	160.5	59.7	148.4
58	65.7	162.0	58.8	148.9
59	64.5	160.3	60.7	148.7
60	64.8	160.4	59.2	148.3
61	64.4	160.1	57.3	148.3
62	65.2	160.8	59.2	147.8
63	64.6	159.6	58.8	148.1
64	61.7	159.5	57.1	148.0

Tomada del Instituto Nacional de Salud, 2011 (54)

2.2.11.2. Normas a utilizar

Se basará el diseño de la silla de ruedas en el lineamiento de la The International Organization for Standardization (ISO) y la Norma Técnica de Edificación peruana para medidas referenciales, Rehabilitation Engineering and Assistive Technology Society of America (RESNA).

2.2.11.3. Seguridad

Se basará la seguridad en la adecuada estabilidad y funcionamiento de la silla de ruedas, con los 6 puntos de apoyo con el suelo cuando el usuario está de pie. Cuando el usuario manipule la silla de ruedas en una postura sentada para desplazarse se considerará las correas de seguridad ensamblados en el bastidor, que se encontrará al nivel de la pelvis. Al mismo tiempo, con el fin de impedir que la persona caiga cuando se posicione verticalmente, se tomará en cuenta al nivel del pecho un cinturón de seguridad.

Cuando el usuario requiera estacionarse en algún lugar o pendiente, la silla de ruedas tendrá un mecanismo de bloqueo a las ruedas y evite accidentes probables. La silla de ruedas con posicionamiento bípedo estará equipada con una correa de sujeción acolchado al nivel de las rodillas para prevenir que las piernas se pandeen. Además, contará con una correa en la zona de las pantorrillas que evitará que los pies y las piernas se deslicen hacia atrás.

Finalmente, se tendrá ruedas anti vuelco en el fragmento posterior para asegurar la silla de ruedas en algún incidente de volcadura.

2.2.11.4. Componentes para activar el actuador eléctrico

Interruptores. -Estos desempeñan una función especial en el control del movimiento de los actuadores lineales, otorgando a la persona la capacidad de iniciar y manipular su funcionamiento con facilidad. Existen dos tipos de básicos de interruptores de actuador: de mantenimiento y momentáneo.

- Los interruptores momentáneos o Push-to-Make. - Diseñadas para volver a su posición predeterminada automáticamente una vez que se deje de presionar este regresa a su posición inicial apagando el actuador lineal. Son ideales para el uso donde se requiere un funcionamiento intermitente y un control preciso.



Figura 33. Interruptor momentáneo
Tomada de Firgelli Automations, 2002 (55)

- Los interruptores de mantenimiento o Push-to-Stay. - Estos mantienen su posición incluso después de ser liberado el botón del actuador, significa que el circuito eléctrico permanece cerrado y el motor sigue funcionando hasta que el botón se pulsa para desactivarlo. Se utiliza para tareas que requieran un accionamiento constante o control de manos libres.



Figura 34. Interruptor de mantenimiento
Tomada de Firgelli Automations, 2002 (55)

- Relés. - Son interruptores electromagnéticos que pueden funcionar con una corriente pequeña para encender y apagar una corriente más grande. Los relés permiten usar interruptores de menor capacidad para no exceder la carga nominal del interruptor. Los relés son interruptores, por lo que utilizan una terminología similar, y funcionan al tener una bobina, que se convierte magnética cuando se energice, para cerrar y abrir la conexión del circuito de alta potencia.



Figura 35. Relé
Tomada de Firgelli Automations, 2002 (55)

2.2.11.5. Actuador

Es un dispositivo que toma un ingreso de energía y lo transforma en fuerza o movimiento es esencial en campos de la ingeniería, los actuadores son importantes en la automatización y control de diversos sistemas y procesos. Se muestran en distintos tipos y cada modelo posee una tarea específica. Existen dos categorías por la fuente de energía y el tipo de movimiento (56).

- Tipo de movimiento del actuador:
 - a) Actuador lineal. - Para desplazar objetos a lo largo de una línea recta, se emplean mecanismos como poleas, correas, husillos de bolas y piñones, que convierten en movimiento lineal el giro del motor eléctrico. Se identifican por su precisión de posicionamiento, su deservoltura de funcionamiento e instalación y sobre todo su bajo mantenimiento, son utilizados para manipular los materiales, automoción etc. Para tareas de tracción, elevación, posicionamiento y empuje.
 - b) Actuador rotativo. - Transforman la energía en movimiento giratorio mediante un eje para controlar la posición, rotación y velocidad de los equipos. Utilizados en radares y sistemas de monitorización, equipos médicos, etc.
- Por fuente de energía:
 - a) Actuador neumático. - Requieren aire comprimido para generar movimiento, generalmente son seleccionados para aplicaciones que requieren fuerza.



*Figura 36. Actuador neumático
Tomada de Tameson, 2025 (56)*

- b) Actuador hidráulico. - Utilizan presión del fluido para generar movimiento, se utilizan en aplicaciones pesadas.



***Figura 37. Actuador hidráulico
Tomada de Tameson, 2025 (56)***

- c) Actuadores eléctricos. - Utilizan energía eléctrica para generar movimiento recto, control preciso menos ruido.



***Figura 38. Actuador eléctrico
Tomada de Tameson, 2025 (56)***

- d) Actuador magnético y térmico. - Los actuadores magnéticos para crear fuerza emplean campos magnéticos. Mientras que, los actuadores térmicos usan la contracción o dilatación de los materiales en reacción a las variaciones de temperatura.



***Figura 39. Actuador magnético/térmico
Tomada de Tameson, 2025 (56)***

- e) Actuadores mecánicos. - Usan mecanismos físicos como levas, engranajes y palancas para generar movimiento.



*Figura 40. Actuador mecánico
Tomada de Tameson, 2025 (56)*

2.2.11.6. Mecánica de cuerpos rígidos

Analiza el movimiento y equilibrio de los cuerpos solidos sin considerar sus deformaciones en componentes mecánicos o elementos estructurales, siendo una rama de la física; además, cuenta con dos áreas que son la estática y la dinámica, en este estudio nos enfocaremos en la estática, que analiza el equilibrio de los cuerpos, con velocidad continua o en descanso.

a) Equilibrio de partículas

Para el diseño de la silla de ruedas con postura bípeda, se aplicarán las fórmulas fundamentales de Newton, como la primera ley de Newton, qué señala que un objeto se mantendrá en reposo a menos que una fuerza externa altere su estado. Este equilibrio permite obtener ecuaciones y sistemas de fuerzas de equilibrio, separando las fuerzas involucradas en sus componentes i, j y k para su análisis y desarrollo.

$$\sum f = \sum Fx_i + \sum Fy_j + \sum Fz_k = 0 \quad Ec. (7)$$

Esta ecuación se comprueba cuando para el equilibrio de una partícula para cada componente involucrado se cumple esta condición.

$$\sum F = 0 \leftrightarrow \frac{dv}{dt} \quad Ec. (8)$$

b) Momento de fuerza

Esto sucede cuando una fuerza actúa sobre una parte del cuerpo, provocando una rotación alrededor de un eje que no coincide con la línea de acción de dicha fuerza. Como resultado, al aplicarse a una distancia perpendicular respecto al punto de referencia, la fuerza genera un momento.

$$M = F * d \quad Ec. (9)$$

Donde: M = Momento flexor

M = Momento de fuerza

F = Fuerza ejercida

d = distancia perpendicular al punto de aplicación

c) Ecuaciones de equilibrio de momentos

De igual manera, se determinarán las ecuaciones para el equilibrio de momentos que actúan sobre un objeto. Un momento mide la tendencia de una fuerza al hacer girar un objeto alrededor de un punto.

$$\sum M = \sum Mx_i + \sum My_j + \sum Mz_k = 0 \quad Ec. (10)$$

Esta ecuación es válida cuando los momentos involucrados están equilibrados en sus respectivos componentes.

$$\sum F = 0 \quad Ec. (11)$$

d) Fuerzas internas

Cuando se estudia un componente mecánico, se considera que existen fuerzas internas que actúan dentro de ella, y cuando se necesite analizar cierto punto se deben considerar aquellas fuerzas internas como las externas, conllevando así a la ley de acción y reacción observe la siguiente figura.

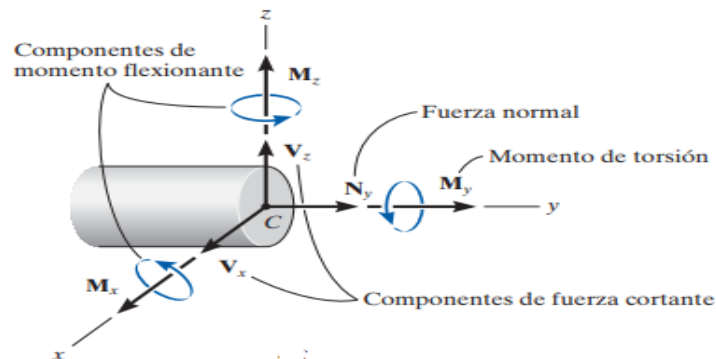


Figura 41. Componentes de fuerzas internas
Tomada de Hibbeler, 2010 (57)

e) Fuerza axial

En la figura anterior se muestra como NY interviene de forma axial a la sección del componente dividido, usándose posteriormente la carga para hallar el esfuerzo axial a una estructura.

f) Fuerza de corte

Propuestas como VX y VZ, siendo la tangente a la selección perpendicular mostrado en la figura anterior, asimismo, esta carga admitirá adquirir el esfuerzo de corte que cuenta el elemento.

g) Momento flexionante.

Representadas por las variables MZ y MX, que se determinan al generar una sección, estos momentos están influenciados por todas las cargas externas que afectan la estructura en estudio, incluyendo la fuerza de corte resultante del seccionamiento del elemento.

h) Momento de torsión

Se da como producto de las cargas externas sobre el elemento, siendo representado por la variable MY, la cual genera un giro en el eje de la sección transversal del punto donde se llevó a cabo el método de sección.

i) Deflexión

Un método que simplifica el planteamiento de las ecuaciones es el de la doble integración para calcular la deflexión en diferentes puntos a lo largo del eje longitudinal de una viga cargada.

La ecuación se obtiene a partir de la doble integración de la ecuación diferencial que caracteriza la curva elástica, de ahí su denominación como método de ‘doble integración’.

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{M}{EI} \quad Ec. (12)$$

Donde:

M= Momento flector

E=Modulo de elasticidad

I=Momento de inercia

y= deflexión en el eje y

x= variación de distancia

2.2.11.7. Uniones permanentes

Son métodos de unión que no permiten la separación fácil de los componentes unidos. Los más utilizados son los adhesivos y la soldadura.

a) Soldadura

La unión de materiales mediante calor y presión que los funde para mantener dos superficies juntas se puede identificar con una fórmula, empleada en una soldadura de ranura en V que está sometida a una carga de tensión F , de la siguiente manera:

$$\sigma = \frac{F}{hl} \quad \text{Ec. (13)}$$

Donde:

σ = Esfuerzo de la soldadura

h = garganta de soldadura sección

l = longitud de soldadura

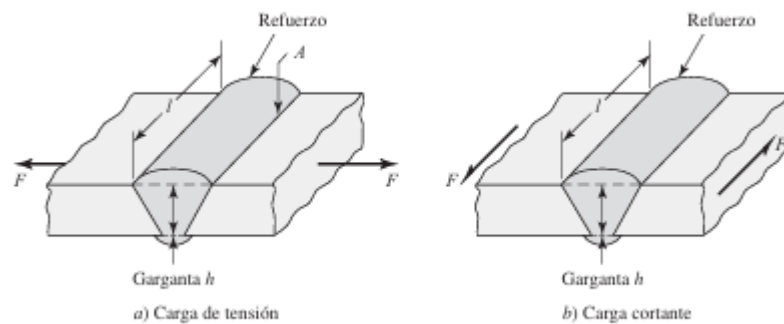


Figura 42. Esfuerzo en una soldadura de ranura tipo V
Tomada de Budynas y Nisbett, 2008 (58)

La norma AENOR (UNE-CEN/TR 14599 IN) define el ‘proceso de unión’ como aquel mediante el cual dos o más segmentos se integran, logrando continuidad en la naturaleza de los materiales a través de la aplicación de calor, presión o ambos, con o sin la adición de material complementario (59).

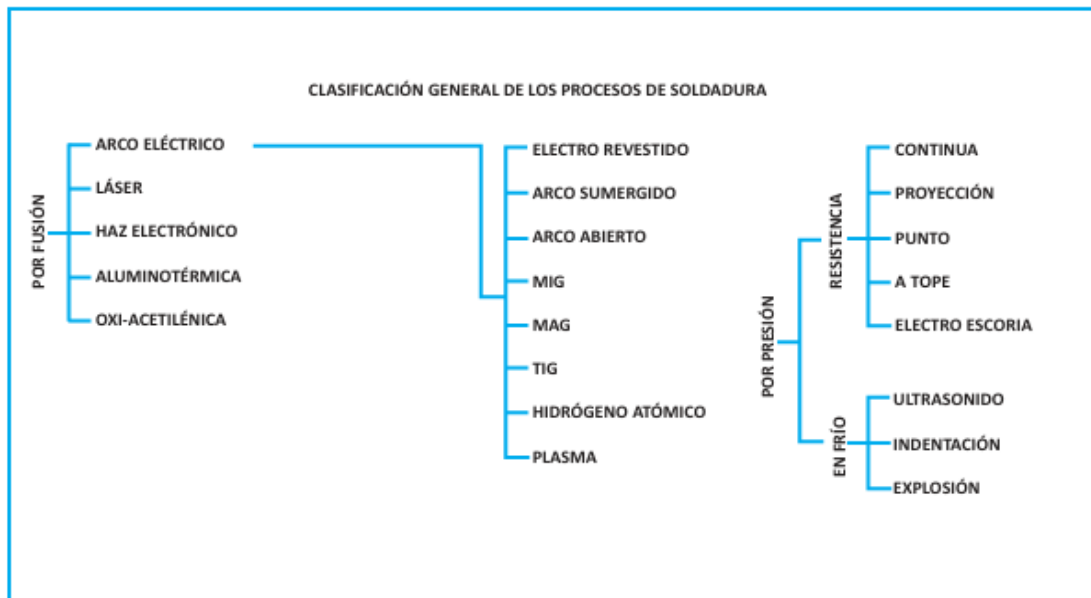


Figura 43. Categorización del proceso de soldadura
Tomada de Soldexa, 1995 (60)

b) Soldadura por arco eléctrico MIG/MAG

También conocida como soldadura por arco metálico con gas, este proceso fusiona los materiales mediante un arco que se crea entre la pieza a soldar y el extremo del alambre alimentado interminablemente. La protección proviene completamente de los gases que se suministran junto con el metal de contribución (59).

- MIG. -Donde se utiliza una protección de gas inerte puro (argón, helio, etc.). Se usa en metal no ferroso.
- MAG. -Usa el dióxido de carbono CO₂, o combinación de argón más CO₂ como gas protector. Se usa en metal ferroso.

Las ventajas de la soldadura por arco eléctrico MIG/MAG son las siguientes:

- ✓ Alta eficacia de soldadura en casi todas las aleaciones y metales usados por las manufacturas.
- ✓ No requiere lavado profundo posteriormente al soldar.
- ✓ Baño y arco fundido visiblemente para el soldador.
- ✓ Cómodo trabajo en cualquier postura (dependiendo del grosor del alambre y de los elementos del proceso).
- ✓ Alta rapidez de trabajo.
- ✓ Libre de escoria.
- ✓ Se usa CTAO₂ (MAG) para unir aceros al carbono de baja aleación.

- ✓ Se usa helio o argón (MIG), solo para soldar componentes de materiales no ferrosos (magnesio, cobre, aluminio, inoxidable).

c) Sujetadores

Una porción significativa de la estructura está formada por uniones permanentes. La función de un perno es fijar dos o más componentes. Al girar la tuerca, la carga de sujeción se incrementa hasta aproximarse al límite elástico del tornillo. Siempre que la tuerca permanezca ajustada, la tensión en el tornillo se mantiene constante, funcionando como fuerza de sujeción o precarga.

Clase de propiedad	Intervalo de tamaños, inclusive	Resistencia de prueba mínima, [†] MPa	Resistencia mínima a la tensión, [†] MPa	Resistencia mínima a la fluencia, [†] MPa	Material	Marca en la cabeza
4.6	M5-M36	225	400	240	Acero de bajo o medio carbono	
4.8	M1.6-M16	310	420	340	Acero de bajo o medio carbono	
5.8	M5-M24	380	520	420	Acero de bajo o medio carbono	
8.8	M16-M36	600	830	660	Acero de medio carbono, T y R	
9.8	M1.6-M16	650	900	720	Acero de medio carbono, T y R	
10.9	M5-M36	830	1 040	940	Acero martensítico de bajo carbono, T y R	
12.9	M1.6-M36	970	1 220	1 100	Acero aleado, T y R	

Figura 44. Propiedades mecánicas de perno
Tomada de Budynas y Nisbett, 2008 (58)

2.2.11.8. Actuador eléctrico

Un mecanismo que transforma el desplazamiento rotativo de un motor en movimiento lineal preciso es un actuador eléctrico lineal, permitiendo realizar funciones variadas como:

- Empujar o tirar objetos
- Levantar o bajar cargas
- Posicionar con precisión
- Realizar movimientos giratorios

Este dispositivo versátil se puede integrar en diversos equipos y sistemas para automatizar y controlar movimientos lineales. La fuerza ejercida por el actuador procede de tres fuentes: Presión hidráulica o neumática y motor eléctrico (fuerza motriz eléctrica).

$$F_c = P_c * \frac{\pi * d^2}{4} \quad Ec. (14)$$

Donde:

F_c = Fuerza del cilindro

P_c = Presión del aire comprimido en bar/g

D = Diámetro interior cilindro

2.2.11.9. Resistencia de materiales

El objetivo de la investigación en resistencia de materiales es proporcionar los medios necesarios para diseñar y analizar componentes o estructuras que puedan resistir las cargas y acciones a las que estarán o podrían estar expuestos durante su vida útil. El análisis se realiza en la zona elástica de los materiales y se desarrollará un modelo matemático que se utilizará posteriormente para el avance de este estudio.

2.2.11.10. Esfuerzos

a) Esfuerzo axial

Es la fuerza interna que se genera en un material que cuando se aplica una carga a lo largo de su eje longitudinal. Este esfuerzo puede manifestarse como tracción (cuando la fuerza tiende a estirar el material) o compresión (58).

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad Ec. (15)$$

Donde:

σ : Esfuerzo normal

F : Fuerza axial

A : Área transversal

b) Esfuerzo cortante

Es la intensidad de la fuerza que actúa de modo tangencial al área donde hará la división del mecanismo a analizar (58).

$$\tau = \frac{V}{A} \quad Ec. (16)$$

Donde:

τ = Esfuerzo cortante transversal

V= fuerza ejercida tangencial a la sección

A= Área de sección transversal

2.2.11.11. Factor de seguridad

Se tendrá en cuenta el límite del esfuerzo del objeto con la finalidad de diseñar adecuadamente un elemento estructural, es por eso que el factor de seguridad ayuda hallar un valor de esfuerzo permisible en donde el elemento no falle y es mayor a 1 (58).

$$F.S = \frac{\text{Resistencia de material}}{\text{Tension aplicada}} \quad \text{Ec. (17)}$$

Tabla 4. Factores de seguridad mínimos

Tipo de carga	Aceros, materiales dúctiles.	Materiales frágiles, hierro fundido.	Madera de construcción.
Carga variable o muerta.	3-4	5-6	7

Tomada de Budyns Y Nisbett, 2008 (58)

2.2.11.12. Materiales de ingeniería

El progreso en los materiales de ingeniería ha impulsado el desarrollo tecnológico, y existen cuatro tipos principales de materiales: cerámicos, polímeros, metales y materiales compuestos. Sin embargo, en este estudio se dará un enfoque principal a los metales, que son ideales para el uso en sillas de ruedas debido a sus óptimas propiedades mecánicas.

a) Aluminio 6061 (metal)

Es uno de los metales más variables industrialmente usados por los individuos, debido a sus propiedades de ligereza, larga vida y maleabilidad; cabe señalar también que es altamente resistente a la corrosión. El aluminio es empleado en gran diversidad de aleaciones para elaborar diversos envases, utensilios y pedazos distintos de maquinarias.

El aluminio (Al) en la naturaleza se encuentra como un metal liviano, brillante y su apariencia cambia según las aleaciones en la cual es sometido.

Tabla 5. Propiedades del aluminio 6061

Propiedad	Esfuerzo Fluencia	Resistencia a la tracción	Módulo de elasticidad
Aluminio 6061	145 (MPa)	240 (MPa)	68.9 (GPa)

Tomada de Budynas Y Nisbett, 2008 (58)

b) Principales soportes y sus reacciones

Las diferentes tipologías de soportes que se usan en el área de ingeniería cumplen la función de brindar soporte estructural en las bases de cada estructura de diversos modos, los que se identifican a través de la cantidad de reacciones que se dan desde una reacción simple hasta momentos de una fuerza en la totalidad de sus ejes, a continuación, los soportes más comunes se muestran en la figura 45.

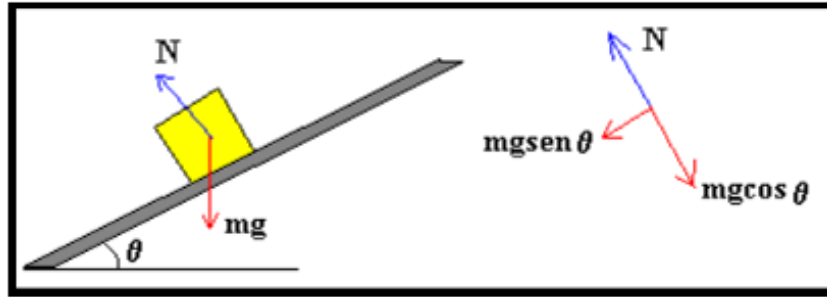
Tipos de conexión	Reacción	Número de incógnitas
(8)  pasador liso o articulación lisa	 o bien	Dos incógnitas. Las reacciones son dos componentes de fuerza, o la magnitud y la dirección ϕ de la fuerza resultante. Observe que ϕ y θ no son necesariamente iguales [no suelen serlo, a menos que la barra mostrada sea un eslabón como en (2)].
(9)  elemento con conexión fija a un collar sobre una barra lisa		Dos incógnitas. Las reacciones son el momento de par y la fuerza que actúa perpendicularmente a la barra.
(10)  soporte fijo	 o bien	Tres incógnitas. Las reacciones son el momento de par y las dos componentes de fuerza, o el momento de par y la magnitud y la dirección ϕ de la fuerza resultante.

Figura 45. Reacciones y apoyos
Tomada de Hibbeler, 2010 (57)

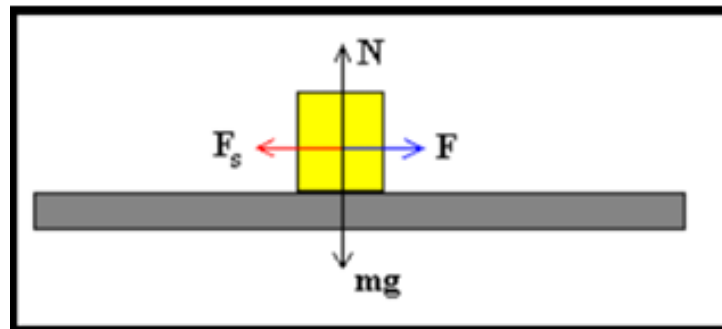
c) Coeficiente de fricción y fuerza normal

Casi todas las superficies, incluso las pulidas, son considerablemente arrugadas cuando se observan microscópicamente. Los picos de ambas superficies en contacto fijan el área real de contacto, que es un porcentaje del área aparente de contacto. Debido a que los picos se deforman, el área real de contacto es proporcional a la presión (fuerza normal).

La fuerza normal es la reacción ejercida por un plano sobre un cuerpo, dependiendo de la inclinación del plano, su masa y otras fuerzas aplicadas sobre el cuerpo.



*Figura 46. Fuerza normal en un plano inclinado
Tomada de Fuentes, 2022 (61)*



*Figura 47. Fuerza de rozamiento estático
Tomada de Fuentes, 2022 (61)*

Para determinar la fuerza de la roca, se utiliza la siguiente ecuación en función de los diversos coeficientes de las superficies en contacto.

$$Fr = Cs * N \quad \text{Ec. (18)}$$

Donde:

Fr: Fuerza de roce

Cs: Coeficiente de roce estático

N: Fuerza Normal

Tabla 6. Coeficientes de roce según superficies en contacto

Superficies en contacto	Coeficiente de roce estático
Acero-Acero	0.18
Acero-Hielo	0.03
Acero-Hierro	0.19
Neumático-Terreno firme	0.2
Cuero-Metal	0.56
Bronce-Bronce	0.2
Bronce-Acero	0.18

Tomada de Fuentes, 2022 (61)

2.2.11.13. Tipos de rodamientos

a) Rodamientos de bolas

Son versátiles los rodamientos de esferas de una sola hilera ya que soportan tanto cargas axiales como radiales, están diseñados con una pista exterior e interior donde están ubicados los retenes y bolas en jaulas, cuenta con distintas ventajas sobre otros ya que su funcionamiento es suave y de baja fricción (ver figura 48).

Los rodamientos de dos hileras cuentan con una capacidad de carga considerablemente mayor a la de una hilera tanto en cargas radiales, también, trabajan a mayor velocidad. Las esferas se fijan en orificios tipos cilíndricos (ver figura 49).

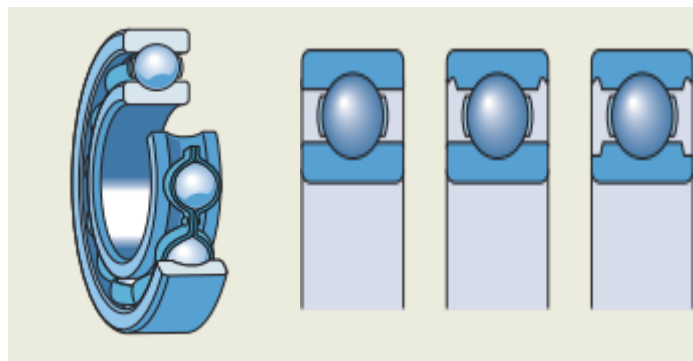


Figura 48. Rodamiento de esferas de una sola hilera
Tomada de SKF PERÚ (62)

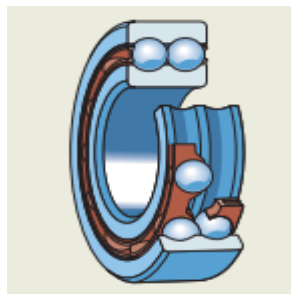


Figura 49. Rodamiento de esferas de dos hileras
Tomada de SKF PERÚ (63)

b) Capacidad de carga de los rodamientos

Para la elección de un rodamiento se tomará en cuenta el estudio de las cargas a resistir, siendo las siguientes: axiales, mixtas o radiales, teniéndose que calcular las cargas estáticas y dinámicas. Según el catálogo de rodamientos SKF existen las siguientes cargas:

Co = carga estática (KN)

Co_{req} = carga estática requerida (KN)

Fa = carga axial (KN)

Fr = carga radial (KN)

Po = carga estática del rodamiento (KN)

$$Fa < 0.8 Fr$$

$$Fa > 0.15 Co$$

2.2.11.14. Bajo costo

Uno de los propósitos de la silla de ruedas es mantener un precio accesible, de modo que sea viable para personas con recursos económicos bajos y medios. En Perú, una silla de ruedas convencional, con prestaciones básicas, tiene un costo promedio de S/400. No obstante, una silla de ruedas con mayores características, como las diseñadas para paseo o eléctricas, puede alcanzar precios que oscilan entre S/1,500 y S/7,000.

Por esta razón, los componentes y materiales elegidos para la silla de ruedas deben ser estandarizados y de fácil adquisición en el mercado local, de manera que el precio final del dispositivo no supere los S/3,500, considerando una utilidad del 20%. Asimismo, su mantenimiento debe poder realizarse en cualquier taller local especializado en reparación de sillas de ruedas.

2.2.11.15. Normativa para el diseño de una silla de ruedas según la norma ISO 7176

La serie de normas ISO 7176, emitida por la organización internacional de normalización (ISO), fija los criterios técnicos esenciales para el diseño. Esta normativa constituye un marco de referencia internacionalmente aceptado que permite garantizar la funcionalidad, seguridad, comodidad y durabilidad del usuario final, a la vez que facilita la estandarización en los procesos de comercialización y fabricación.

El propósito principal de esta norma es definir los requisitos mínimos de calidad y desempeño que deben cumplir las sillas de ruedas normales, abarcando aspectos tales como resistencia estructural, dimensiones físicas, capacidad de frenado y facilidad de maniobra (64).

- Dimensionales y maniobrabilidad (ISO 7176-1)

El diseño debe contemplar medidas estandarizadas para garantizar la compatibilidad antropométrica del dispositivo con el usuario. Entre los parámetros esenciales se encuentran la profundidad y altura del asiento, el ancho total de la silla, la distancia al piso, la altura del respaldo, así como el diámetro mínimo de giro. Estas dimensiones influyen directamente en la ergonomía y funcionalidad de la silla, además de determinar su desempeño en espacios reducidos.

- Ancho total de la silla: entre 600 mm y 720 mm.
- Profundidad del asiento: entre 400 mm y 460 mm.
- Altura del asiento al suelo: entre 450 mm y 500 mm.
- Altura del respaldo: no menor a 400 mm.
- Peso total de la silla: varía entre 15 kg (silla manual ultraligera) y 150 kg (silla eléctrica con baterías y sistemas elevadores).

- Estabilidad estructural en reposo (ISO 7176-8)

Se requiere que la silla de ruedas posea un comportamiento estable frente a posibles situaciones de vuelco, ya sea hacia adelante, hacia atrás o lateralmente. Este criterio se evalúa considerando el centro de masa del grupo dispositivo-paciente y el ángulo de inclinación a partir del cual se produce el desequilibrio. Un diseño adecuado debe evitar el vuelco hasta alcanzar un umbral mínimo de inclinación (usualmente $\geq 10^\circ$), garantizando la seguridad del ocupante incluso en terrenos irregulares.

- Sistema de frenado (ISO 7176-3)

El sistema de frenos debe asegurar una retención efectiva en pendientes suaves (hasta 6° de inclinación) sin que se produzca desplazamiento involuntario. El mecanismo debe ser accesible, de fácil accionamiento y diseñado para requerir un esfuerzo físico mínimo por parte del usuario o del acompañante. Esto resulta crucial para preservar la seguridad en situaciones cotidianas, como transitar por rampas o detenerse en superficies inclinadas.

- Criterio de aceptación: desplazamiento ≤ 50 mm en 5 minutos.
- Fuerza máxima de accionamiento del freno: ≤ 60 N.

- Resistencia mecánica y durabilidad (ISO 7176-13)

Desde el punto de vista estructural, la silla debe ser capaz de soportar cargas repetitivas y condiciones de uso intensivo sin sufrir deformaciones permanentes ni fallas funcionales. Para ello, se aplican pruebas de fatiga mediante ciclos simulados de rodamiento (hasta 200.000 ciclos), así como ensayos de impacto. Esta norma permite validar la vida útil estimada del producto y verificar la integridad de materiales, uniones y componentes con una masa de prueba de 100 kg (Usuario+ silla).

- Capacidad de carga y comportamientos frente a ambientes hostiles (ISO 7176-11)

Todo diseño debe considerar la carga máxima permitida, la cual incluye tanto el peso del usuario como el de los accesorios añadidos. Asimismo, la silla debe mantener su desempeño en condiciones ambientales adversas, tales como exposición a humedad, polvo o cambios bruscos de temperatura, sin que ello comprometa la funcionalidad ni la seguridad del equipo (64).

2.2.11.16. Definición de términos básicos

Posteriormente, se presentan términos básicos relevantes para el estudio:

- **Accesibilidad:** derecho del individuo a tener acceso a un lugar de modo confortable y segura.
- **Bipedestación:** posición vertical adoptada por un individuo que le permite mantenerse de pie y desplazarse utilizando ambas extremidades inferiores.
- **Diseño:** etapa previa al desarrollo de una solución, en la cual se analiza la función de un objeto y su interacción con el usuario. Los aspectos a considerar incluyen operatividad, funcionalidad, vida útil y eficiencia del diseño.
- **Estudio:** proceso de desarrollo de habilidades y aptitudes mediante el aprendizaje de nuevos conocimientos.
- **Paraplejia:** trastorno que causa parálisis en la región inferior del cuerpo y pérdida de funcionalidad, habitualmente como consecuencia de una lesión medular o de una enfermedad congénita.
- **Mecanismo:** dispositivo con la capacidad de cambiar una fuerza o un movimiento, aumentando o disminuyendo la velocidad o fuerza del movimiento de salida.
- **Posicionamiento:** diferentes posturas corporales que una persona puede adoptar, como estar sentado o erguido.
- **Posicionamiento bípedo:** postura corporal erguida de una persona.
- **Discapacidad motora:** dificultad para manipular y controlar el movimiento, el equilibrio, la coordinación y la posición de diversos fragmentos del cuerpo, dificultando la intervención en actividades diarias.

- **Silla de ruedas:** dispositivo de asistencia para personas con discapacidad que limita el movimiento de las extremidades inferiores, facilitando su desplazamiento. Está compuesto por una silla equipada con tres o cuatro ruedas.
- **Sistema de control:** sistema compuesto por varios elementos que trabajan juntos para garantizar la eficacia del sistema.
- **Sistema eléctrico:** trayecto que sigue la electricidad a través de un conductor, desde la fuente de energía hasta el punto de utilización.
- **Sistema mecánico:** grupo de elementos que transmiten o convierten el movimiento desde su origen, convirtiendo diferentes tipos de energía.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Tipo de investigación

Desde el enfoque de la ingeniería mecánica, la presente investigación se clasifica como tecnológica aplicada dado que tiene como propósito el diseño técnico y estructural de una silla de ruedas bípeda, orientada a resolver una necesidad específica en el ámbito de la movilidad asistida. Este tipo de investigación parte de la aplicación sistemática de conocimientos científicos, principios de diseño mecánico, normas técnicas y criterios ergonómicos con el propósito de desarrollar una solución innovadora y funcional que ayude a mejorar la calidad de vida de las personas con discapacidad motriz.

En correspondencia con lo planteado por Hernández, Fernández y Baptista, la investigación aplicada se focaliza en la resolución de problemas concretos mediante la apropiación de fundamentos teóricos y técnicos que se traducen en propuestas útiles y viables para el entorno social o industrial. En este contexto se integran herramientas del diseño asistido por computadora (CAD), análisis estructural mediante elementos finitos (FEA) y el cumplimiento de los requisitos establecidos por normativas, que regula los criterios dimensionales, estructurales y funcionales aplicables a sillas de ruedas (65).

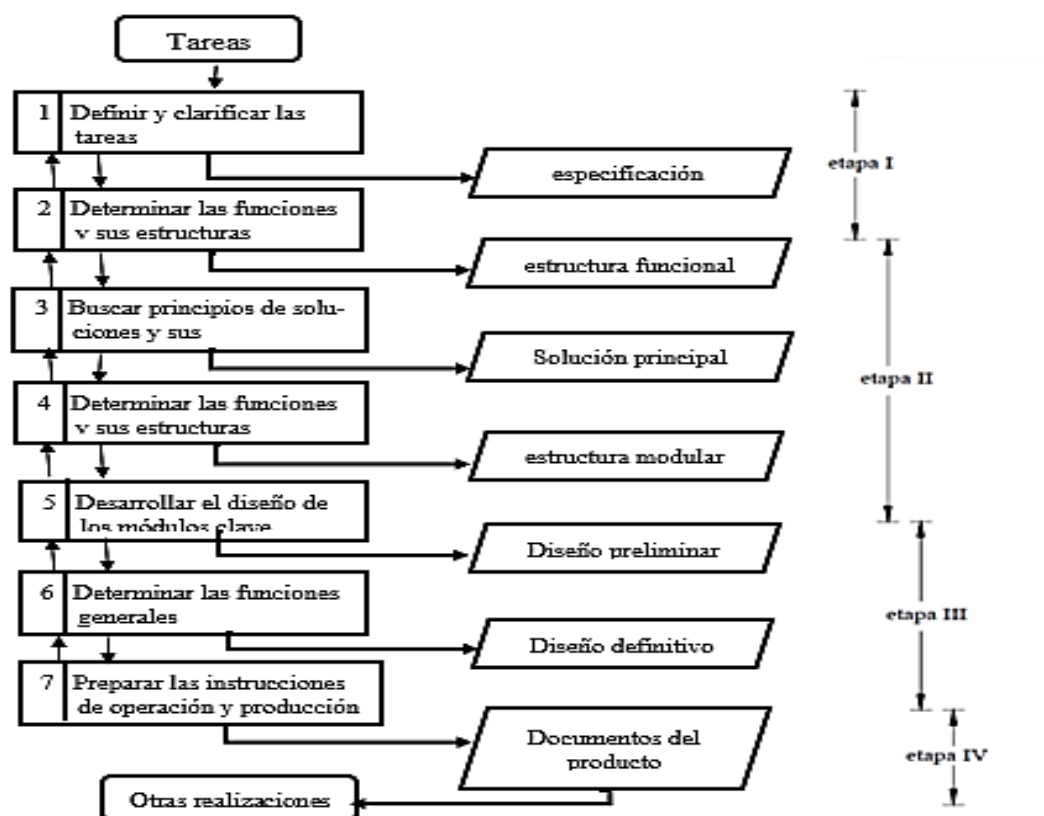
3.2. Metodología aplicada para el desarrollo de la solución

El desarrollo metodológico del proyecto se apoya en la directriz alemana VDI 2221, la cual proporciona una estructura lógica y sistemática para la concepción, desarrollo y validación de productos técnicos. Esta metodología permite abordar el diseño desde una perspectiva ordenada a través de etapas sucesivas que incluyen: la formulación del problema, la recopilación de

requisitos funcionales, el desarrollo de conceptos, el diseño preliminar y detallado, así como la verificación técnica de la solución propuesta. Gracias a esta secuencia metodológica es posible fundamentar cada decisión técnica y garantizar la trazabilidad del proceso de diseño (66).

Finalmente, la investigación adopta un enfoque cuantitativo dado que se emplean métodos de simulación numérica para evaluar parámetros como tensiones internas, deformaciones y factores de seguridad bajo condiciones específicas de carga. Esto permite obtener resultados objetivos y reproducibles que validan la factibilidad estructural y funcional del diseño propuesto.

El desarrollo del diseño que muestra la norma VDI 2221 que se basa en siete etapas y cuatro fases, las cuales se observa en la imagen 50.



*Figura 50. Distribución de diseño, según la norma VDI 2221.
Tomada de Riba, 2002 (66)*

Tabla 7. Características, etapas y objetivos de la norma VDI 2221

Metodología	Generalidades /Características	Etapas	Objetivos
VDI 2221	Entiende y analiza el problema profundamente. Detallado en cada etapa. Se estudian diversas soluciones en cada una de las etapas.	Especificaciones	Clasificar y definir la tarea.
		Estructura de funciones	Definir funciones. Definir estructuras
		Búsqueda de soluciones	Buscar principales soluciones y combinaciones.
		Estructura de modelo	Decidir en módulos realizables.
		Arreglos	Determinar arreglos preliminares. Establecer los arreglos definitivos.
		Documentación	Preparar instrucciones de operatividad y producción.
		Realización	Elaborar el producto.

Tomada de Riba, 2002 (66)

La distribución de la Norma VDI 2221 está compuesta por 7 etapas, cada etapa con un resultado específico, que se especifican a seguidamente:

Tabla 8. Etapas de la norma VDI 2221

Especificaciones (Clasificar y definir la tarea)	Se basa en la especificación y requisitos de diseño, esta etapa es importante, ya que constantemente se repasa y mantiene renovada; pues en el proceso de diseño sufre diversas modificaciones y frecuentemente se realiza su análisis posterior; asimismo, se maneja como una referencia en todas las etapas subsecuentes.
Estructura de funciones (Definir funciones y estructuras)	Se basa en determinar un diagrama de las funciones y subfunciones requeridas en el diseño.
Búsqueda de soluciones (Buscar principalmente soluciones y combinaciones)	Se basa en hacer una matriz morfológica con las soluciones posibles a las funciones referidas en la etapa dos. Asimismo, se hace una exploración de principios de solución para todas las funciones suplentes, y se adoptan en base a la estructura global de funciones en la solución principal.
Estructura de modelo (Decidir en módulos realizables)	Se realizan módulos y una estructura de módulos que simbolizan la descomposición de la solución en ensambles primordiales.
Arreglos (Preliminares y definitivos)	Se realizan bosquejos o diagramas preliminares de los módulos divididos para terminarlos en la etapa seis.
Documentación (Preparar instrucciones de operación y producción)	Se refinan y desarrollan lo de la etapa cinco para llegar a un arreglo definitivo.
Realización del producto	Se desarrollan los documentos del producto final.

Tomada de Riba, 2002 (66)

La distribución de la Norma VDI 2221 se organiza en cuatro períodos, basadas en siete etapas del progreso. La primera fase aborda la investigación para la etapa uno; la segunda fase se ocupa en la producción del diseño, que incluye las etapas dos, tres y cuatro; la tercera fase se enfoca en la elaboración del proyecto, correspondiente a las etapas cinco y seis; y posteriormente, la cuarta fase se dedica a la ingeniería de detalles, basada en la etapa 7 (66).

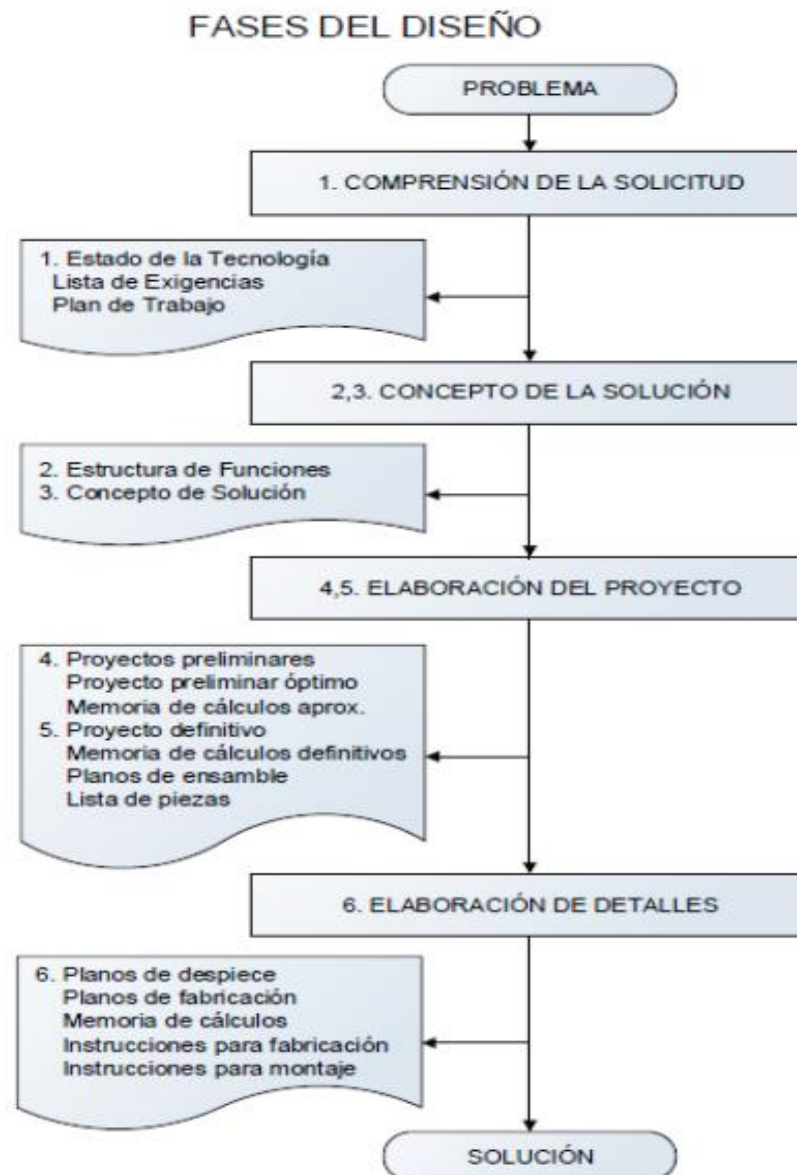


Figura 51. Fases del diseño de la VDI 2221
Tomada de Riba, 2002 (66)

Los objetivos de la metodología VDI 2221, son los siguientes:

- Certificar la satisfacción del cliente: avalar que los sistemas técnicos resueltos cumplan con las expectativas y requisitos de la persona. Lo cual implica la comprensión a fondo de los

requerimientos del usuario y certificar de que el sistema final satisfaga sus requisitos de modo eficiente y efectivo.

- Perfeccionar el rendimiento del sistema: centrándose en desarrollar sistemas técnicos que funcionen de modo óptimo en términos de calidad, rendimiento y confiabilidad. Esto implica la identificación y selección de los mejores conceptos de diseño, así como la implementación de prácticas de ingeniería que maximicen el rendimiento del sistema en diferentes condiciones operativas.

La metodología VDI 2221 se centra en desarrollar sistemas técnicos eficientes y efectivos, cumpliendo con los siguientes fines:

- Satisfacer los requerimientos del usuario mediante una comprensión profunda de sus necesidades.
- Optimizar el rendimiento del sistema en términos de confiabilidad, calidad y eficiencia.
- Minimizar riesgos identificando y mitigando problemas potenciales.
- Fomentar la innovación a través de la exploración de nuevas ideas y tecnologías.
- Facilitar la colaboración multidisciplinaria para abordar integralmente el desarrollo del sistema.
- Garantizar la calidad y fiabilidad del sistema mediante pruebas exhaustivas y verificaciones.

Estos objetivos se logran a través de:

- Análisis detallado de los requisitos del cliente.
- Identificación y selección de conceptos de diseño óptimos.
- Implementación de prácticas de ingeniería eficientes.
- Evaluación y mitigación de riesgos.
- Colaboración interdisciplinaria.
- Pruebas y verificaciones rigurosas.

La metodología VDI 2221 garantiza la entrega de sistemas técnicos que cumplen con los más altos estándares de confiabilidad, eficiencia y calidad.

3.2.1. Fase I: Información

La primera fase consiste en definir y analizar el problema, identificando los recursos necesarios para su solución. Esta etapa conocida como definición del proyecto abarca desde el principio del diseño hasta la programación detallada del proyecto.

- Etapa 1: Precisa y aclara la problemática
- ✓ Principio del diseño: identificar y documentar las necesidades y requerimientos del usuario, incluyendo características y exigencias específicas.
- ✓ Asumir la problemática de forma crítica: esclarecer malentendidos y manifestaciones indeseadas, incumplimiento el plazo de entrega, falsas construcciones, etc., con la finalidad de prevenir algunas consecuencias posteriores.
- ✓ Estado de tecnología (estado de arte): realizar la investigación y recopilación de información pertinente para el desarrollo del proyecto, abarcando catálogos, artículos científicos, patentes, tesis y libros especializados.
- ✓ Instalar prioridades, estructurarlas y cuantificarlas: estructurar y ordenar la información recopilada, creando una lista de exigencias que resume los requisitos y prioridades del proyecto.

La lista de exigencia es un documento que recopila y clarifica las necesidades y requisitos de los usuarios, respondiendo interrogantes como: ¿qué necesidades satisface la solución del problema?, ¿Qué propiedades debe tener la solución? es importante distinguir entre deseos y exigencias, para posteriormente obtener las exigencias deseadas.

Tabla 9. Guía de lista de exigencias

LISTA DE EXIGENCIAS		EDICION:	Pag.De
PROYECTO:		CLIENTES:	Fecha:
			Autor:
Características	Deseo o Exigencia	Descripción	Responsable
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-

Tomada de Riba, 2002 (66)

- ✓ Programación del progreso del estudio: abarca el progreso del método del trabajo con las acciones a desenvolver determinados en tiempo fijado por semanas.

Tabla 10. Modelo del plan de trabajo

Actividad	Semanas								Tiempo
	1	2	3	4	5	6	.	.	
1. Lista de exigencias									
2. Estructuras de funciones									
3.									
.....									
.....									
TOTAL									

Tomada de Riba, 2002 (66)

3.2.2 Fase II: Creación-concepto de solución

Se desarrolla la solución mediante la creación del diseño de un prototipo o artefacto de una máquina, continuando con los pasos establecidos, proporcionadas a las etapas 2, 3 y 4.

- Etapa 2: Fijar la estructura y funciones

Es un procedimiento de extracción, en el cual se representa todo el diseño como una sucesión de funciones, como la caja negra (BLACK BOX) poseyendo en cuentas las dimensiones primordiales.

- Materia: materia prima, líquidos, insumos, comestibles, etc.
- Energía: puede ser química, mecánica y energía térmica etc.
- Señales: magnitudes, datos impulsos de control, información visual, etc.
-

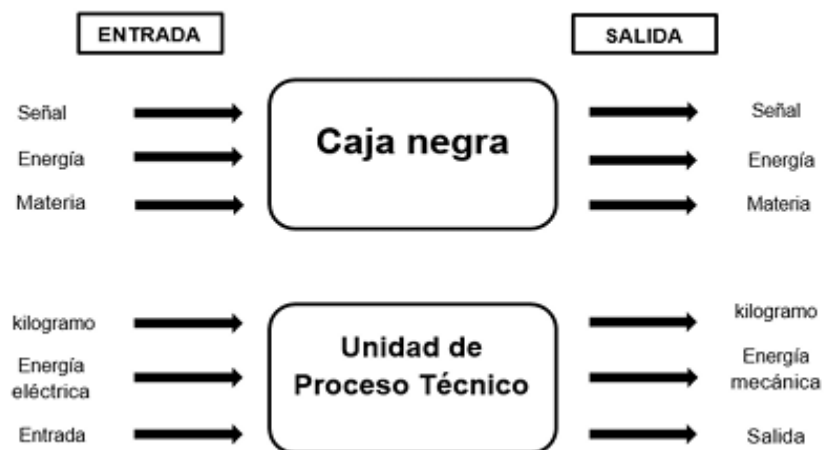


Figura 52. Ejemplo de Black-Box
Tomada de Riba, 2002 (66)

Una vez establecidas las funciones principales, el diseño se descompone en funciones secundarias, proceso conocido como ‘caja blanca’. En esta etapa, se especifican las subfunciones en relación con las variables de entrada y salida.

- Etapa 3: Búsqueda de su estructura y componentes de solución

Conocida como matriz morfológica en donde se integran y clasifican las funciones parciales reconocidas en la caja blanca para desarrollar conceptos de solución esto significa combinar funciones parciales para crear soluciones potenciales, también evaluar técnicamente cada opción para determinar su validez, realizando una evaluación económica para seleccionar la opción más óptima.

Tabla 11. Modelo de matriz morfológica

Requerimiento del diseño	Alternativas de diseño			
Movimiento de entrada	Rotacional	Lineal	Oscilante	Etc
Fuente de entrada	Una mano	Dos manos	Pie y mano	Etc
Elemento de entrada	Cigüeñal	Biela	Palanca	Etc
Elemento de salida	Torreta	Hélice	Pistón	Etc
Movimiento de salida	Rotacional	lineal	Reciprocante	Etc
Mecanismo	Engranaje	Articulación	corredera	Etc

Tomada de Riba, 2002 (66)

- Etapa 4: Subdivisión en ejemplos viables
- Establecer la idea de solución óptima. - Se llevará a cabo una valoración técnica y económica en las distintas opciones de solución de la matriz morfológica, junto con el listado de requerimientos, para asegurarse de cumplir con las exigencias de los usuarios.

Tabla 12. Ejemplo de evaluación de lista de exigencias

Nº	Criterios técnicos y económicos según la lista de exigencia	Soluciones			
		S1	S2	S3	S Ideal
1					
2					
3					
-	-	-	-	-	-
N					
Total					N*4
Evaluación (%)					1

Tomada de Riba, 2002 (66)

Evaluación técnica. - Se toma en cuenta la rigidez, rapidez, seguridad, transportabilidad, fácil manejo, peso de la máquina, calidad de trabajo, etc. Se determinará la óptima elección de solución.

Tabla 13. Ejemplo de evaluación del valor técnico

Variantes de concepto/ proyecto			Solución 1		Solución 2		Solución 3		Sol. Ideal	
			S1		S2		S3		S ideal	
1	Criterios de evaluación	g	P	gp	p	Gp	p	Gp	P	Gp
2									4	
3									4	
.		.	.	.	.	.	.	.	.	.
n									4	
Puntaje										
Valor técnico										

Tomada de Riba, 2002 (66)

Nota: p=puntaje de 0 a 4, g=peso promedio en función de la importancia o calidad del criterio que se va a evaluar.

Evaluación económica: se toma en consideración el fácil montaje, número de piezas, costos diversos, poco desperdicio, etc.

Tabla 14. Ejemplo de evaluación del valor económico

Variantes de concepto/ proyecto			Solución 1		Solución 2		Solución 3		Sol. Ideal	
			S1		S2		S3		S ideal	
N	Criterios de evaluación	g	p	gp	p	Gp	p	Gp	P	Gp
1									4	
2									4	
.		.	.	.	.	.	.	.	.	.
n									4	
Puntaje										
Valor técnico										

Tomada de Riba, 2002 (66)

Nota: P=puntaje de 0a 4, g=peso promedio en función de la importancia o calidad del criterio que se va a evaluar.

- Terminar la idea de solución óptimo para el boceto: se decretan las características del equipo a diseñar, luego de encontrar la solución perfecta.

Desarrollar la solución mediante un diagrama: Una vez determinadas las características del equipo, se elaborará un bosquejo a mano alzada de la solución óptima, detallando cada función secundaria y el secuenciamiento de las operaciones.

3.2.3 Fase III: Elaboración del proyecto

La fase 3 del proceso de diseño implica el desarrollo del proyecto en dos etapas clave: Principio de la configuración geométrica del equipo, definiendo su diseño básico final y evaluando restricciones técnicas. También se especifican materiales, tolerancias y se detalla el ensamble completo de la máquina que se desarrollaran en la etapa 5 y 6.

- Etapa 5: Estructuración de los módulos adecuados
 - Proyecto preliminar. - Percibe el principio del diseño geométrico de la máquina, diseño plasmado en un bosquejo, además fija limitaciones técnicas de modo iterativo como el montaje, fabricación, mantenimiento, volumen, peso, confiabilidad, seguridad contra accidentes, restricciones económicas, cuidado al medio ambiente, uso de elementos normalizados y estandarizados, manipulación, lugar de trabajo del equipo, etc., conjuntamente con las necesidades anotadas en el listado de requerimientos.
 - Memoria de cálculos aproximados. - simulación tentativa de cada producto, cálculos preliminares, funcionamiento del sistema, análisis cinemático y dinámico (software CAD).
- Etapa 6: Establecer el proyecto total
 - Proyecto definitivo. - Integración del diseño preliminar y especificación de: materiales, tolerancias, ajustes, y otras especificaciones técnicas; ensamblaje total de la máquina; lista de todos los elementos con sus respectivas normas y especificaciones técnicas.
 - Memoria de cálculos definitivos. - Cálculos precisos de la máquina, optimización de simulaciones para cada elemento, análisis dinámico y cinemático utilizando software CAD.
 - Planos de ensamble. - Planos detallados del ensamblaje completo de la máquina, incluyendo planos de explosión para facilitar el montaje y varias iteraciones para garantizar precisión y calidad.

3.2.4 Fase IV: Elaboración de ingeniería de detalles

Es la producción de planos de fabricación de cada pieza que compone el equipo, determinado de acuerdo con el ensamblaje.

- Etapa 7: Preparación de los documentos de construcción y usos.
- Realización definitiva de los planos de fabricación, incluyendo detalles sobre acabados superficiales, tolerancias, especificaciones de tratamientos térmicos y demás características relevantes.
- Análisis detallado de cálculos. - Se hacen cálculos exhaustivos de la máquina y sus componentes mecánicos, incluyendo simulaciones precisas.
- Guía de fabricación. - Se proporcionan instrucciones claras para la fabricación, utilizando diagramas de operaciones (DOP) o secuencias de instrucciones.
- Manual de ensamblaje. - Se describe el proceso de ensamblaje de los componentes, detallando el orden y procedimientos.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La finalidad del presente capítulo es instaurar las bases del diseño con la metodología VDI 2221, por lo que se identificó los requerimientos, se analizó la solución y se diseñó las columnas primordiales y el diseño de la silla de ruedas de posicionamiento bípedo, con la intención de cumplir los objetivos fijados de perfeccionar el desempeño de los usuarios con paraplejía en la región Junín.

4.1. Identificación de requerimientos

El progreso de la primera fase comienza con una investigación minuciosa del problema, esta etapa inicial se enfoca en clarificar y definir los eventos futuros necesarios para la preparación del estudio, comenzando por el diseño inicial y culminando en la creación de la lista de requisitos.

4.1.1 Inicio del diseño

Durante la primera etapa, se recopiló información para confirmar el problema identificado. Además, se encontró un estudio sobre las personas con paraplejía en la región de Junín, tanto en el desarrollo de la enfermedad como en sus estadísticas y otros aspectos. El análisis del diseño de una silla de ruedas con postura bípedo se realizó en la región de Junín, donde se evaluaron diversas formas de mantener a las personas con paraplejía en una posición bípeda.

Se realizó la clarificación y definición de la tarea, estableciendo las necesidades para el diseño.

Tabla 15. Requerimientos para la silla de ruedas

Público Objetivo	Individuo de 20 a 64 años, que posea un peso máximo de 100 kg y padezca discapacidad física tal como paraplejía.
Normas a utilizar	Norma Técnica Peruana, ISO.13570-1:2005 y RESNA
Seguridad	Cinturones a la altura del pecho y pelvis, ruedas antivuelco en la parte delantera y cinturón de sujeción a la altura de la rodilla.
Propulsión y rozamiento a rodar	Las superficies, ángulo de ruedas y tipo de recubrimiento, son tales que permiten el movimiento de la silla de ruedas con una fuerza de fricción baja (menor rozamiento).
Antropometría y ergonomía	La altura media de un individuo peruano es de 1.66 m. Según ello, las dimensiones generales de la silla de ruedas serán: Ancho de 0.65 a 0.7, Alto de 0.94 a 1-1 y Largo de 1.1 a 1.2.
Bajo costo	Costo máximo de S/3500.
Mecanismo de elevación	Se utilizará el mecanismo de elevación para lograr el bloqueo del avance de la silla de ruedas.

Siendo los requerimientos del sistema, los siguientes:

- **Función.** - La silla bípeda debe efectuar un semejante comportamiento al del ser humano durante el proceso de ponerse de pie desde una posición sentada. Este proceso lo hará el usuario de modo autónomo con un pulsador de sistema eléctrico.
- **Energía.** - El sistema contará con una batería recargable, que ayude manejar el sistema de postura bípedo, que cuenta con una duración de 2 a 3 horas y podrá ser recargada a 220 VAC y 60 Hz.
- **Señales.** - El sistema recibirá una señal del interruptor de control que está ubicado en el reposabrazos, el cual le permite accionar el mecanismo bípedo hacia arriba o hacia abajo.
- **Ergonomía-confort.** - Se ofrece una posición anatómicamente más correcta. Los reposabrazos permanecerán con el usuario durante todo el recorrido de sentado a parado. Contando con la capacidad de detenerse en cualquier punto de accenso, lo que permite al usuario seleccionar la posición más cómoda. El acolchonado debe ofrecer comodidad al usuario, manteniéndose durante todo el proceso para llegar al posicionamiento bípedo. La altura del reposapiés es importante para una correcta colocación, para ello se regulará el reposapiés según el tamaño de la pantorrilla del usuario, contando este con tres ángulos; el estándar que es de 90° o puede cambiar el ángulo de 10° a 12° hacia adelante o hacia atrás.

- **Material.** - Los materiales empleados en el sistema deben contar con suficiente resistencia, con una resistencia mecánica mínima de 75 kg/mm², tomando como referencia aquellos comúnmente utilizados en la fabricación de sillas de ruedas. Además, la estructura debe ser ligera para facilitar que el usuario pueda impulsarla con facilidad.
- **Uso.** - El público objetivo son usuarios del espacio peruano, primordialmente de la región Junín, este sistema operará en temperaturas de 16 °C.
- **Mantenimiento preventivo.** - Será una vez al año, debido a que esta clase de equipo es parte de la rutina diario del usuario, también se recomienda no realizar por ningún motivo trabajos de reparación o mantenimiento de ningún componente del mecanismo de bipedestación en posición sentada.

4.1.2. Lista de exigencia

El conjunto de exigencias se establece en relación con los antecedentes de los problemas identificados en las etapas previas. Asimismo, se consideran los requerimientos y necesidades planteadas por los usuarios con paraplejía en la región de Junín. En la tabla 16, se halla la lista de requerimientos tomando en cuenta todas las exigencias trazadas por parte de los usuarios.

Tabla 16. Lista de exigencias

LISTA DE EXIGENCIAS		UNIVERSIDAD CONTINENTAL	Pág	1 de 3
Diseño de una silla de ruedas con mecanismo de posicionamiento bípedo para personas con paraplejia en la región Junín.		Facultad de Ingeniería	Fec ha	22/11/20 24
		E.A.P. Ingeniería Mecánica	Aut or	Yeremy Brayan Espejo Palacios
		Área de diseño		
Características	Exigencia o deseo	Descripción	Responsable	
FUNCION PRINCIPAL	E	La silla de ruedas con posicionamiento bípedo se adaptará a la fisionomía de las personas con paraplejia de la región Junín, para poner de pie a la persona se accionará realizando el menor esfuerzo posible, hasta alcanzar un ángulo de levante de 85° siendo la capacidad máxima de peso de 100Kg.	Yeremy Palacios	Espejo
FUNCION PRIMORDIAL	E	La silla de ruedas bípeda se operará al tocar un interruptor basculante y este activará un actuador eléctrico fácil de operar.	Yeremy Palacios	Espejo
FUNCIÓN	E	La postura bípeda de la silla de ruedas deberá ser seguro, confiable y fácil de manipular, sin riesgo de sufrir caídas, además podrá detenerse y estabilizarse en cualquier ángulo de 0° a 85° para beneficios de salud del usuario.	Yeremy Palacios	Espejo
FUNCIÓN	E	La silla de ruedas bípeda contara con un chasis ligero de 30 Kg para ser usada tanto exterior como interior, para una conducción activa compacta.	Yeremy Palacios	Espejo
FUNCIÓN	E	Para el posicionamiento bípedo de la silla de ruedas la velocidad de accionamiento del actuador lineal será de 35 mm/s.	Yeremy Palacios	Espejo
ENERGÍA	E	Para el posicionamiento bípedo/sentado de la silla de ruedas la energía que se usara es la corriente continua, ya que será alimentado a través de una batería de 12 V.	Yeremy Palacios	Espejo
MATERIAL	E	Los mecanismos de la silla de ruedas con posicionamiento bípedos son de material inoxidable, como el aluminio 6061 y el acero de carbono ASTMA500, adecuados para la durabilidad y resistencia.	Yeremy Palacios	Espejo
MATERIAL	D	Los ejes de soporte del actuador lineal serán de tubos de material acero de carbono ASTMA500.	Yeremy Palacios	Espejo

LISTA DE EXIGENCIAS		UNIVERSIDAD CONTINENTAL	Pág.	2 de 3
Diseño de una silla de ruedas con mecanismo de posicionamiento bípedo para personas con paraplejia en la región Junín.		Facultad de Ingeniería	Fec ha	22/11/2024
		E.A.P. Ingeniería Mecánica	Autor	Yeremy Brayan Espejo Palacios
		Área de diseño		
Características	Exigencia o Diseño	Descripción	Responsable	
GEOMETRÍA	E	Las dimensiones de la silla de ruedas con posicionamiento bípedo deben ser aproximadamente de 70 cm de altura, 100 cm de longitud y 52 cm de ancho.	Yeremy Espejo Palacios	
SEÑALES	E	Se utilizar un foco led para iniciar el movimiento del actuador lineal, ya sea para posicionarse en posición bípeda o sentada.	Yeremy Espejo Palacios	
FUERZA	E	La estructura de la silla de ruedas bípeda debe tener suficiente estabilidad para soportar el peso del usuario, tanto en posicionamiento bípeda y sentada.	Yeremy Espejo Palacios	
CINEMATICA	D	El tiempo de desplazamiento del mecanismo de posición de sentado a bípedo y viceversa debe ser lento para tener una buena suspensión y estabilidad.	Yeremy Espejo Palacios	
SEGURIDAD	E	La silla de ruedas con posicionamiento bípedo deberá contar con cinturones a la altura de la pelvis y pecho, cinturón de sujeción al nivel de la rodilla y una correa en la pantorrilla para evitar que las piernas se deslicen para atrás.	Yeremy Brayan Espejo Palacios	
SEGURIDAD	E	La silla de ruedas con posicionamiento bípedo deberá de contar con seis puntos de estabilidad contra el suelo que garantizar una posición de apoyo sólida y segura, contando también con ruedas antivuelco en la parte posterior para evitar caídas al momento de bajar y subir escaleras.	Yeremy Brayan Espejo Palacios	
MEDIO AMBIENTE	E	La silla de ruedas no debe formar efectos contaminantes a gran escala si no efectos mínimos y ser controlados a través de un plan de mantenimiento.	Yeremy Espejo Palacios	
ERGONOMÍA	D	Mecánica corporal optima y adaptada en todas las posiciones sentado y de pie, también ajuste sencillo, configurable y adaptable a preferencia individual.	Yeremy Espejo Palacios	
ERGONOMÍA	E	Los Reposapiés deben ser regulable y contraible según la longitud de la pantorrilla, para una correcta posición tanto de sentado como de pie.	Yeremy Brayan Espejo Palacios	

LISTA DE EXIGENCIAS		UNIVERSIDAD CONTINENTAL	Pág.	3 de 3
Diseño de una silla de ruedas con mecanismo de posicionamiento bípedo para personas con paraplejia en la región Junín.		Facultad de Ingeniería	Fec ha	22/11/2024
		E.A.P. Ingeniería Mecánica	Aut or	Yeremy
		Área de diseño		Brayan Espejo Palacios
Características	Exigenci a o Deseo	Descripción	Responsable	
ERGONOMÍA	E	La altura y ángulo del reposabrazos podrá ser ajustable, también se podrá regular la altura del respaldo, para una mayor comodidad, la tapicería del respaldo y asiento se podrán apretar para una postura más erguida o relajar para un soporte más contorneado.	Yeremy Espejo Palacios	
ERGONOMIA	E	El punto centro de gravedad de la silla de ruedas se podrá ajustar, dependiendo de la profundidad del asiento y la distancia entre ejes, esto se obtendrá al ajustar el tubo del eje de la rueda trasera, ya sea adelante o hacia atrás esto puede aumentar o disminuir la carga de la rueda delantera.	Yeremy Espejo Palacios	
ERGONOMIA	E	La hondura del asiento de la silla de ruedas bípeda se podrá ajustar para que se adapte a la distancia de la parte superior de la pierna del usuario, también se podrá ajustar el ángulo del respaldo.	Yeremy Espejo Palacios	
FABRICACIÓN	E	Al diseñar las piezas mecánicas, se tendrá en cuenta la facilidad de fabricación en función de la tecnología disponible localmente.	Yeremy Espejo Palacios	
FABRICACIÓN	E	En el diseño de los componentes mecánicos se considerará lo simple para la fabricación en relación con la tecnología local.	Yeremy Espejo Palacios	
FABRICACIÓN	E	La silla de ruedas con posición bípedo podrá ser construida en talleres locales y serán construidos con materiales disponibles en el mercado local.	Yeremy Espejo Palacios	
MANTENIMIEN TO	E	Los componentes y sistemas de la silla de ruedas con posicionamiento bípedo deben ser de fácil mantenimiento. Además de la limpieza normal generalmente no requerirá de mantenimiento los diferentes componentes.	Yeremy Espejo Palacios	
MANTENIMIEN TO	D	La carga regular de la batería debe ser por las noches para poder usar la silla de ruedas bípeda durante el día y se debe verificar el interruptor de control.	Yeremy Espejo Palacios	
COSTOS	E	Los costos de fabricación y mantenimiento de la silla de ruedas con posicionamiento bípedo deben ser mínimos y accesibles para personas con paraplejia.	Yeremy Espejo Palacios	

4.1.3. Planificación del desarrollo del proyecto

El cual se explicará a través de las acciones de la metodología, se tiene en cuenta por fases y etapas; mostradas de la siguiente forma.

Tabla 17. Planificación de desarrollo del estudio

PLANIFICACION DEL PROYECTO																										
Tesista	ESPEJO PALACIOS YEREMY BRAYAN																									
Fecha de inicio	1/10/2024																									
Fecha de termino	30/02/2025																									
ITEM	ACTIVIDADES	DUR	RECURSOS	SEMANAS																						
				\$1	\$2	\$3	\$4	\$5	\$6	\$7	\$8	\$9	\$10	\$11	\$12	\$13	\$14	\$15	\$16	\$17	\$18	\$19	\$20	\$21	\$22	\$23
	METODOLOGIA DE DISEÑO	23																								
1.00	Fase I: Informacion	4																								
1.10	claracion y definicion de problema	1	Word																							
1.20	Estado de la tecnología	1	Word																							
1.3.00	Lista de exigencias	1	Word																							
1.40	Planificación de actividades	1	Excel																							
2.00	Fase II: Concepto de solución	5																								
2.10	Caja negra	1	Word/ Excel																							
2.30	Estructura de funciones	1	Word/ Excel																							
2.40	Matriz morfológica	1	Word/ Excel																							
2.50	Conceptos de solución	1	Word/ Excel																							
2.60	Concepto solución optimo	1	Word/ Excel																							
3.00	Fase III: Elaboración del diseño	8																								
3.10	Proyectos preliminares	3																								
3.1.1	Proyecto preliminar optimo	1	Word																							
3.1.2	Memoria de calculos aprox	2	Word																							
3.2.0	Proyecto definitivo	5																								
3.2.1	Memoria de calculos definitivos	2	Word																							
3.2.2	Simulación de componentes	1	Solidwords																							
3.2.3	Planos de ensamble	1	Solidwords																							
3.2.4	Lista de piezas	1	Solidwords																							
4.00	Fase IV: Elaboración de detalles	6																								
4.10	Memoias de calculo, diagramas	2	Word																							
4.20	Planos de fabricación	2	Solidwords																							
4.30	Costo de fabricación	2	Excel																							

LEYENDA	
	Avance proyectos de diseño
	Avance partes de fase
	Avance fase
	Avance metodología de diseño

En la tabla 17 se presenta la programación de la tesis, estimándose una duración promedio de 23 semanas, equivalente aproximadamente a 6 a 8 meses, para la realización de los cálculos, el desarrollo del diseño, la elaboración de planos de ensamblaje, la fabricación del prototipo de la silla de ruedas, entre otras actividades.

4.1.4. Análisis de la solución

4.1.4.1. Caja negra (*black box*)

La caja negra (*Black Box*), detalla los ingresos correspondientes de los recursos en la silla de ruedas e igualmente las salidas convertidas de los presentes recursos en modo tangible.

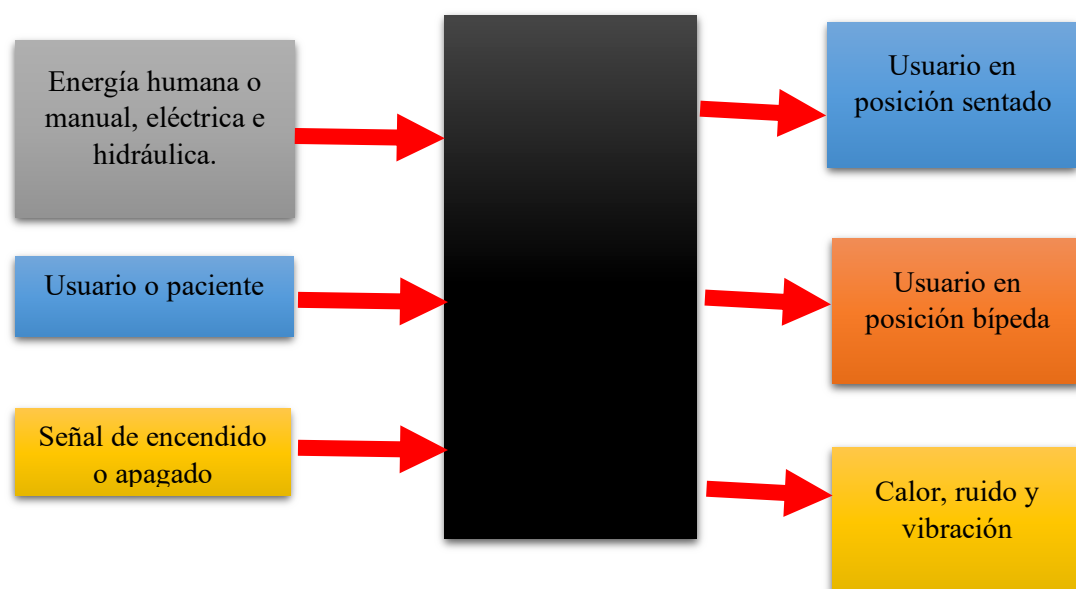


Figura 53. Caja negra

a) Entradas

Los planteamientos que permitirán dar el inicio al accionamiento de los mecanismos de la silla de ruedas para su disposición del cliente son los siguientes:

- **Energía del usuario:** la fuente de energía que accionará los cinturones de seguridad, los mecanismos de ajuste, deslizamiento y regulación de la silla de ruedas será suministrada por el propio usuario o por un asistente encargado de brindar soporte.
- **Usuario y/o paciente:** después de la activación de los cinturones de seguridad, ajustar, activación y deslizamiento se requiere la participación del paciente como juicios de entrada para iniciar con las sucesivas actividades adentro del sistema.
- **Encendido/apagado:** activada por el cliente para arrancar el sistema antes de operarlo.

b) Salidas

Es la consecuencia que se logra después de hacer movimientos íntimamente en el sistema.

- Individuo en posición sentado: después de ponerse los sistemas de seguridad, el cliente puede trasladarse en la silla y usarlo como una convencional.
- Individuo en posición vertical: tras detener y activar los dispositivos de seguridad y el mecanismo de elevación, el usuario adopta una postura vertical para llevar a cabo las tareas requeridas
- Ruido, calor y vibración: al impulsar los mecanismos, existen inclinaciones relativas que ocasionan roce entre los elementos y el fruto de ello es ruido, calor y vibración.

4.1.4.2. Estructura de funciones (caja blanca)

Con los criterios de diseño y utilizando la metodología VDI 2221, se establecerá una estructura funcional que facilitará la comprensión del funcionamiento del equipo. Se identificarán los procesos necesarios para el empleo apropiado de la silla de ruedas, así como las variables de entrada y las actividades que se deben establecer para obtener los resultados ansiados.

La función trascendental de la silla de ruedas es permitir un posicionamiento erguido, lo cual se logra mediante dos movimientos clave: la rotación del asiento y del respaldo.

La rotación del asiento constituye un movimiento asistido por un actuador lineal, que posibilita girar el respaldo en torno a un punto de apoyo ubicado en el asiento. Esta función es fundamental para alcanzar la posición bípeda y, además, permite ajustar el respaldo conforme a las preferencias del usuario.

La rotación del asiento se realiza en relación con un lugar de soporte en la estructura principal, también mediante un actuador lineal. Este movimiento permite ajustar la altura del asiento según las necesidades del cliente.

a) Actividades en el sistema

Las acciones comprenden ajustar el funcionamiento de la silla de ruedas, accionar y detener el mecanismo de elevación, activar y desactivar los dispositivos de seguridad, así como permitir su desplazamiento. Las tres actividades principales son las siguientes:

- Bloquear la silla de ruedas. - Consiste en trabar las ruedas posteriores para posicionar al cliente. Luego, se activará el sistema de seguridad y finalmente se desbloquearán las ruedas posteriores para permitir el desplazamiento.

- Activar el mecanismo de elevación. - Consiste en detener la silla de ruedas y bloquear las ruedas, así como colocar los dispositivos de seguridad. A continuación, se acciona el mecanismo de elevación para colocar al paciente en posición vertical
- Desactivar el mecanismo de elevación. - Comienza con la activación del mecanismo retráctil, seguido de la desactivación de los dispositivos de seguridad y, por último, el desbloqueo de las ruedas posteriores para el traslado del usuario.

Posteriormente se realizó la estructura funcional, se muestra en la figura 54.

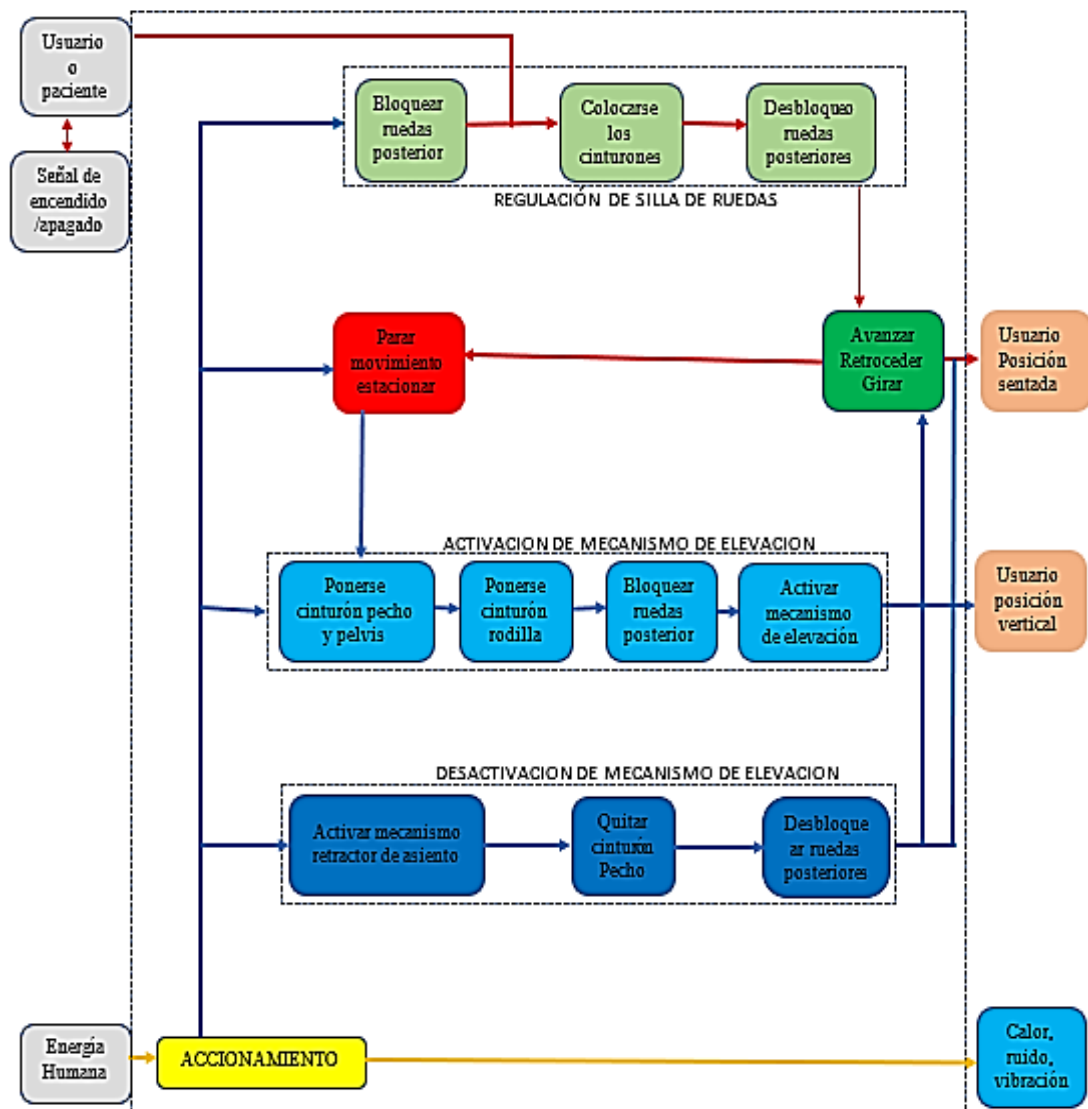


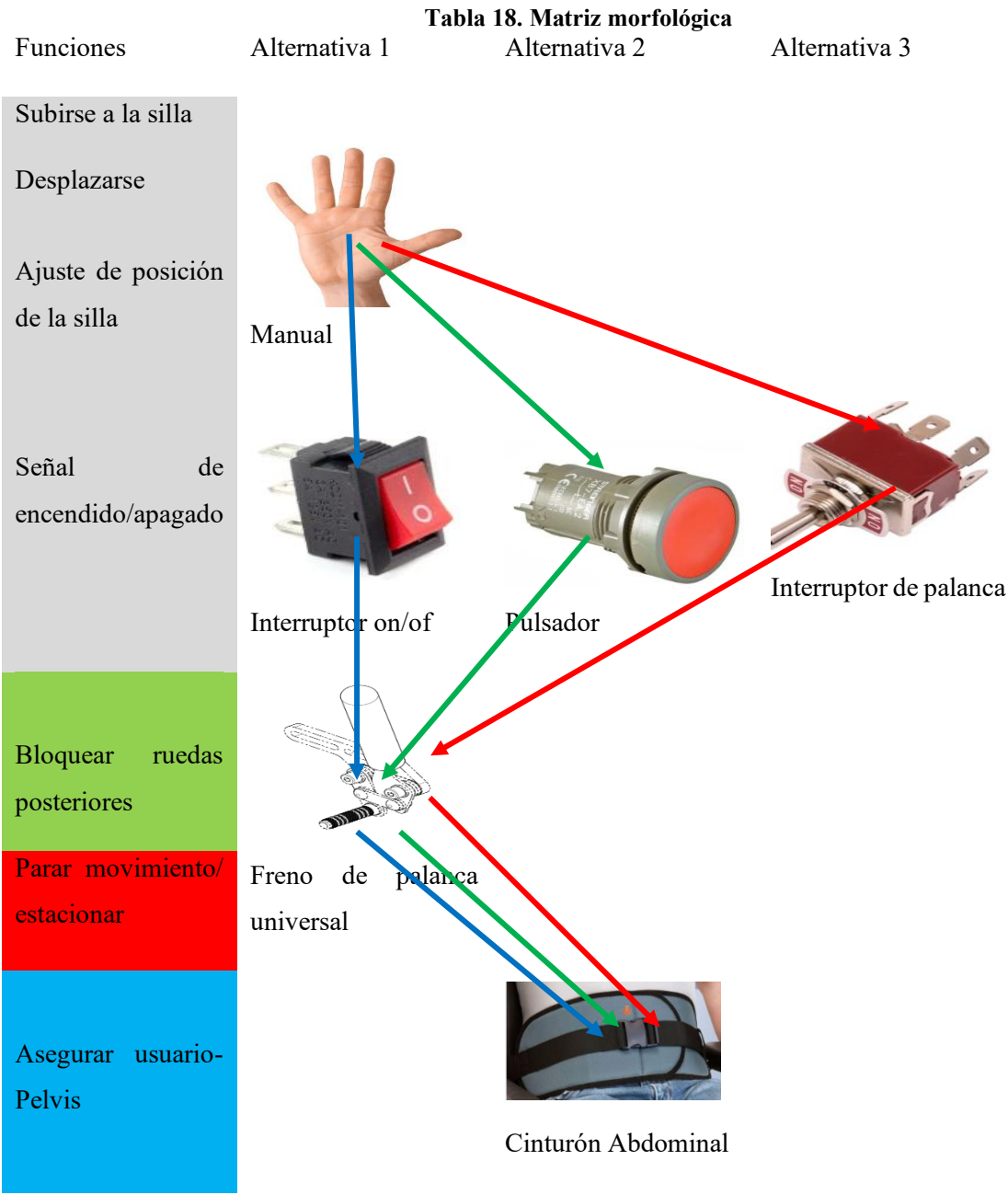
Figura 54. Estructura funcional

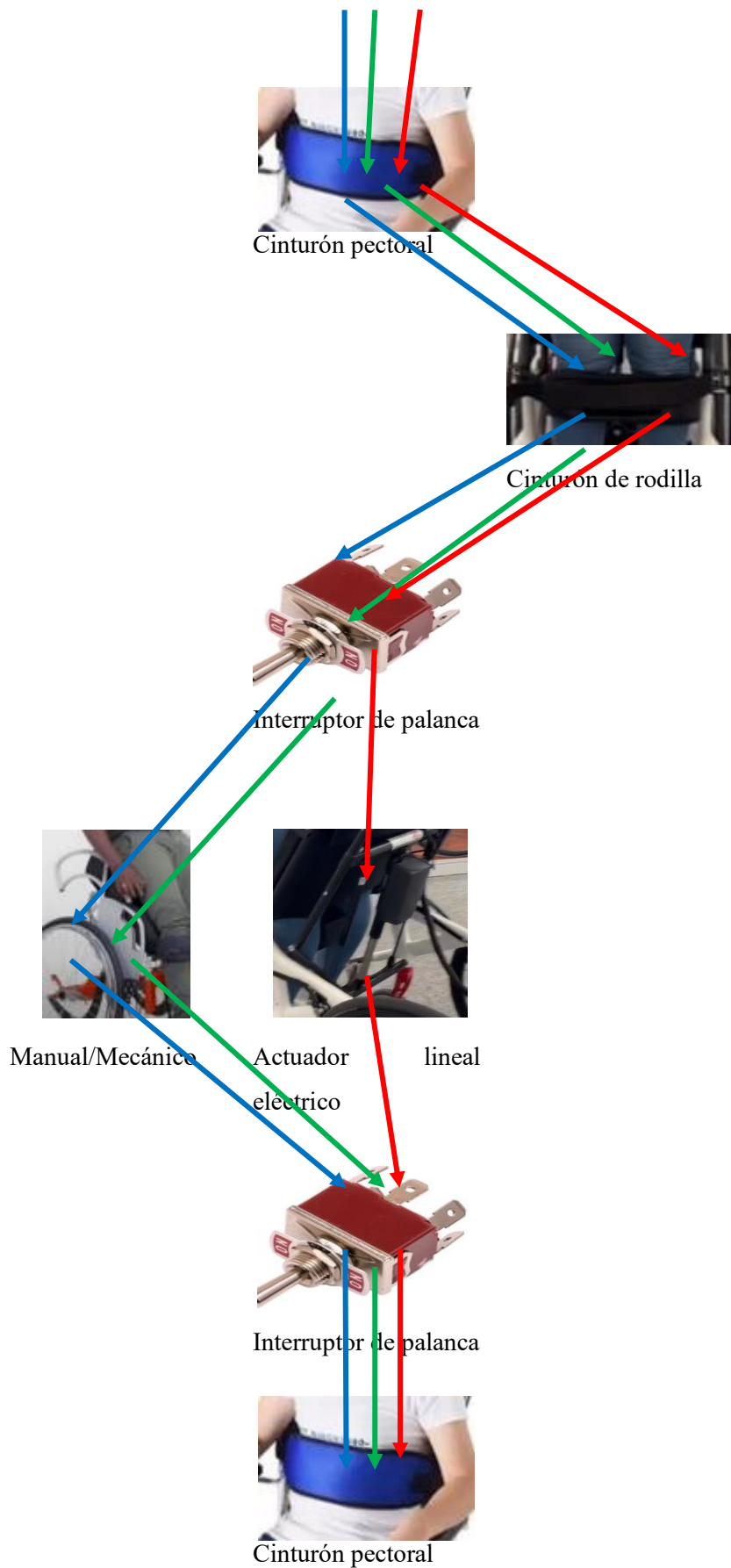
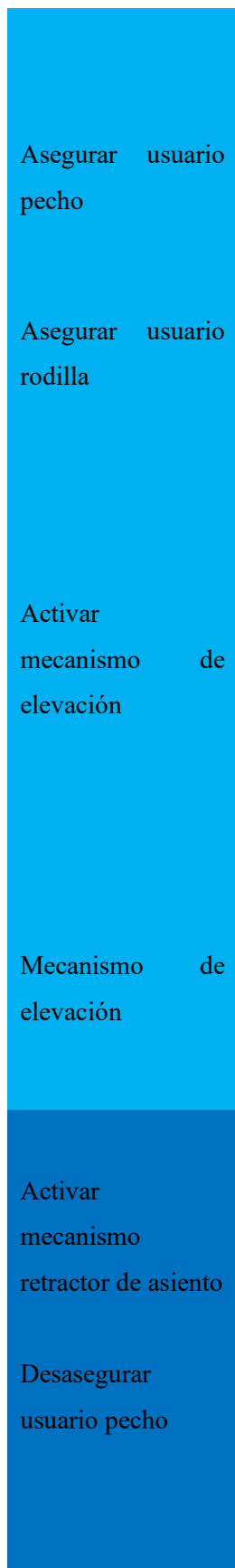
4.1.4.3. Matriz morfológica

Durante la fabricación de la matriz morfológica, se enumeraron todos los subprocesos o actividades necesarios para cumplir con los fines de la tesis. En cada actividad o subproceso,

se incluyeron todas las soluciones encontradas que contribuirán a alcanzar dichos objetivos. Estas soluciones posibles corresponden a los componentes distintos que formarán la silla de ruedas, proporcionando un conocimiento profundo de todos los componentes esenciales.

La matriz morfológica fue elaborada cumpliendo la metodología VDI 2221, lo que resultó en tres ideas de solución que serán evaluadas económicamente y técnicamente en su debido momento.

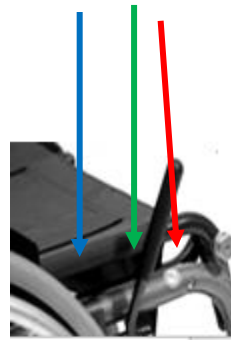




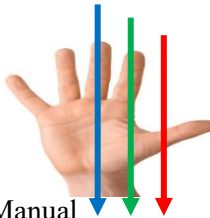
Desbloquear
ruedas posteriores

Quitar seguros

Popular y
direccionar silla de
ruedas bípeda



Freno de palanca
universal



Manual

4.1.4.4. Ideas de solución

Las ideas de solución surgen a partir de la selección de los componentes principales, asegurando que contribuyan al correcto funcionamiento de la silla de ruedas. Esto permite definir un conjunto de elementos y componentes que integrarán el dispositivo. Para la elección de cada componente se empleará la matriz morfológica, a partir de la cual se generarán tres ideas de solución que serán evaluadas según criterios económicos y técnicos.

- a) Idea solución 1. - La silla de ruedas mantiene un ángulo de verticalidad constante y los reposapiés se encuentran a altura fija. Está equipada con frenos tipo tijera para su estacionamiento y un cinturón de seguridad de dos puntos a nivel de pelvis y rodillas. Para mayor seguridad, incorpora ruedas antivuelco en la parte delantera. La rueda delantera es maniobrable para facilitar el traslado, mientras que la rueda trasera es de mayor tamaño. La dirección y propulsión pueden ser asistidas o manuales mediante aros de empuje por parte del usuario. El mecanismo de elevación utiliza un actuador con resorte de gas comprimido, activado mediante palanca, y el chasis se mantiene rígido para garantizar estabilidad.

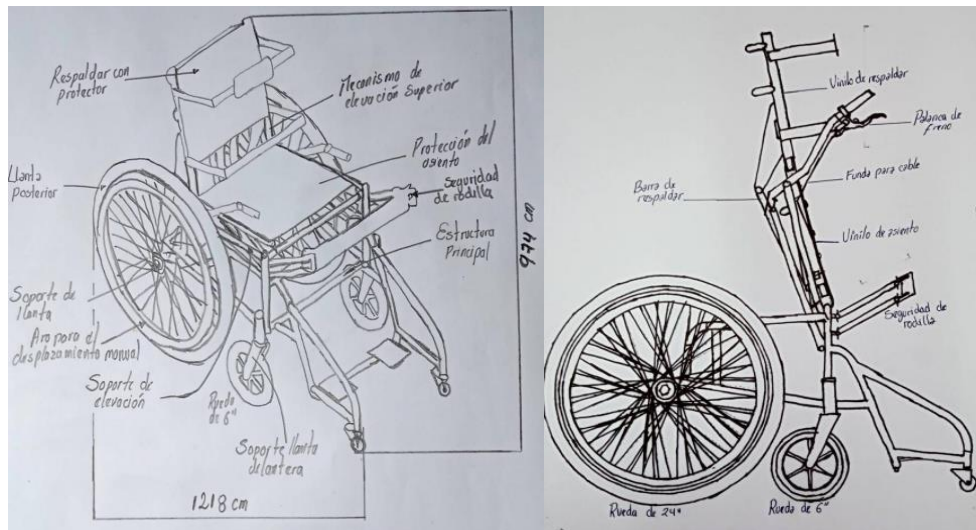


Figura 55. Idea solución 1

- b) Idea solución 2. - Poseerá chasis rígido, tendrá un actuador lineal eléctrico para el posicionamiento bípodo que será accionado por un pulsador. El reposapiés ira 30 mm del suelo tanto en posición sentado como posición bípoda y así obtener los 6 puntos de apoyo permanentemente, los reposabrazos serán rectos y ambos fijos, se tendrá frenos tipo tijera. Poseerá un cinturón pectoral y una correa de seguridad a la altura de la rodilla de dos sitios. Para facilitar el traslado la rueda delantera es conducible y la rueda trasera es de tamaño mayor. Puede ser asistida por un tercero. Los puntos de giro serán a través de eslabones, contará con un chasis ovalado. Se podrá desplazar tanto en exteriores como interiores.

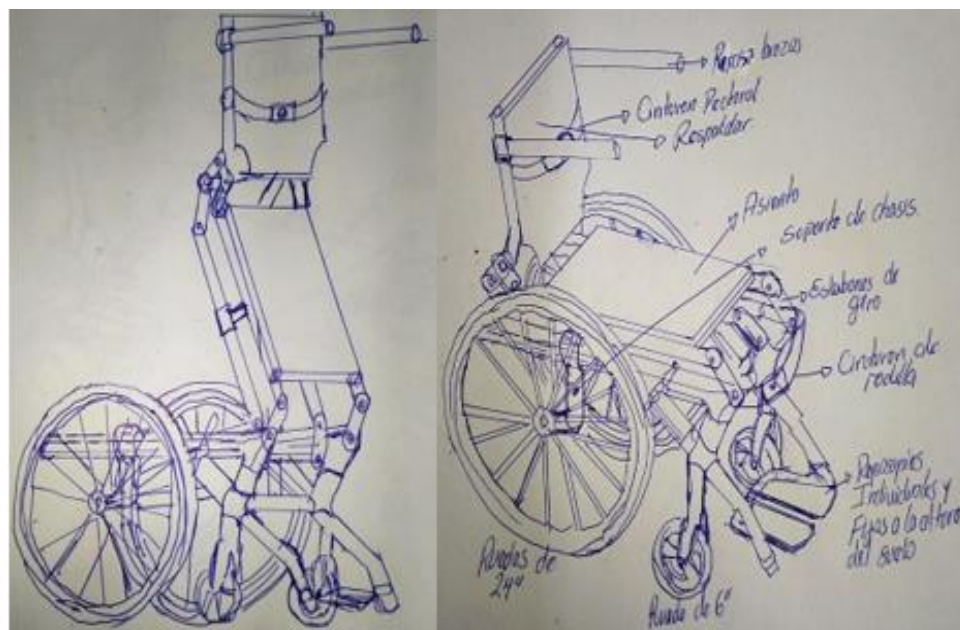


Figura 56. Idea solución 2

- c) Idea solución 3. - Conservará el ángulo de verticalidad fijo, será fácilmente configurable y convertible según las necesidades individuales, la altura de los reposapiés será abatible, tendrá frenos tipo tijera. Contará con cinturones de dos puntos en el pecho, pelvis y un soporte ajustable para pies y piernas, asimismo, el usuario al estar en posición bípeda tendrá seis puntos de apoyo contra el suelo y para que el usuario tenga una mejor confianza al moverse en terrenos irregulares se usaran ruedas antivuelco en la parte posterior. Poseerá ruedas delanteras pequeñas y dirigible y ruedas traseras de mayor tamaño para el desplazamiento que contará con guardas de protección para las manos. La propulsión y dirección puede ser manual o asistida, con aros de empuje usados por el cliente, mientras que la estructura de elevación tiene un actuador lineal eléctrico que le ayuda al usuario alcanzar la posición de pie con solo tocar un interruptor, conjuntamente con los amortiguadores a gas obtendrán mayor confort y una mejor suspensión. Finalmente, el chasis es rígido.

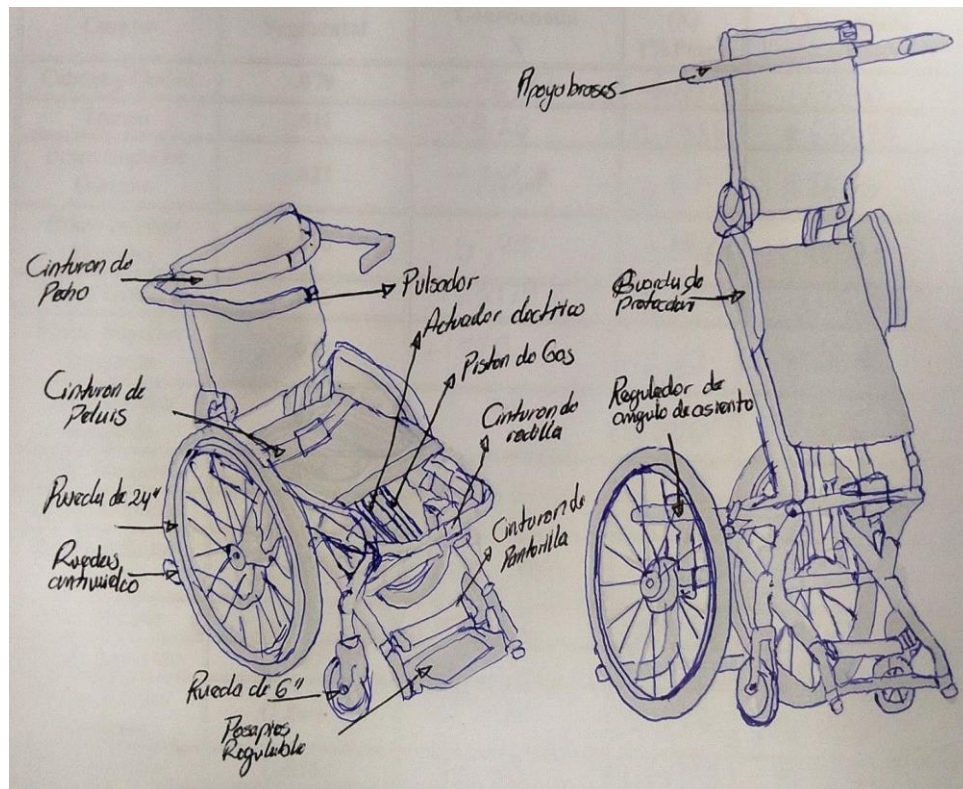


Figura 57. Idea solución 3

4.1.4.5. Decisión de la solución ideal

a) Evaluación de la lista de exigencias

La tabla de requisitos mencionada anteriormente se valora según los resultados conseguidos en la matriz morfológica. Para ello, se emplea una tabla de estimación basada en la metodología VDI 2221, la cual recomienda un sistema de puntuación de 1 a 4, siendo 4 la clasificación más alta y óptima.

Tabla 19. Evaluación de lista de exigencias

N.º	Criterios técnicos y económicos	Soluciones			
		S1	S2	S3	S ideal
1	Seguridad	2	3	4	4
2	Rapidez	2	3	4	4
3	Estabilidad	2	3	4	4
4	Eficiencia	2	3	3	4
5	Manipulación	3	3	3	4
6	Confiabilidad	3	3	4	4
7	Facilidad de manejo	3	2	4	4
8	Transportabilidad	2	2	4	4
9	Calidad de trabajo	2	2	3	4
10	Complejidad	3	2	3	4
11	Automatización	3	4	4	4
12	Número de piezas	3	2	3	4
13	Fácil adquisición de materiales	3	3	3	4
14	Productividad	2	3	3	4
15	Costos diversos	3	3	3	4
16	Número de operarios	2	2	4	4
17	Costos de tecnología	2	3	3	4
18	Facilidad de montaje	2	3	3	4
19	Facilidad de mantenimiento	3	3	3	4
20	Costos de operación	3	3	3	4
Total		56	60	74	88
Evaluación (%)		63.64%	68.18%	80.68%	100%

En la tabla 19, se contempla los resultados a comparación porcentual de las tres soluciones siendo 63.64 %, 68.18 % y 80.68 %.

b) Valorización técnica

El valor técnico se determina mediante una evaluación que utiliza la escala de valores establecida en la norma VDI 2221, la cual define los factores de valoración tanto desde el punto de vista técnico como económico.

El puntaje está en el rango de 0 a 4; en donde:

0 = No cumple; 1= Aceptable; 2 =Suficiente; 3 = Bueno, 4 = Excelente (ideal)

g = El peso ponderado se determina según la relevancia de los criterios de evaluación.

$$X_1 = \frac{g_1+p_1+g_2+p_2+ \dots g_n+p_n}{(g_1+g_2+ \dots g_n) + P_{ideal}} \leq 1 \quad Ec. (19)$$

Tabla 20. Evaluación técnica

DISEÑO MECÁNICO - EVALUACIÓN DE PROYECTO - VALOR TÉCNICO (Xi)										U.C
										Y.B.E.P.
PROYECTO: Diseño de una silla de ruedas con posicionamiento bípodo para personas con paraplejia en la región Junín.										
Criterios de evaluación para diseños en fase de conceptos o proyectos.										
Variantes de concepto/ proyecto			Solución 1		Solución 2		Solución 3		Sol. Ideal	
			S1		S2		S3		S ideal	
N.º	Criterios de evaluación	g	p	gp	P	gp	P	gp	p	Gp
1	Función	9	3	27	3	27	4	36	4	36
2	Geometría	7	3	21	2	14	3	21	4	28
3	Eficiencia	10	3	30	2	20	3	30	4	40
4	Ergonomía	9	3	27	3	27	4	36	4	36
5	Rapidez	6	2	12	3	18	3	18	4	24
6	Fabricación	8	3	24	3	24	3	24	4	32
7	Montaje	7	3	21	3	21	3	21	4	28
8	Mantenimiento	8	2	16	3	24	4	32	4	32
9	Transportabilidad	8	2	16	2	16	3	24	4	32
10	Seguridad	9	2	18	3	27	4	36	4	36
11	Estabilidad	10	2	20	3	30	4	40	4	40
12	Facilidad de manejo	8	3	24	3	24	3	24	4	32
13	Complejidad	8	3	24	3	24	3	24	4	32
Puntaje máximo			34	280	36	296	44	366	52	428
Valor Técnico (%)			65.38%		69.23%		88.61%		100.00%	

c) Valoración económica

El puntaje está en el rango de 0 a 4; en donde:

0 = No cumple; 1= Aceptable; 2 =Suficiente; 3 = Bueno, 4 = Excelente(ideal)

g = El peso ponderado está en base de la importancia de los criterios de evaluación.

$$X_1 = \frac{g_1+p_1+g_2+p_2+ \dots g_n+p_n}{(g_1+g_2+ \dots g_n) + g_{ideal}} \leq 1 \quad \text{Ec. (20)}$$

Tabla 21. Evaluación económica

DISEÑO MECÁNICO - EVALUACIÓN DE PROYECTO – VALOR ECONÓMICO (Xi)										U.C
										Y.B.E.P.
PROYECTO: Diseño de una silla de ruedas con posicionamiento bípedo para personas con paraplejía en la región Junín.										
Criterios de evaluación para diseños en fase de conceptos o proyectos										
Variantes de concepto/ proyecto			Solución 1		Solución 2		Solución 3		Sol. Ideal	
			S1		S2		S3		S ideal	
N.º	Criterios de evaluación	G	p	gp	p	gp	P	gp	p	Gp
1	Costos de material	9	2	18	3	27	4	36	4	36
2	Costos de fabricación	8	3	24	3	24	4	32	4	32
3	Costos de montaje	9	2	18	3	27	3	27	4	36
4	Costo de la tecnología	7	2	14	2	14	3	21	4	28
5	Costos de mantenimiento	8	3	24	3	24	4	32	4	32
Puntaje máximo			12	98	14	116	18	148	20	164
Valor Económico (%)			59.76%		70.73%		90.24%		100.00%	

d) Evaluación de resultados

Tabla 22. Valor económico y técnico

Descripción	Valorización Técnica (%)	Valorización Económica (%)
Solución 1	65.38%	59.76%
Solución 2	69.23%	70.73%
Solución 3	88.61%	90.24%

En la tabla 22 se observan las ideas de solución siendo la idea de solución 3 la más aceptable.

e) Toma de decisión

La ideal solución se determina a través un diagrama de dispersión, donde se comparan los resultados previos, considerando todas las medidas y los requerimientos de los usuarios, como se ilustra en la figura 58.

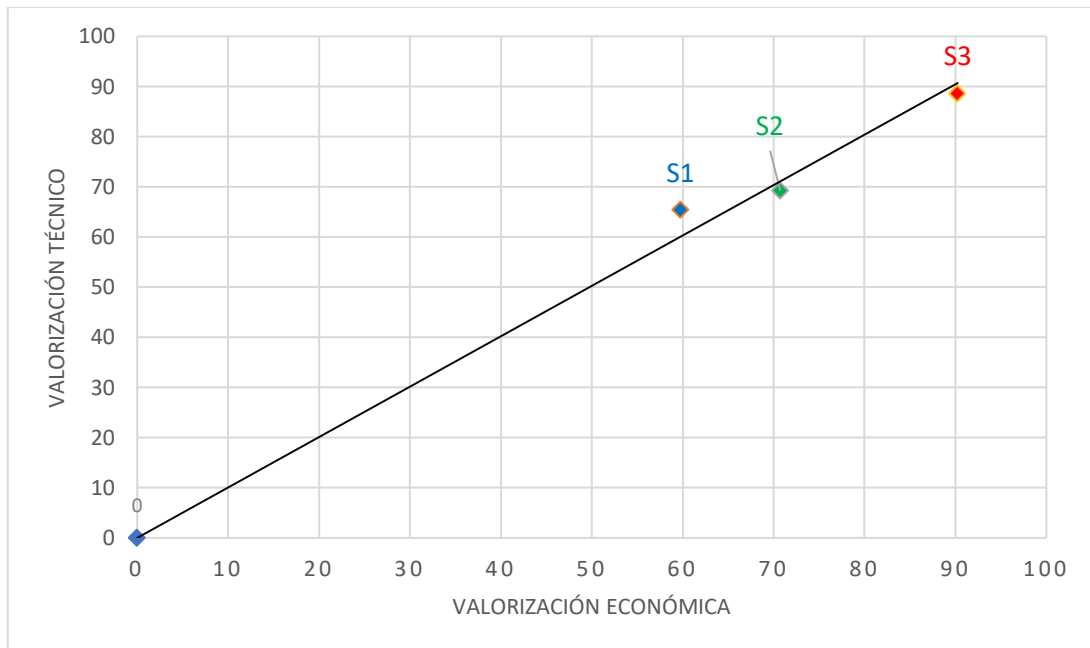


Figura 58. Gráfico de decisión

En la figura 58 se aprecia que el concepto de la solución 3 se aproxima más a la línea de 45°. Por lo tanto, la solución 3 se considera como el diseño conceptual ideal.

El diagrama de distorsión en la imagen 58 muestra que las soluciones evaluadas están más cerca de la línea recta. En particular, la solución 3 (indicada en rojo) destaca con un 88.61% en el eje "X" y un 90.24% en el eje "Y". Esta opción fue seleccionada debido a las exigencias de los usuarios.

4.2. Selección de materiales y medidas

El material y las medidas se seleccionarán realizando cálculos de momento flector máximo, tensión máxima y se comparará con las propiedades del material seleccionado.

Para la estructura de la silla de ruedas bípeda para personas con paraplejía en la región Junín se comparó diferentes tipos de materiales, así obteniendo beneficios del material seleccionado como bajo costo, con bajo peso para que la silla pueda ser ligero y tener una mejor maniobrabilidad tanto en interiores y exteriores, contando con una excelente soldabilidad y facilidad de fabricación para ello se seleccionó el aluminio 6063-T5 (usa magnesio (Mg) y silicio (Si) templado y envejecido artificialmente después de la extrusión).

Asimismo, se usará acero al carbono ASTM-A500 para los soportes del actuador, ya que ofrece alta resistencia mecánica y tiene un bajo costo, cada uno de los componentes poseerá un factor de seguridad mínimo deberá ser mayor a 2.

Tabla 23. Materiales para fabricar componentes de la silla de ruedas

Material	Peso (densidad)	Resistencia mecánica	Soldabilidad	Costo	Uso común en silla de ruedas
Aluminio 6063-T5	Ligero (2.70 g/cm ³)	Moderada (UTS-190 MPa)	Excelente	Medio	Marcos, componentes estructuras livianas
Aluminio 7075-T6	Ligero (2.81 g/cm ³)	Alta (UTS-570 MPa)	Difícil	Alto	Partes de alta carga como articulación
Acero Inoxidable	Pesado (7.9 g/cm ³)	Muy alta (UTS-520MPa)	Buena	Medio	Ejes, componentes que requieren gran durabilidad
Titanio (grado 2)	Muy ligero (4.5 g/cm ³)	Alta (UTS-350 MPa)	Regular	Muy alto	Marcos premium, prótesis, estructuras avanzadas
Fibra de carbono	Ultraligero (1.6 g/cm ³)	Muy alta (anisotrópica)	No soldable	Muy alto	Marcos de alto rendimiento, partes móviles ligeras
Plásticos reforzados (como ABS o nylon con fibra)	Ligero (-1.1-1.4 g/cm ³)	Moderada-baja	No aplica	Bajo	Carcasas, cubiertas, piezas no estructurales

4.2.1. Criterios de diseño mecánico aplicados a componentes estructurales

En el diseño de la silla de ruedas bípeda se han considerado factores de seguridad con base en principios de ingeniería mecánica tomando como referencia los lineamientos de la norma ISO 7176, la cual establece requisitos de resistencia estructural a través de métodos de prueba estandarizados.

Si bien este estudio no contempla la realización de ensayos físicos, se han definido factores de seguridad adecuados para cada componente estructural y funcional, con el fin de garantizar la resistencia ante las cargas estimadas durante el uso habitual del dispositivo. A continuación, se indican los factores de seguridad de componentes que estarán realizando mayor esfuerzo al ponerse de pie que serán comparados con las pruebas realizadas (64):

Tabla 24. Factores de seguridad

Componente	Factor de seguridad asumido	Justificación técnica
Chasis / estructura principal	2.5	Soporta la carga total del usuario y posibles momentos generados durante la bipedestación.
Sistema de bipedestación (palancas, actuadores, articulaciones)	3.0	Se somete a esfuerzos dinámicos y representa un sistema crítico para el cambio de postura.
Frenos de palanca	2.5	Su función es detener el sistema en superficies planas e inclinadas, lo que requiere alta fiabilidad.
Ruedas y ejes	2.0	Elementos móviles que soportan peso y permiten desplazamiento constante.
Soportes de pies y rodillas	2.0	Soportan parcialmente el peso corporal al estar de pie.

Tomada de ISO, 2023 (64)

a) Cálculo para seleccionar las medidas de los tubos tanto del asiento como del respaldar:

Propiedades del material: el límite elástico del aluminio 6063-T5 es aproximadamente 214 MPa. La selección de este material se realizó ya que cuenta con ventajas frente a otros materiales, brindándonos un peso ligero, resistencia a la corrosión, fácil de extruir y más dúctil.

- Momento de inercia (I):

$$I = \frac{\pi}{64} (D^4 - d^4) \quad \text{Ec. (21)}$$

Donde:

D = 0.03 m (diámetro exterior)

d = 0.026 m (diámetro interior)

Calculamos:

$$I = \frac{\pi}{64} (0.03 \text{ m}^4 - 0.026 \text{ m}^4)$$

$$I = 17.33 \times 10^{-9} \text{ m}^4$$

- Momento flector máximo (M): si la fuerza se aplica uniformemente a lo largo del tubo, el momento flector máximo se calcula con:

$$M_{max} = \frac{F \times L}{4} \quad \text{Ec. (22)}$$

Donde (F = 622.3 N y L = 0.47 m).

Calculamos:

$$M_{max} = \frac{622.3N \times 0.47 m}{4}$$

$$M_{max} = 73.12 N.m$$

- Tensión máxima por flexión (σ):

$$\sigma_{flexion} = \frac{M_{max} \times C}{I} \quad Ec. (23)$$

Donde ($C = 0.03/2=0.015 m$) Centro del tubo al exterior.

Calculamos:

$$\sigma_{max} = \frac{73.12 N.m \times 0.015m}{17.33 \times 10^{-9} m^4}$$

$$\sigma_{max} = 63.3 MPa$$

Comparación con el límite elástico:

$$\sigma_{flexion} = 62.5 MPa \leq 214MPa$$

El material seleccionado es el aluminio 6063-T5, con las medidas de diámetro exterior 0.03 m y diámetro interior de 0.026 m tanto para la estructura del respaldar y el asiento. La tensión máxima obtenido es de 69.9 MPa que está por debajo del límite elástico del aluminio 6063-T5 que es 214 MPa, por ello el tubo puede soportar la fuerza aplicada de 622.3 N sin deformarse permanentemente.

b) Cálculo para seleccionar las medidas de los tubos del chasis:

Propiedades del material: El límite elástico del aluminio 6063-T5 es aproximadamente 214 MPa (megapascas).

- Momento de inercia (I):

$$I = \frac{\pi}{64} (D^4 - d^4) \quad Ec. (24)$$

Donde

$$D = 0.042 m$$

$$d = 0.032 m$$

Calculamos:

$$I = \frac{\pi}{64} (0.042 m^4 - 0.032 m^4)$$

$$I = 101.27 \times 10^{-9} m$$

- Momento flector máximo (M): si la fuerza se aplica uniformemente a lo largo del tubo, el momento flector máximo se calcula con:

$$M_{max} = \frac{F \times L}{4} \quad Ec. (25)$$

Donde (F = 720.3 N y L = 0.63 m)

Calculamos:

$$M_{max} = \frac{720.3 \text{ N} \times 0.63 \text{ m}}{4}$$

$$M_{max} = 11344.725 \text{ N.m}$$

- Tensión máxima por flexión (σ):

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max} \times C}{I} \quad Ec. (26)$$

Donde (C = 0.042 m/2 = 0.021 m) Centro del tubo al diámetro exterior.

Calculamos:

$$\sigma_{flexion} = \frac{11344.725 \text{ N.m} \times 0.021 \text{ m}}{101.27 \times 10^{-9} \text{ m}}$$

$$\sigma_{flexion} = 23.52 \text{ MPa}$$

Comparación con el límite elástico:

$$\sigma_{flexion} = 23.52 \text{ MPa} \leq 214 \text{ MPa}$$

El material seleccionado es el aluminio 6063-T5, con las medidas de diámetro exterior 0.04216 m y diámetro interior de 0.03252 m, para la estructura del chasis. La tensión máxima de 23.52 MPa está por debajo del límite elástico del aluminio 6063-T5, por lo que el tubo puede soportar la fuerza aplicada de 720.3 N sin deformarse permanentemente.

c) Cálculo de la barra de soporte del actuador lineal:

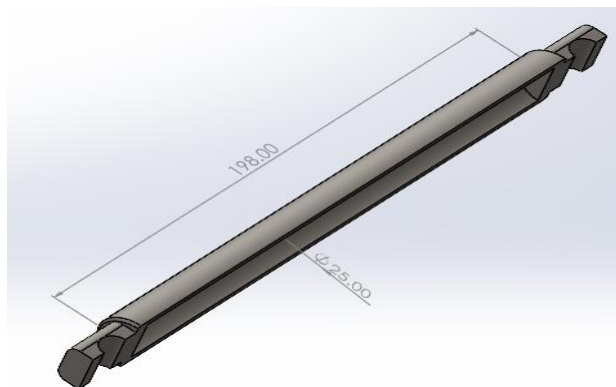


Figura 59. Barra de soporte inferior del actuador lineal

Propiedades del material: el límite elástico del acero ASTM A500 está en el rango de 290 MPa hasta 345 MPa (megapascuales).

- Momento de inercia (I):

$$I = \frac{\pi}{64} (D^4 - d^4) \quad Ec. (27)$$

Donde

$$D = 0.025 \text{ m}$$

$$d = 0.02 \text{ m}$$

Calculamos:

$$I = \frac{\pi}{64} (0.025^4 - 0.02^4)$$

$$I = 11.3 \times 10^{-9} \text{ m}^4$$

- Momento flector máximo (M): si la fuerza se aplica uniformemente a lo largo del tubo, el momento flector máximo se calcula con:

$$M_{max} = \frac{F \times L}{4} \quad Ec. (28)$$

Donde (F = 1225 N y L = 0.198 m).

Calculamos:

$$M_{max} = \frac{1225 \text{ N} \times 0.198 \text{ m}}{4}$$

$$M_{max} = 60.64 \text{ N.m}$$

- Tensión máxima por flexión (σ):

$$\sigma_{flexion} = \frac{M_{max} \times C}{I} \quad Ec. (29)$$

Donde (C = 0.025/2 = 0.012 m) del centro del tubo al diámetro exterior

Calculamos:

$$\sigma_{flexion} = \frac{60.64 \text{ N.m} \times 0.0125 \text{ m}}{11.3 \times 10^{-9} \text{ m}^4}$$

$$\sigma_{flexion} = 67.08 \text{ MPa}$$

Comparación con el límite elástico:

$$\sigma_{flexion} = 67.08 \text{ MPa} \leq 290 \text{ MPa}$$

El material seleccionado es el acero ASTM-A500, con las medidas de diámetro exterior 0.025 m y diámetro interior de 0.02 m para el soporte de actuador inferior y superior. La tensión máxima de 67,08 MPa se encuentra por debajo del límite elástico del acero ASTM A500, lo

que indica que el tubo es capaz de soportar la fuerza aplicada de 1,225 N sin experimentar deformación plástica permanente.

Posteriormente, en la imagen 60 se puede observar el análisis de tensión por Von Mises con una fuerza de 3000 N que es la fuerza del actuador lineal eléctrico en funcionamiento. La simulación se realizó con una malla fina con material de acero ASTM-A500 que tiene un límite elástico de 325 MPa y el esfuerzo máximo de diseño es de 113.265 MPa el cual se encuentra en las zonas rojas y esto se encuentra por debajo del límite elástico del material indicándonos que el soporte del actuador no se va romper y es apto para la estructura.

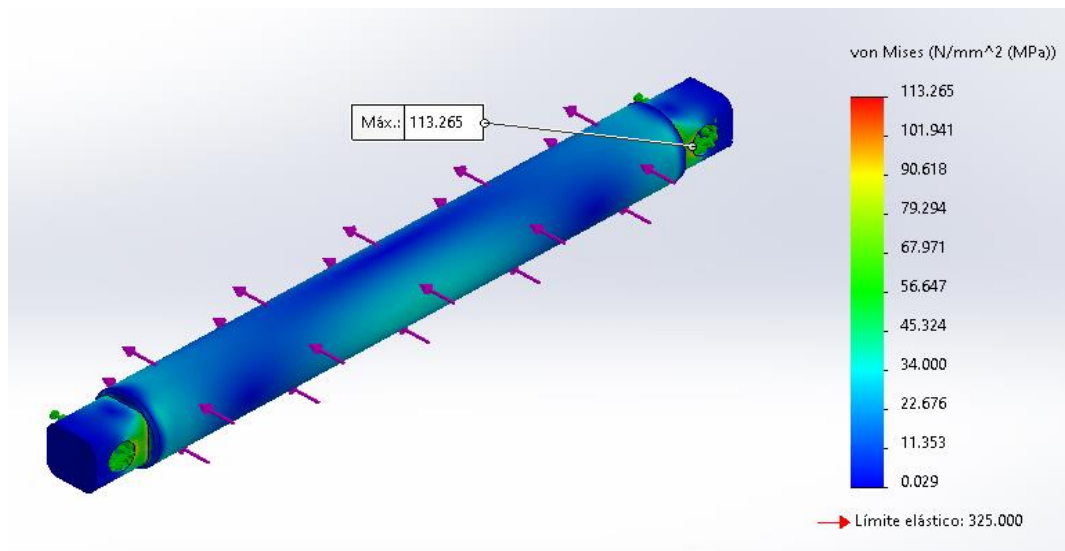


Figura 60. Análisis de tensión

En la imagen 61 se presenta el análisis de simulación en Solid Word que se realizó para evaluar la integridad del componente bajo cargas de trabajo máximas. Obteniendo el factor de seguridad mínimo de 2.9 siendo mayor al factor de seguridad mínimo de 2, el cual se comprueba con la siguiente fórmula:

$$F.S = \frac{\text{Limite elastico}}{\text{Esfuerzo maximo de diseño}}$$

$$F.S = \frac{325 \text{ MPa}}{113.265} = 2.9$$

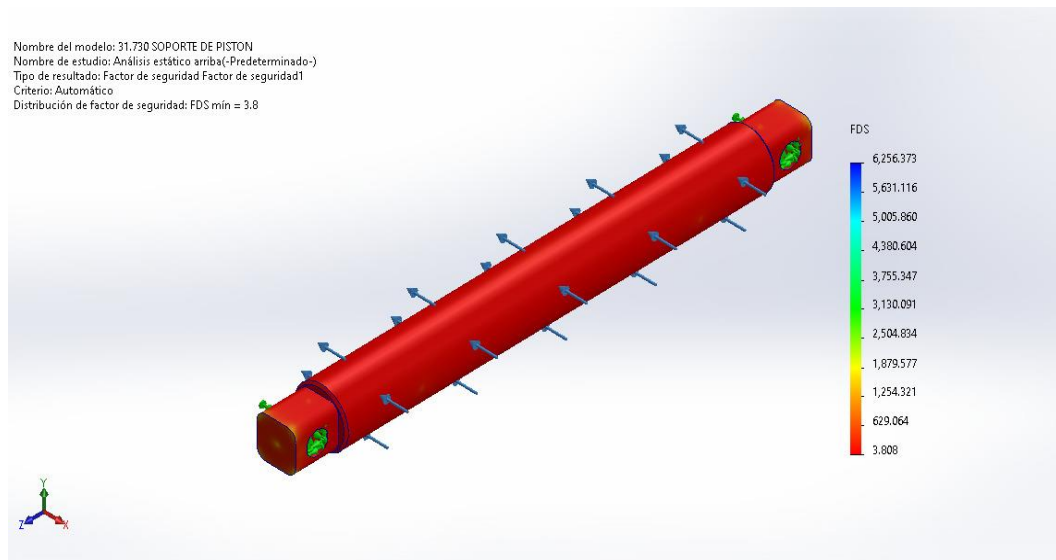


Figura 61. Factor de seguridad

Asimismo, se simuló el soporte superior del actuador (Figura 62) mediante un análisis de tensiones según Von Mises, considerando una fuerza de 3,000 N, correspondiente a la acción del actuador lineal eléctrico en operación. La simulación se realizó con una malla fina, utilizando acero ASTM A500 con un límite elástico de 325 MPa. El esfuerzo máximo de diseño alcanzó 110,073 MPa en las zonas indicadas en rojo, sin superar el límite elástico, lo que permite concluir que el soporte no sufrirá falla y es adecuado para integrarse en la estructura.

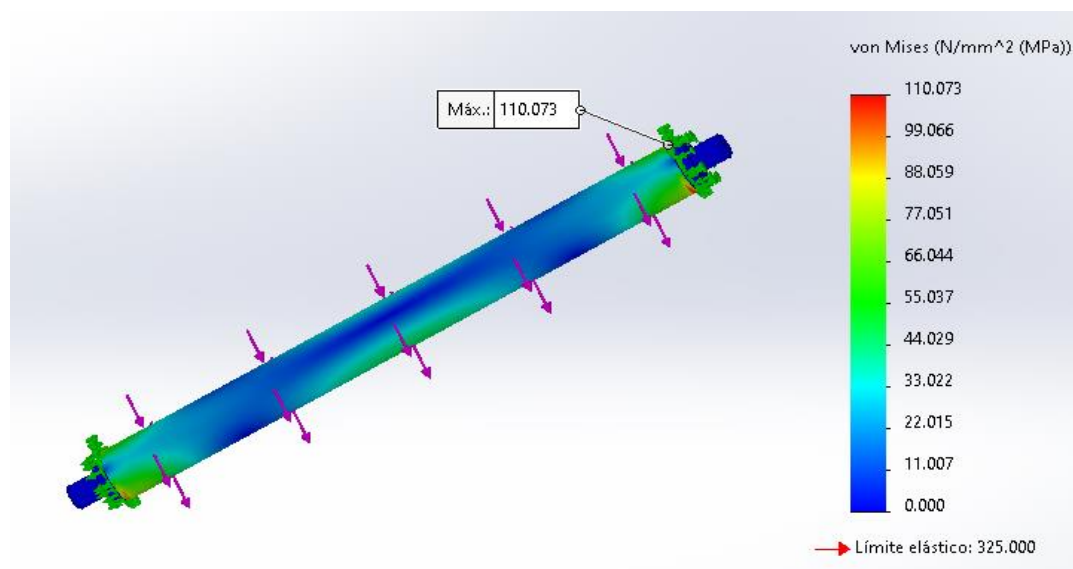


Figura 62. Análisis de tensión

En la figura 63 se presenta el análisis de simulación en Solid Word que se realizó para evaluar la integridad del componente bajo cargas de trabajo máximas. El factor de seguridad mínimo es de 2.9 el cual es mayor a 1, lo que nos indica que es seguro, para ello se comprueba con la siguiente fórmula:

$$F.S = \frac{\text{Limite elastico}}{\text{Esfuerzo maximo de diseño}}$$

$$F.S = \frac{325 \text{ MPa}}{110.073} = 2.9$$

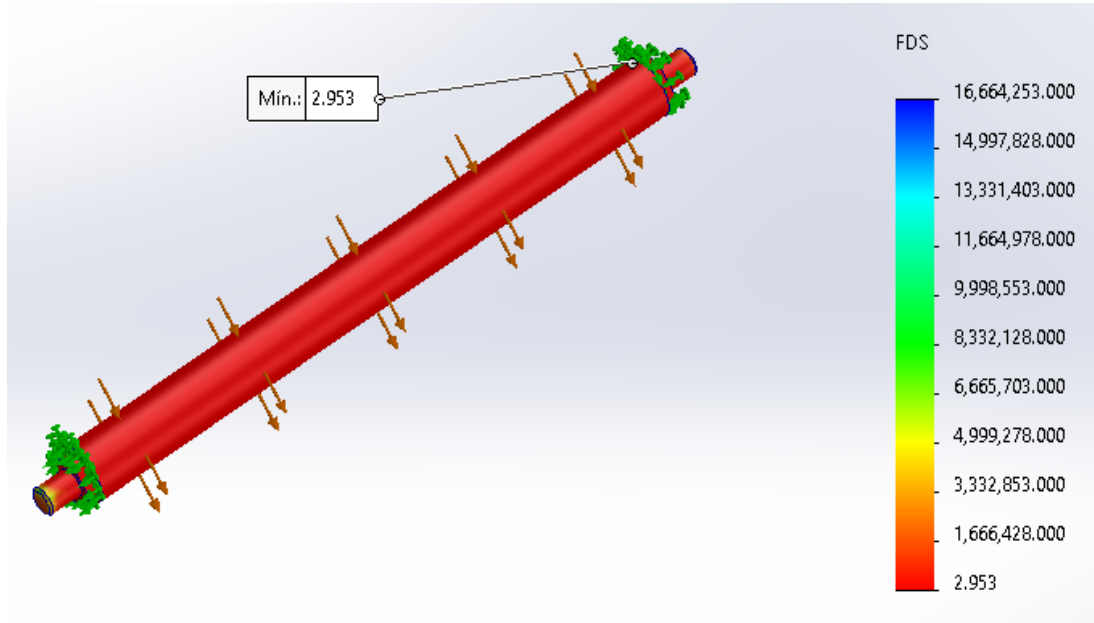


Figura 63. Factor de seguridad

4.2.2. Medida y selección de los perfiles para la estructura de la silla de ruedas

Las longitudes para los tubos de aluminio 6063-T5 son de 30 x 26 y 38 x 36.60, con espesores de 4 y 1.40 respectivamente. Estas medidas se encuentran en la (tabla 25), y las propiedades mecánicas están detalladas en la (tabla 26).

Tabla 25. Peso, dimensión y radio de curvatura de tubo

NPS(DN)	Diámetro Exterior (mm)	Espesor Nominal (mm)	Peso nominal por longitud kg/m	Radio de curvatura mínimo (mm)
30x26	30mm	26 mm	1.19	26.86 mm
38x36.60	38mm	36.60mm	0.387	28.86 mm

Tabla 26. Propiedades mecánicas

	Resistencia TRACCION MPa	Límite de elasticidad MPa
Grado A	240	180

4.2.3. Cálculo del centro de gravedad o cálculos dinámicos

El cálculo del centro de gravedad determina el punto donde se concentra el peso del usuario, lo que permite evaluar la estabilidad de la silla de ruedas. Asimismo, este cálculo es fundamental para analizar la estabilidad de la silla en posición bípeda.

a) Cálculo del centro de gravedad de una persona sentada en posición correcta

Se tomarán las coordenadas “X”, “Y”, mientras que para el eje “Z” el peso del cuerpo se distribuirá uniformemente sobre la superficie. Los pesos de los diversos fragmentos del cuerpo para un peso máximo de 100 kg podrán ser observados en la siguiente tabla.

Tabla 27. Porcentaje y peso en kilogramos de cada miembro del cuerpo

Parte del cuerpo	Peso en porcentaje	Peso en kilogramos
Cabeza	7%	7 kg
Tronco	44%	44 kg
Ambas piernas	33%	33 kg
Ambos pies	3.5%	3.5 Kg
Ambos brazos	11%	11 kg
Ambas manos	1.5%	1.5 Kg

En la siguiente figura se visualiza las distancias en “X”; “Y” de los centros de gravedad de los fragmentos del cuerpo en relación al punto 0.

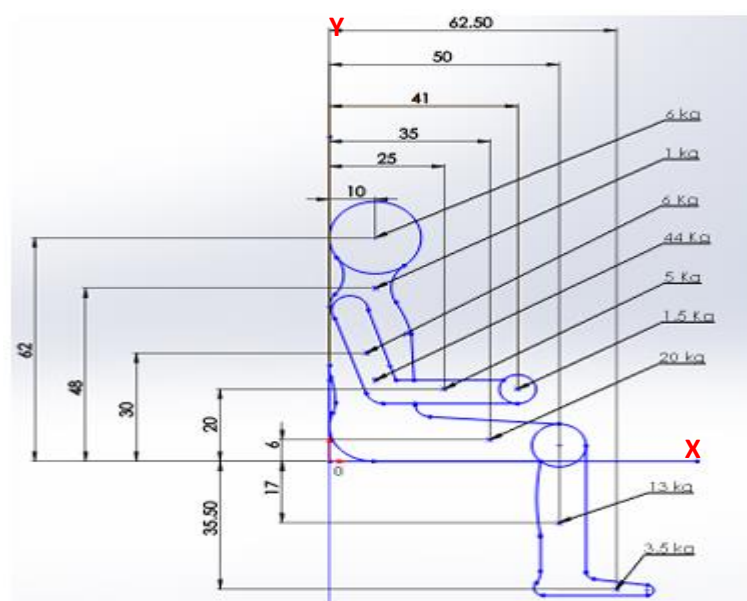


Figura 64. Distancia en el centro de gravedad de los planos “X”, “Y”

Para adquirir las coordenadas en los ejes “X”,” Y” se utilizará las ecuaciones siguientes respectivamente para obtener los resultados siguientes:

Cálculo del centro de gravedad en el eje X (CDGX):

$$CDGX = \frac{\sum Xi * Wi}{Wr} \quad Ec. (30)$$

$$x = \frac{(10)(6) + (10)(1) + (10)(44) + (8)(6) + (25)(5) + (35)(20) + (41)(1.5) + (50)(13) + (62.5)(3)}{100}$$

$$x = 14.697 \text{ cm}$$

Cálculo del centro de gravedad en el eje Y (CDGY):

$$CDGY = \frac{\sum Yi * Wi}{Wr} \quad Ec. (31)$$

$$y = \frac{(62)(6) + (48)(1) + (30)(6) + (22.4)(44) + (5)(20) + (6)(20) + (17)(13) + (35.5)(3.5)}{100}$$

$$y = 22.955 \text{ cm}$$

Por ende, las coordenadas del centro de gravedad de un individuo sentado en posición correcta en el eje “X” es 14.697 cm y en el eje “Y” 22.955 cm.

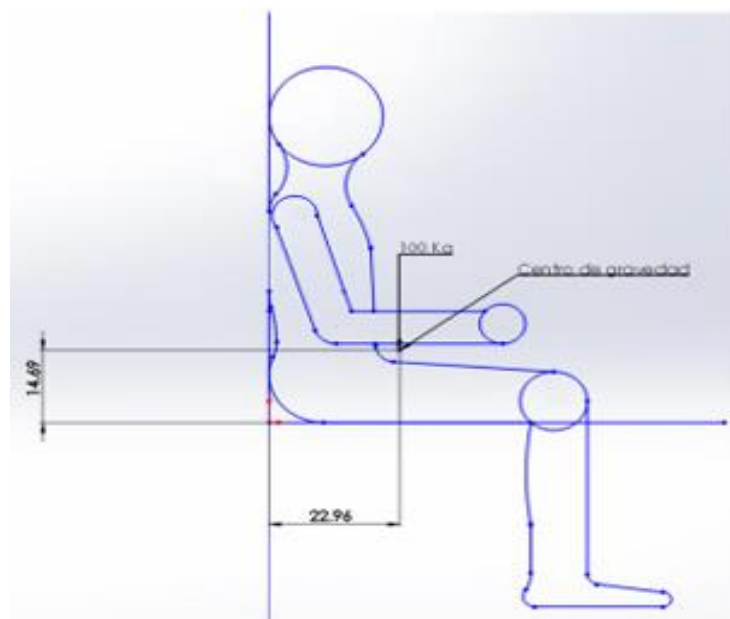


Figura 65. Centro de gravedad en postura sentada

b) Cálculo del centro de gravedad en posición sentada del usuario en la silla de ruedas

Se está empleando el método del peso segmental, utilizando como referencia un usuario sentado para un ángulo del respaldo de 14° , como se puede observar en la figura 66. Se presenta los resultados del centro de gravedad en relación con el punto de referencia que es centro de las ruedas de 24 pulgadas, calculados por cada parte del cuerpo en base a lo referido en la (tabla 28).

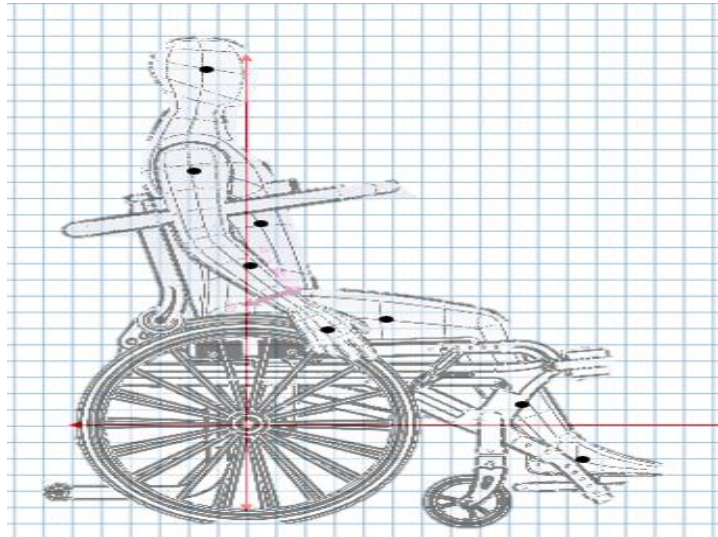


Figura 66. Centro de gravedad en postura sentado del usuario en correlación al eje de la rueda posterior

En la tabla 28 se muestra los centros de gravedad de cada segmentó de una figura humana sentado en una silla de ruedas bípeda con relación al eje de la rueda posterior, mediante el programa Solid Word se obtienen las distancias para el eje “X” y “Y” o coordenadas de ambos ejes que se encuentran en la columna dos y cuatro, multiplicado por el porciento de cada peso de los segmentos corporales obteniendo los resultados en la tercera y quinta columna luego sumar los productos para obtener tanto el valor del centro de gravedad en el plano horizontal y vertical.

Tabla 28. Centro de gravedad en posición sentada en la silla de ruedas

Segmento del Cuerpo	% Peso Segmental	Valor de la Coordenada X	Productos (X) (%Peso)	Valor de la Coordenada Y	Productos (Y) (%Peso)
Cabeza y cuello	0.079	3.73	0.27	996.94	78.5
Tronco	0.511	62.22	31.79	493.36	252.11
Brazo superior derecho	0.027	1.71	0.05	654.02	17.65
Brazo inferior Derecho	0.016	138.23	2.2	537.06	8.6
Mano derecha	0.006	335.62	2.01	545.34	3.3
Brazo superior izquierdo	0.027	1.71	0.05	654.02	17.6
Brazo inferior izquierdo	0.016	138.23	2.2	537.06	8.6
Mono izquierda	0.006	335.62	2.01	545.34	3.3
Muslo derecho	0.097	224.82	21.8	263.03	25.5
Pierna inferior derecha	0.045	498.37	22.4	116.76	5.25
Pie derecho	0.014	-617.72	-8.6	-101.83	-1.42
Muslo izquierdo	0.097	229.82	21.8	263.03	25.5
Pierna inferior izquierda	0.045	498.37	22.4	116.76	5.25
Pie izquierdo	0.014	-617.72	-8.6	-101.83	-1.42
TOTAL	1		111.78		451.16

Para la posición sentada con una inclinación del asiento de 4° y un ángulo de respaldo de 14°, de la tabla 28, se establece que el centro de gravedad medido desde el centro del eje de la rueda grande a los centros de gravedad de cada segmento del cuerpo se localiza para el eje “Y” 451.16 mm (vertical) y en el eje “X” 111.78 mm (horizontal).

Se confirma el centro de gravedad a través del programa Solid Word en la figura 67 obteniendo la distancia en el eje X con la coordenada de 117.97 mm y en el eje Y con la coordenada de 323.35mm.

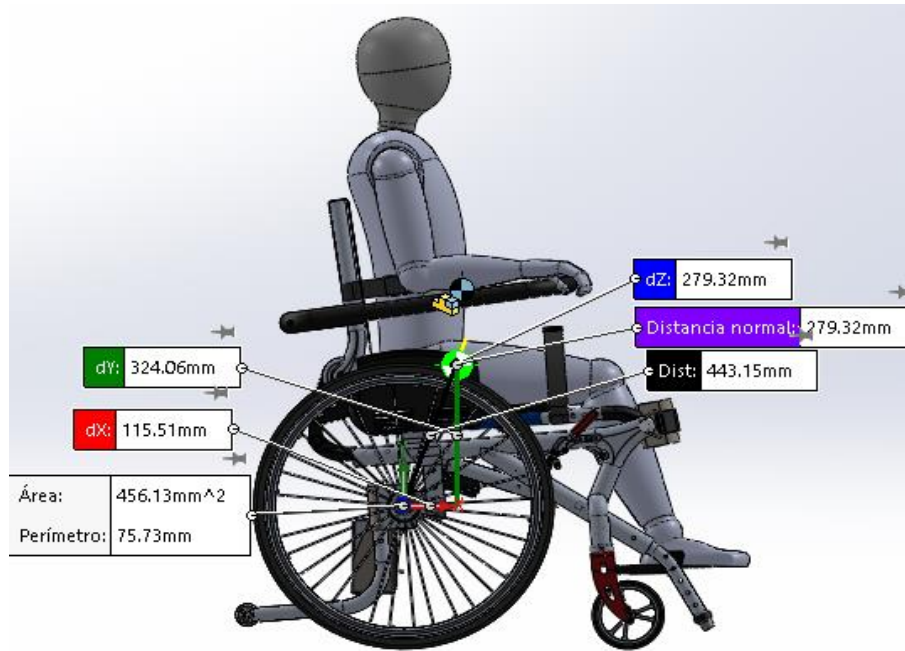


Figura 67. Centro de gravedad en posición sentada

- Cálculo de estabilidad estática (ISO 7176-8) o ángulo crítico de vuelco.

$$\tan(\theta_{cr}) = \frac{d}{h}$$

d: distancia horizontal desde la rueda trasera hasta el centro de masa(m)

h: altura del centro de masa al suelo(m)

$$\tan(\theta_{cr}) = \frac{444.09 \text{ mm}}{640.18 \text{ mm}} = \frac{0.44 \text{ m}}{0.64 \text{ m}}$$

$$\theta_{cr} = \tan^{-1}(0.69)$$

$$\theta_{cr} = 34^{\circ}$$

El ángulo crítico de vuelco según la norma ISO 7176-8 es mayor a 10° cuando el usuario está en posición de sentado, el resultado obtenido a través del cálculo de estabilidad estática es de 34° que es mayor establecido por la norma.

c) Cálculo del centro de gravedad en posición bípeda del usuario

Para calcular el centro de gravedad de un individuo en postura de pie o bípeda, se utilizará un ángulo 14° de inclinación del asiento con respecto a la vertical. Además, el centro de gravedad se determina en relación al eje de la rueda posterior, que sirve como punto de referencia.

En la tabla 29 se muestra los centros de gravedad de cada fragmento de una figura humana en posición bípeda en una silla de ruedas bípeda con relación al eje de la rueda posterior, mediante el programa Solid Word se obtienen las distancias para el eje “X” y “Y” o coordenadas de ambos ejes que se encuentran en la columna dos y cuatro, multiplicado por el

por ciento de cada peso de los segmentos corporales obteniendo los resultados en la tercera y quinta columna luego sumar los productos para obtener tanto el valor del centro de gravedad en el plano horizontal y vertical.

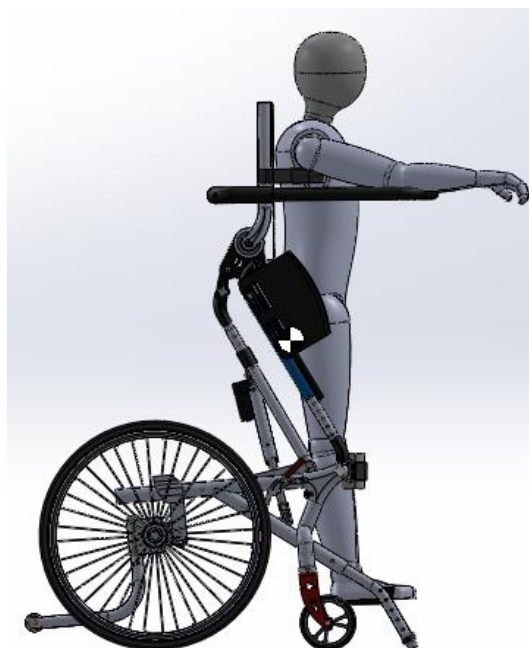


Figura 68. Centro de gravedad en postura vertical del usuario

Tabla 29. Centro de gravedad en postura vertical

Segmento del cuerpo	% Peso Segmental	Valor de la Coordenada X	Productos (X)(%peso)	Valor de la Coordenada Y	Productos(Y) (%Peso)
Cabeza y cuello	0.079	486.56	38.4	1315.14	103.9
Tronco	0.511	467.64	238.6	881.9	450.7
Brazo superior derecho	0.027	538.74	14.5	1067.06	28.8
Brazo inferior Derecho	0.016	789.81	12.6	1018.94	16.3
Mano derecha	0.006	1031.02	6.2	1010.59	6.1
Brazo superior izquierdo	0.027	538.74	14.5	1067.06	28.8
Brazo inferior izquierdo	0.016	789.81	12.6	1018.94	16.3
Mono izquierda	0.006	1031.02	6.2	1010.59	6.1
Muslo derecho	0.097	477.75	46.3	458.77	44.5
Pierna inferior derecha	0.045	508.41	22.9	74.42	3.3
Pie derecho	0.014	585.98	8.2	158.74	-2.2
Muslo izquierdo	0.097	477.75	46.3	458.77	44.5
Pierna inferior izquierda	0.045	508.41	22.9	74.42	3.3
Pie izquierdo	0.014	585.98	8.2	158.74	-2.2
TOTAL	1		498.4		752.6

Para la posición bípeda a 85°, con una inclinación del asiento de 4° y un ángulo de respaldo de 14°, de la tabla 29, se establece que el centro de gravedad se localiza alrededor de a 752.6

mm (vertical o eje Y) y 498.4 mm (horizontal o eje X), calculado desde el punto medio del eje en la rueda grande.

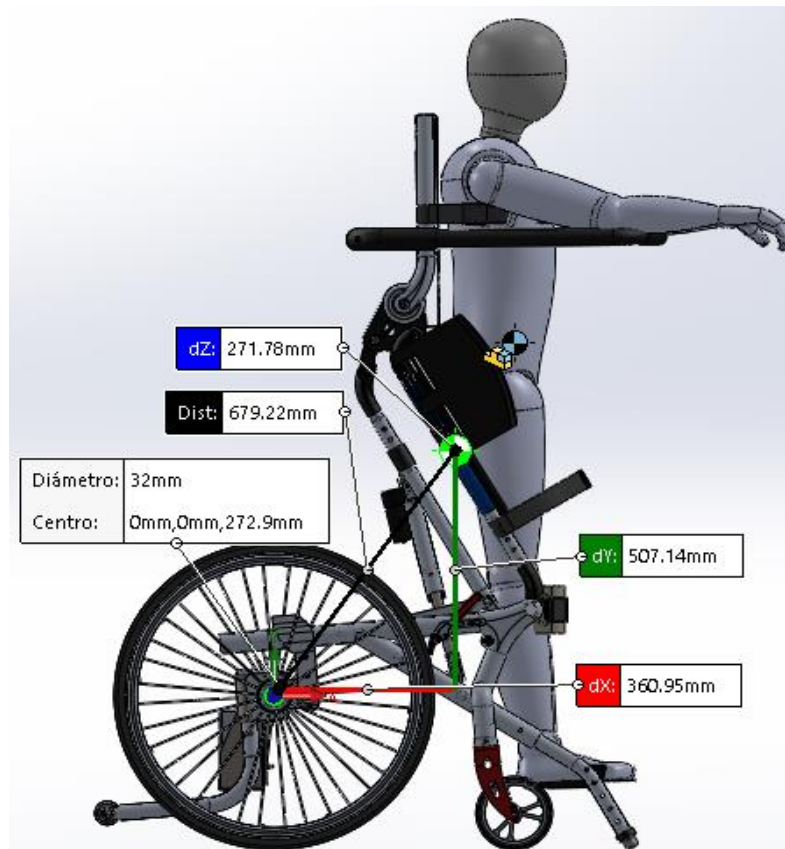


Figura 69. Centro de gravedad a través del Solid Word en posición bípeda

En la figura 69, se confirma el centro de gravedad a través del programa Solid Word, obteniendo la distancia en el eje X con la coordenada de 360.95 mm y en el eje Y con la coordenada de 507.14 mm.

En relación a los cálculos realizados, se concluye que el centro de gravedad tanto en posición sentada como bípeda cae dentro de la base de apoyo de la silla de ruedas bípeda lo cual evitara caídas del usuario y/o volcaduras cuando se encuentra en funcionamiento.

d) Adaptación del modelo biomecánico de bipedestación a usuarios con paraplejia.

En personas con paraplejia, las funciones motoras voluntarias de los miembros inferiores están parcial o completamente anuladas debido a una lesión medular, lo que impide la generación activa de momentos articulares y fuerza muscular. No obstante, el cuerpo humano conserva su estructura segmentaria, masa y comportamiento mecánico pasivo, por lo cual sigue siendo válido analizarlo como un sistema biomecánico, siempre que se reconozca que las fuerzas activas deben ser generadas externamente.

Para diseñar una silla de ruedas con capacidad de bipedestación destinada a usuarios con paraplejia, es necesario adaptar el modelo biomecánico convencional del movimiento de levantarse (sit-to-stand), considerando que:

- Los momentos articulares en la rodilla, cadera y tobillo deben ser generados por actuadores o mecanismos que suplen la función de los músculos.
- El centro de masa (COM) del usuario se comporta pasivamente y debe ser desplazado mediante el sistema estructural.
- El equilibrio postural y la estabilización del cuerpo requieren elementos adicionales como cinturones, barras laterales, frenos automáticos o apoyos torácicos, debido a la falta de control neuromuscular voluntario.

En este sentido, se mantiene la estructura matemática del análisis biomecánico (dinámica inversa, momentos, potencia, trayectorias del COM), pero los valores calculados son asumidos por componentes mecánicos. De esta forma, se garantiza una transición segura de la posición sentada a la posición bípeda, optimizando la funcionalidad sin exigir esfuerzo físico directo del usuario.

Análisis estático (equilibrio en bipedestación). - Cálculo de carga en miembros inferiores en piernas y pies.

$$F_{\text{miembros inferiores}} = 0.5 \times f_{\text{total}}$$

$$F_{\text{miembros inferiores}} = 0.5 \times 981 \text{ N}$$

$$F_{\text{miembros inferiores}} = 490.5 \text{ N}$$

- 60% de la carga recae en los pies:

$$F_{\text{pies}} = 0.60 \times 490.5 \text{ N}$$

$$F_{\text{pies}} = 294.3 \text{ N}$$

- 40% carga sobre las piernas:

$$F_{\text{piernas}} = 0.40 \times 490.5 \text{ N}$$

$$F_{\text{pies}} = 294.3 \text{ N}$$

- 50% del peso total se distribuye en la silla de ruedas:

$$F_{\text{silla}} = 0.50 \times 981 \text{ N}$$

$$F_{silla} = 490.5 \text{ N}$$

- Cálculo torque debido al centro de masa:

$$H_{\text{centro de masa}} = 981 \text{ N} \times 0.4 \text{ m} = 392.4 \text{ Nm}$$

$$H_{ruedas} = 245.25 \text{ N} \times 0.6 \text{ m} = 147.15 \text{ Nm}$$

- Rigidez en una barra:

$$K = \frac{3EI}{L^3}$$

$$I = \frac{\pi d^4}{64}$$

$$F_{pies}(10^\circ) = 490.5 \text{ N} \times \cos(10^\circ)$$

$$F_{pies}(10^\circ) = 490.5 \text{ N} \times 0.9848$$

$$F_{pies}(10^\circ) = 483.3 \text{ N}$$

$$F_{piernas}(10^\circ) = 490.5 \text{ N} \times \sin(10^\circ)$$

$$F_{piernas}(10^\circ) = 490.5 \text{ N} \times 0.1736$$

$$F_{piernas}(10^\circ) = 85.1 \text{ N}$$

- Cálculo de la tensión en la barra de respaldo:

$$T = \frac{F_{total}}{A}$$

$$f_{desaceleracion} = m \times a$$

Donde:

$$a = 2 \text{ m/s}$$

$$m = 100 \text{ kg}$$

$$f_{desaceleracion} = 100 \text{ kg} \times 2 \text{ m/s}$$

$$f_{desaceleracion} = 200 \text{ N}$$

- Presión en las ruedas:

$$P_{rueda} = \frac{F_{rueda}}{A_{rueda}}$$

$$P_{rueda} = \frac{245.25 \text{ N}}{0.01 \text{ m}^2} = 24.525 \text{ Pa}$$

$$E = 2.1 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$$

$$\text{Barra} = 2 \text{ cm}$$

$$\text{Longitud} = 0.5 \text{ m}$$

$$d = 0.02 \text{ m}$$

$$\text{Momento de inercia: } I = \frac{\pi(0.02)^4}{64} = 3.93 \times 10^{-6} m^4$$

$$\text{Rigidez axial: } K = \frac{3 \times (2.1 \times 10^{11}) \times 3.93 \times 10^{-6}}{0.5^3} = 2.22 \times 10^4 N/m$$

Análisis dinámico del momento de inercia de la rueda:

$$I_{\text{rueda}} = \frac{1}{2} \times 1 \text{ kg} \times 0.3 \text{ m}^2 = 0.045 \text{ Kg/m}^2$$

El valor obtenido del momento de inercia en una rueda $I = 0.045 \text{ Kg/m}^2$, equilibra adecuadamente la necesidad de estabilidad rotacional y capacidad de respuesta.

e) Activación de frenos:

Cuando se utilice la silla de ruedas en situaciones donde es crucial una mayor estabilidad, asegúrate de activar los frenos. Esto es especialmente relevante al ponerte de pie, al transferirte a la silla de ruedas de otro asiento o viceversa. Por razones de seguridad, es importante recordar que, incluso si la silla de ruedas se encuentra bien bloqueada, aún puede deslizarse lateralmente. Además, un desgaste significativo de las bandas de rodadura puede afectar negativamente la eficacia del frenado. Después de cruzar un charco, ten en cuenta que los neumáticos mojados reducen la capacidad de frenado.

- Cálculo de frenos según ISO 7176-3.- Para ello se usa una inclinación de 12% o 7° con el objetivo que la silla debe mantenerse estacionaria en pendiente con los frenos aplicados, calculamos el torque (par de frenado).

$$T = r \times F_{\text{resistencia}}$$

T= par de frenado efectivo (Nm)

r = radio efectivo de la rueda (m)

$F_{\text{resistencia}} = W \cdot \sin(\theta)$ = componente del peso que actúa por la pendiente

W= peso total de la silla con ocupante (N) = 135 kg

θ = ángulo de inclinación de la pendiente

Peso total:

$$W = m \cdot g = 135 \cdot 9.81 = 1324.35 \text{ N}$$

Componente de la fuerza por pendiente:

$$F_{\text{resistencia}} = 1324.35 \text{ N} \cdot \sin(7^\circ) = 161.5 \text{ N}$$

Par de frenado requerido en pendiente de ambas ruedas posteriores:

$$T = 0.33 \text{ m} \times 161.5 \text{ N} = 53.3 \text{ Nm}$$

Este resultado obtenido de 53.3 Nm de par de frenado representa la fuerza rotacional mínima que el sistema debe ser capaz de ejercer para evitar el deslizamiento para adelante o hacia atrás en dicha pendiente.

- Par de freno disponible del freno de palanca universal. – Este genera fricción directamente contra el neumático, mediante una fuerza manual amplificada por un brazo de palanca.

Fórmula general de la palanca:

$$F_{salida} = \frac{F_{entrada} \times d_{entrada}}{d_{salida}}$$

Donde:

- $F_{entrada}$: Fuerza aplicada manualmente (usuario)(N)
- $d_{entrada}$: distancia desde el punto de apoyo (fulcro) hasta donde se aplica la fuerza (m).
- d_{salida} : distancia desde el fulcro hasta el freno (m).
- F_{salida} : Fuerza amplificada por la palanca (N).

$$F_{salida} = \frac{100 \text{ N} \times 0.16 \text{ m}}{0.04 \text{ m}} = 400 \text{ N}$$

Calculamos el par de freno:

$$\begin{aligned}\tau_{freno} &= \mu \times F_{aplicada} \times R \\ \tau_{freno} &= 0.5 \times 500 \text{ N} \times 0.33 \text{ m} = 82.5 \text{ Nm}\end{aligned}$$

En conclusión, el freno de palanca si es suficiente para detener la silla de ruedas bípeda en superficies planas y superficies con una inclinación de 7° cumpliendo con el valor exigido por la norma ISO 7176 con un factor de seguridad de 1.6 esto en posición sentada.

4.2.4. Cálculo de la propulsión y rozamiento a rodar

Al diseñar una silla de ruedas, es esencial considerar la distribución del peso para lograr una buena propulsión. La partición de masa es 20/80 (delantera/trasera), lo que ayudará a que la parte delantera sea más ligera y mejore la maniobrabilidad. Esta distribución varia cuando el usuario pasa de la postura sentada a la posición bípeda, momento en que los reposapiés bajan al nivel del suelo (como indica la figura 70), siendo dos puntos de apoyo adicionales para la

silla de ruedas volviéndola más estable; asimismo, se cuenta con dos ruedas antivuelco traseras para prevenir la volcadura de la silla de ruedas hacia atrás; como indica la figura 71.

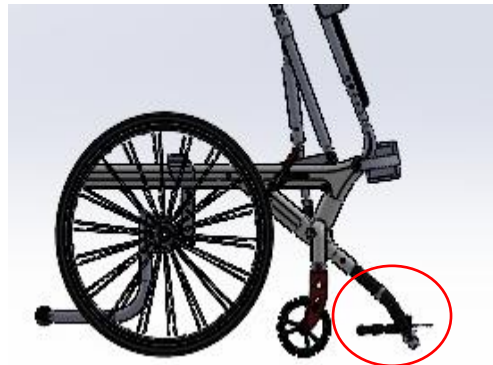


Figura 70. Reposapiés al nivel del suelo, en posición bípeda



Figura 71. Ruedas antivuelco traseras

Es esencial considerar el tipo de superficie sobre la que se desplazará la silla de ruedas, ya que esto condiciona el diseño de las ruedas. Si se asume un desplazamiento sobre suelo firme, las ruedas pueden ser de tipo neumático, las cuales ofrecen una mejor amortiguación, buen agarre en diversas superficies y menor peso. Sin embargo, son susceptibles a pinchazos y requieren un mantenimiento adecuado. Por otro lado, las ruedas macizas tienen menor fricción al rodar y no necesitan mantenimiento, siendo ideal para el diseño realizado así prolongar el mantenimiento de la silla de ruedas.

Es crucial tomar en cuenta el espacio entre ejes de las ruedas: una distancia mayor proporciona estabilidad y facilita la conducción, aunque pierde suavidad, lo opuesto ocurre con una distancia más corta. Por eso, se aproximará al espacio estándar de 50 cm de la silla de ruedas.

- Referencias para el ángulo y tamaño de las ruedas:
 - a) Ruedas posteriores. - Se han elegido ruedas macizas con un diámetro recomendado de 24 pulgadas (600 mm). Este tamaño facilita su reemplazo en caso de mantenimiento; tanto el aro como los radios serán de aluminio, un material ligero que mejora la

absorción de las irregularidades del suelo. Asimismo, los radios estarán dispuestos de manera cruzada para fortalecer la estructura. El aro de propulsión también será de aluminio, lo que mejorará el agarre manual. Para montar el aro en la llanta, se utilizarán proyecciones, como se indica en la (figura 72).

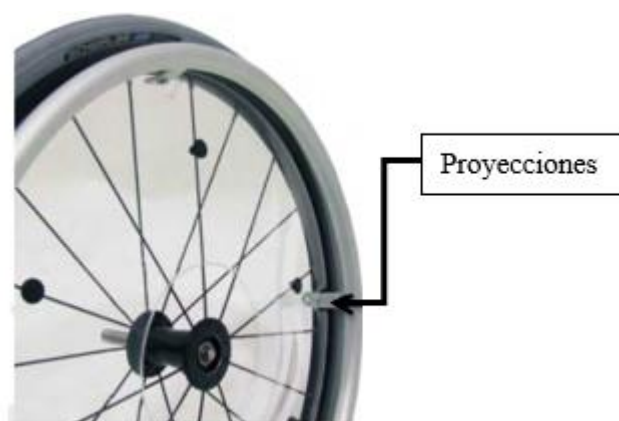


Figura 72. Aros de propulsión con proyecciones

- b) Ruedas delanteras. - Para usos en exteriores e interiores, se utilizarán ruedas de 6 pulgadas (150 mm). Se recomienda utilizar llantas macizas debido a su menor rozamiento y la falta de necesidad de mantenimiento. El aro de la llanta será de plástico, como se observa en la (figura 73).



Figura 73. Ruedas delanteras

- c) Ángulos de las ruedas. - Para lograr una propulsión óptima de la silla de ruedas, se recomienda, de acuerdo con lo indicado en el Capítulo 1, mantener un ángulo de 90° respecto a la horizontal tanto en la rueda trasera como en la delantera.

4.2.5. Cálculo de las fuerzas que actúan en cada rueda

Se considera diversos factores; como el peso del usuario, la distribución del peso y la fuerza de fricción y la normal.

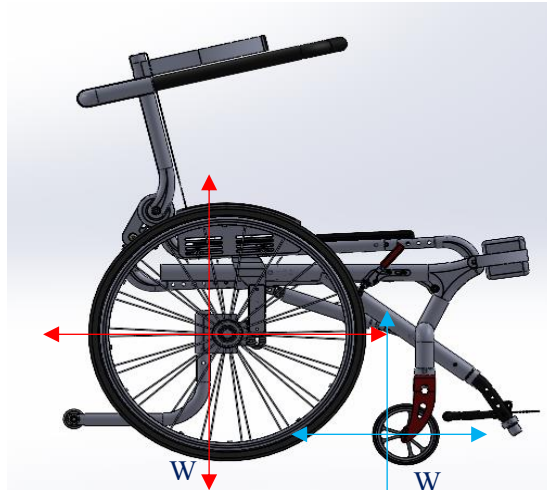


Figura 74. Cálculo de las fuerzas de las ruedas delanteras y traseras sin el peso del usuario

En la figura 74 se observa la fuerza del peso W ubicados tanto en la ruedas posteriores y delanteros, se procede a calcular las fuerzas que actúan en cada rueda sin el peso del individuo, solo 30 kg el peso completo de la silla de ruedas.

- **Fuerza total en las ruedas traseras y delanteras sin el peso del usuario:**

$$W = m \cdot g$$

$$W = (35 \text{ kg}) (9.81) = 343.35 \text{ N}$$

En este diseño la distribución de peso es de 80% en la parte posterior y 20% en la parte delantera. Esto es importante para la estabilidad y maniobrabilidad de la silla bípeda.

- **Fuerza total en las ruedas traseras sin el peso del usuario:**

$$F_{\text{traseras}} = (0.80) (343.35 \text{ N}) = 274.68 \text{ N}$$

$$F_{\text{rueda trasera}} = 274.68 \text{ N} / 2 = 137.34 \text{ N}$$

Siendo la fuerza que soporta cada rueda posterior sin el peso del usuario de 137.34 N.

- **Fuerza total en las ruedas delanteras sin el peso del usuario:**

$$F_{\text{delanteras}} = (0.20) (343.35 \text{ N}) = 68.67 \text{ N}$$

$$F_{\text{rueda delantera}} = 68.67 \text{ N} / 2 = 34.34 \text{ N}$$

Siendo la fuerza que soporta cada rueda delantera sin el peso del usuario de 34.34 N.

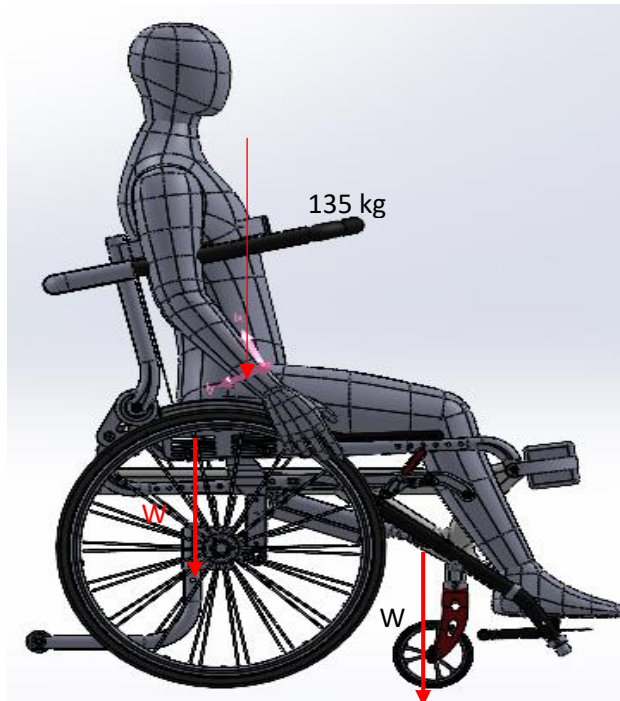


Figura 75. Fuerzas que actúan en cada rueda

En la figura 75 se observa la fuerza del peso W ubicados tanto en la ruedas posteriores y delanteros, luego se procede a calcular las fuerzas que actúan en cada rueda con el peso del individuo, con un peso total de la silla de ruedas incluido el peso máximo del individuo de 135 kg.

- **Fuerza total en las ruedas traseras y delanteras con el peso del usuario:**

$$W = m * g \quad \text{Ec. (32)}$$

$$W = 135 \text{ kg} * 9.81 = 1324.35 \text{ N}$$

En la posición sentado del usuario la repartición de peso es de 80% en las ruedas posteriores y 20% en las ruedas delanteras.

- **Fuerza total en las ruedas traseras con el peso del usuario:**

$$F_{\text{traseras}} = (0.80) (1324.35) = 1059.48 \text{ N}$$

$$F_{\text{rueda trasera}} = 1059.48 \text{ N} / 2 = 529.74 \text{ N}$$

Siendo la fuerza máxima que soporta cada rueda posterior con el peso usuario en la posición sentada de 529.74 N.

- **Fuerza total en las ruedas delanteras con el peso del usuario:**

$$F_{\text{delanteras}} = (0.20) (1324.35) = 264.87 \text{ N}$$

$$F_{\text{rueda delantera}} = 264.87 \text{ N} / 2 = 132.44 \text{ N}$$

Hallándose como la fuerza máxima que aguanta cada rueda delantera con el peso del usuario en posición sentado de 132.44 N.

4.2.6. Cálculos para la selección de rodamiento de las ruedas de 24 pulgadas

Carga estática equivalente del rodamiento: se utilizará la siguiente ecuación para hallar la carga estática equivalente del rodamiento:

$$P_0 = X_0 * F_r + Y_0 * F_a \quad \text{Ec. (33)}$$

P0	Carga estática equivalente del rodamiento [kN]
Fr	Carga radial real del rodamiento [kN]
Fa	Carga axial real del rodamiento [kN]
X0	Factor de carga radial del rodamiento
Y0	Factor de carga axial del rodamiento

Datos:

$$X_0 = 0.6 \text{ Obtenido de la ficha tecnica}$$

$$Y_0 = 0.5 \text{ Obtenido de la ficha tecnica}$$

$$F_r = 529.74 \text{ N} = 0.53 \text{ KN}$$

Luego calculamos la carga axial: Esto equivale al torque del perno.

$r = 0.25 \text{ m}$ radio efectivo estándar.

$$F_a = \frac{\text{Momento torsor}}{r} = \frac{60 \text{ Nm}}{0.25 \text{ m}} = 240 \text{ N} = 0.24 \text{ KN}$$

Remplazando en ecuación 27:

$$P_0 = X_0 * F_r + Y_0 * F_a$$

$$P_0 = 0.6 * 0.53 \text{ KN} + 0.5 * 0.24 \text{ KN}$$

$$P_0 = 0.438 \text{ KN} = 437.844 \text{ N}$$

Comparamos la seguridad estática: para ello comparamos la carga estática equivalente (P_0) con la carga estática básica (C_0) del rodamiento.

$$P_0 = 437.844 \text{ N} \leq C_0 = 2120 \text{ N}$$

Concluimos que el rodamiento es el adecuado para soportar las cargas aplicadas.

Posteriormente, hallamos el factor de seguridad:

$$\text{Factor de seguridad} = \frac{C_o}{P_o} = \frac{2120 \text{ N}}{437.844 \text{ N}} = 4.8$$

El factor de seguridad de 4.8 indica que el rodamiento tiene un margen adecuado para soportar las cargas aplicadas.

Tabla 30. Factor de seguridad

Tipo de Funcionamiento	Rodamientos giratorios						Rodamientos estacionarios	
	Requerimientos relativos al funcionamiento silencioso							
	No importante		Normal		Alto			
	Rod. de bolas	Rod. de rodillos	Rod. de bolas	Rod. de rodillos	Rod. de bolas	Rod. de rodillos	Rod. de bolas	Rod. de rodillos
Suave sin vibraciones	0.5	1	1	1.5	2	3	0.4	0.8
Normal	0.5	1	1	1.5	2	3.5	0.5	1
Cargas de choque notable	≥ 1.5	≥ 2.5	≥ 1.5	≥ 3	≥ 2	≥ 4	≥ 1	≥ 2

Según la tabla 30, se alcanza un factor de seguridad alto de 4.8, el rodaje seleccionado tiene una carga estática mayor a 0.91 kN, con los datos obtenidos se seleccionó un rodamiento rígido de esferas de acero inoxidable con sellado integral de la marca NSK W61903-2RS1 con carga estática de 2.55 kN que irá montado un rodaje por rueda.

Tabla 31. Rendimiento del rodaje W61903-2RS1

Capacidad de carga dinámica básica	C	3.97 kN
Capacidad de carga estática básica	C0	2.55 kN
Carga límite de fatiga	Pu	0.108 kN
Velocidad límite		14 000 r/min
Factor de carga mínima	kr	0.025
Factor de cálculo	f0	14.8

4.2.7. Cálculos para la selección de rodamientos para las ruedas de dirección o ruedas delanteras

Para las ruedas de dirección de 6 pulgadas se seleccionó el rodaje rígido de esferas de acero inoxidable con sellado integral NSK 619/9-2Z. El rodaje seleccionado debe tener una carga estática mayor a 0.13 kN, por ello irán colocado un rodaje por rueda.

Tabla 32. Rendimiento del rodaje NSK 619/9-2Z

Capacidad de carga dinámica básica	1.95 kN
Capacidad de carga estática básica	0.93 kN
Velocidad de referencia	80 000 r/min
Velocidad límite	50 000 r/min

4.2.8. Análisis por elementos finitos del soporte ranurado

La asimilación se realizó en el programa Solid Word, el componente tiene el objetivo de soportar el peso del asiento y respaldar juntamente con el usuario; también regula el centro de gravedad, el estudio se realizó a través de una malla sólida.

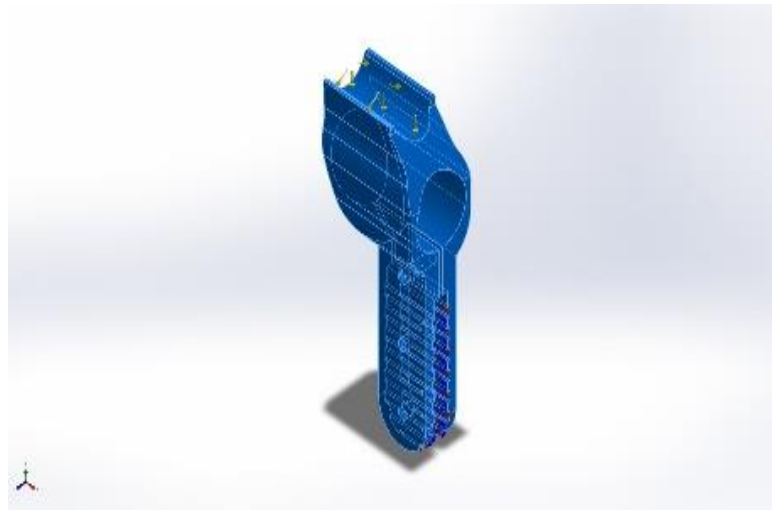
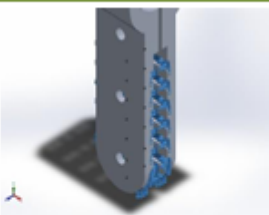


Figura 76. Referencia de modelo

Tabla 33. Propiedades del material

Propiedades	
Nombre:	Aleación 6061
Tipo de modelo	Isotrópico elástico lineal
Criterio de error predeterminado	Desconocido
Eaw	5.5148e+07 N/m ²
Límite de tracción	1.24084e+08N/m ²
Modulo elástico	6.9e+10N/m ²
Coefficiente de Poisson	0.33
Densidad	2.700 kg/m ³
Modulo cortante	2.6e+10 N/m ²
Coefficiente de dilatación térmica	2.4e-05/Kelvin

Tabla 34. Cargas y fijaciones

Tabla 3-4: Cargas y fijaciones				
Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 14 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	-0.0037562	662.152	-0.0485463	662.152
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

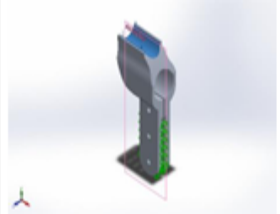
Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s), 1 plano(s) Referencia: Alzado Tipo: Aplicar fuerza Valores: ---; -,662.175; --- N

Tabla 35. *Fuerza resultantes*

Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-0.0037562	662.152	-0.0485463	662.152

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0

Fuerzas de cuerpo libre

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	0.142822	0.0653763	-0.0667139	0.170654

Momentos de cuerpo libre

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	1e-33

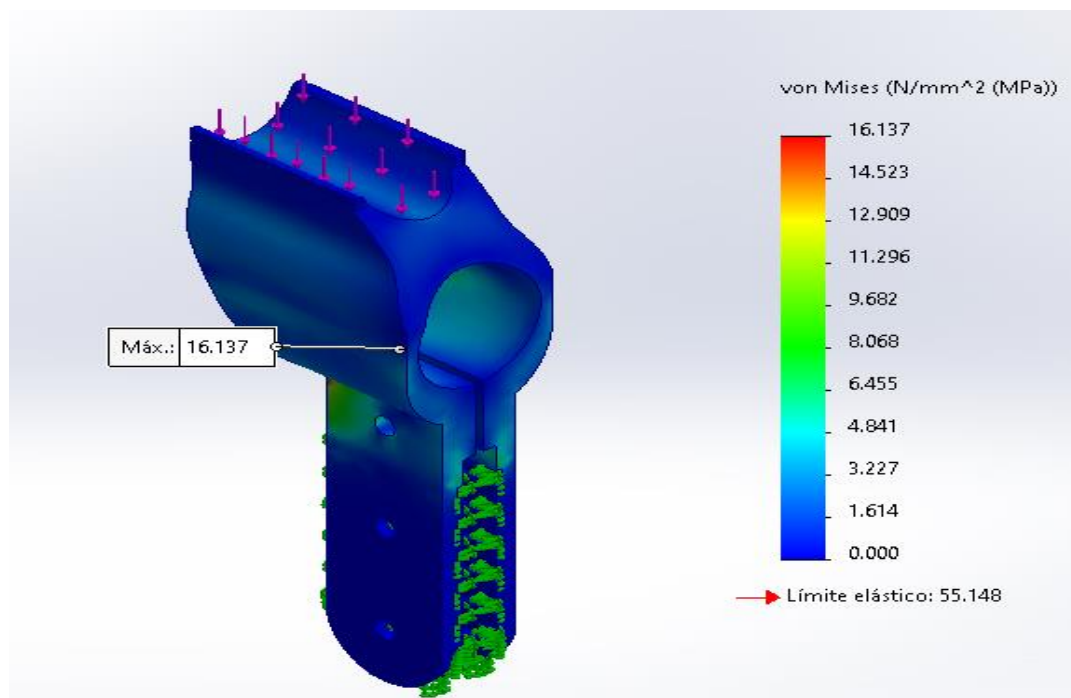


Figura 77. *Tensión de Von Mises*

Posteriormente, en la figura 77, se puede observar el análisis de tensión por Von Mises con una fuerza de 662.175 N que es la fuerza que soporta cada soporte. La simulación se realizó con una malla sólida con un número total de nodos de 23411 el material de aluminio 6061 que tiene un límite elástico de 55.148 MPa y el esfuerzo máximo de diseño es de 16.137 MPa el cual se encuentra en las zonas rojas y esto se halla por debajo del límite elástico del material indicándonos que el soporte ranurado no se va romper y es apto para la estructura.

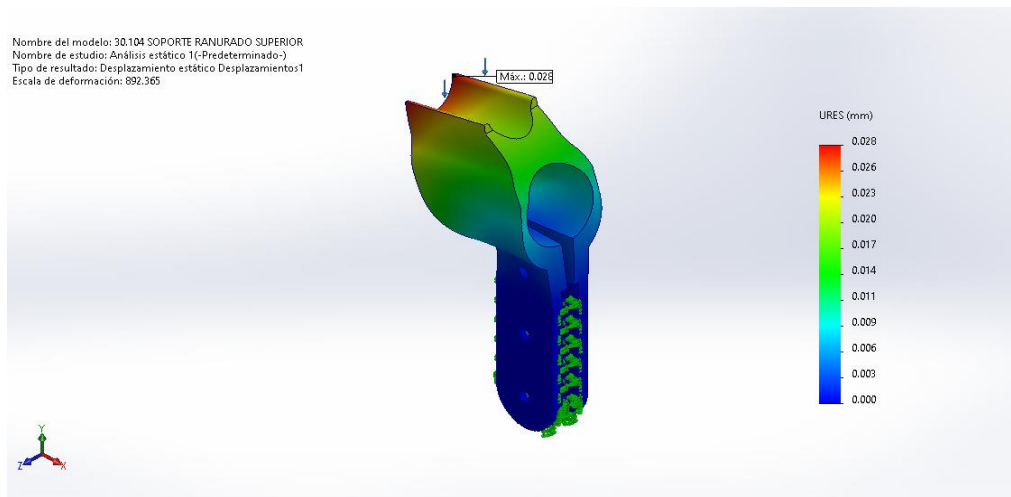


Figura 78. Análisis estático desplazamiento

En la figura 78, el estudio de desplazamiento aplicando una fuerza de 662.175 N, da el resultado un desplazamiento máximo que sufre la pieza bajo las cargas aplicadas de 0.028 mm, el cual es una deformación muy pequeña apenas 28 micrómetros esto nos indica que la pieza es rígida.

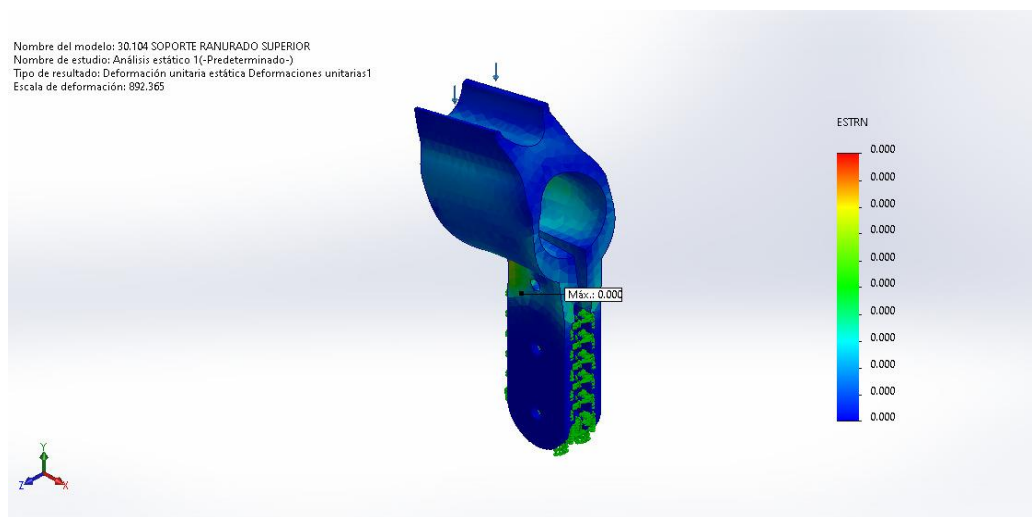


Figura 79. Análisis de deformación unitaria equivalente

En el estudio de deformación unitaria equivalente se aplicó una fuerza de 662.175 N, nos da como resultado una deformación unitaria máximo de 0.00, indica que representa la relación entre la longitud y deformación original del material lo cual significa que, por cada metro de material, la pieza no se deforma.

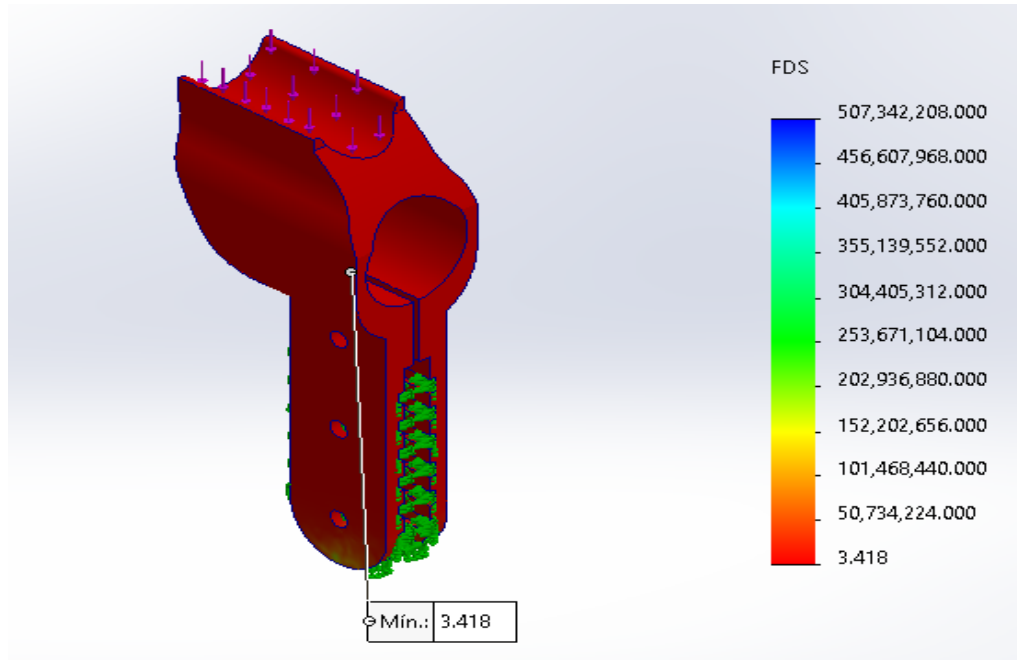


Figura 80. Factor de seguridad

En la (Figura 80) se muestra el análisis de simulación realizado en SolidWorks, con el objetivo de evaluar la integridad del componente bajo las cargas máximas de trabajo. Se obtuvo un factor de seguridad mínimo de 3,4, lo que confirma que la estructura es segura, de acuerdo con la siguiente fórmula

$$F.S = \frac{\text{Limite elastico}}{\text{Esfuerzo maximo de diseño}}$$

$$F.S = \frac{55.148 \text{ MPa}}{16.137} = 3.4$$

4.2.9. Análisis del mecanismo de estabilidad

Con el fin de certificar que la silla de ruedas no se caiga al suelo cuando el actuador eléctrico se localice en posición extendida, realizaremos un análisis de estabilidad, para ello se realizara un DCL y se considerara un coeficiente de rose de 0.2.



Figura 81. Centro de gravedad con persona incluida

Utilizamos las ecuaciones de equilibrio estático ya sea para las fuerzas en el eje Y como en el eje X.

$$\sum Fy = 0 \rightarrow R1 + R2 + R3 = W \quad Ec. (34)$$

$$\sum Fx = 0 \rightarrow Fr1 + Fr2 + Fr3 = C \quad Ec. (35)$$

Conociendo que la relación de fuerza normal y el coeficiente de rozamiento son magnitudes proporcionales, para ello aplicamos la ecuación 18:

$$Fr = u * R$$

$$Fr1 + Fr2 + Fr3 = (1324.35 \text{ N}) (0.2) = 264.87 \text{ N}$$

Además, se tiene que aplicar una fuerza mayor a 264.87 N para que la silla de ruedas se pueda mover, para contrarrestar este movimiento las ruedas posteriores están completamente bloqueados y el reposapiés queda en contacto con el suelo.

Por ello, al realizar el análisis de volcamiento y considerar la posibilidad de que la silla de ruedas caiga, el cuerpo completo pivota alrededor de las reacciones R2 y R3. Por lo tanto, es necesario sumar los momentos para fijar la altura mínima en la que se ejerce la fuerza C y aplicar la ecuación 10.

$$\sum MR_2 y R_3 = 0$$

$$1324.35 * 318.16 \text{ mm} - 264.87 \text{ N} * H = 0$$

$$H = \frac{(1324.35 \text{ N})(0.31816 \text{ m})}{264.87 \text{ N}}$$

$$H = 1.59 \text{ m}$$

En resumen, para que la silla de ruedas bípeda se vuelque pivotando en la rueda delantera y el apoyapié, se necesita una fuerza de 264.87 N aplicada a una altura de 1.59 m.

Asimismo, se debe tener en cuenta las condiciones de estabilidad; para que la silla de ruedas sea estable el momento restaurador debe ser mayor al momento de vuelco.

- **Momento restaurador:**

$$Mr = Fg * d \quad \text{Ec. (36)}$$

Donde:

Mr: Momento restaurador

Fg= Fuerza de gravedad

d= Distancia horizontal desde el punto de apoyo al CG

Reemplazamos:

$$Mr = (1324.35 \text{ N}) (0.4892 \text{ m})$$

$$Mr = 647.87 \text{ Nm}$$

- **Momento de vuelco**

$$Mv = F_{\text{externa}} * h \quad \text{Ec. (37)}$$

Donde:

H= altura de la fuerza (esta fuerza externa se calculó en análisis de estabilidad, asimismo la altura que se debe aplicar).

Reemplazamos:

$$M_v = (264.87 \text{ N}) (1.59 \text{ m})$$

$$M_v = 421.14 \text{ Nm}$$

Según la condición que nos indica que el momento restaurador debe ser mayor que el momento de vuelco.

$$M_r > M_v$$

$$647.87 \text{ Nm} > 421.14 \text{ Nm}$$

Se concluye que la silla de ruedas bípeda si es estable y no sufrirá caídas.

4.2.10. Mecanismo de accionamiento a posición bípeda

El mecanismo de operación o de elevación a la posición bípeda debe ser capaz de soportar un peso máximo de hasta 100 kg correspondiente al usuario, además del peso de la silla de ruedas bípeda, que asciende a 35 kg.

- Mecanismo de elevación. - El mecanismo aplicado para variar de postura sentada a bípeda está basado en el principio de no Grashof del paralelogramo de lados semejantes.

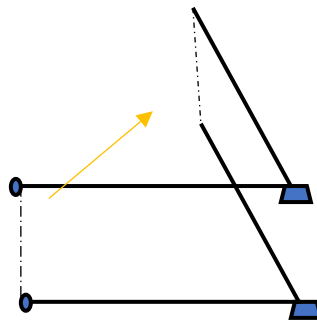


Figura 82. Mecanismo no Grashof del paralelogramo

La silla de ruedas bípeda cuenta con muchos componentes ensamblados y presenta un innovador mecanismo de elevación. El diseño incorpora un actuador lineal en la parte posterior y dos amortiguadores de gas, inclinado a 25° para compensar el centro de masa del usuario con discapacidad. Al activar el actuador, se despliega un mecanismo de elevación de modelo de un paralelogramo, donde dos ejes giratorios por lado son sujetados simultáneamente por los dos fragmentos fijos en los extremos de la estructura de la silla, creando estos mecanismos la función de elevación juntamente al actuador lineal.

4.2.11. Selección del mecanismo de elevación y suspensión

Tendremos en cuenta consideraciones eléctricas y mecánicas al implementar un actuador lineal, para ello aplicaremos la ecuación 11 del segundo capítulo:

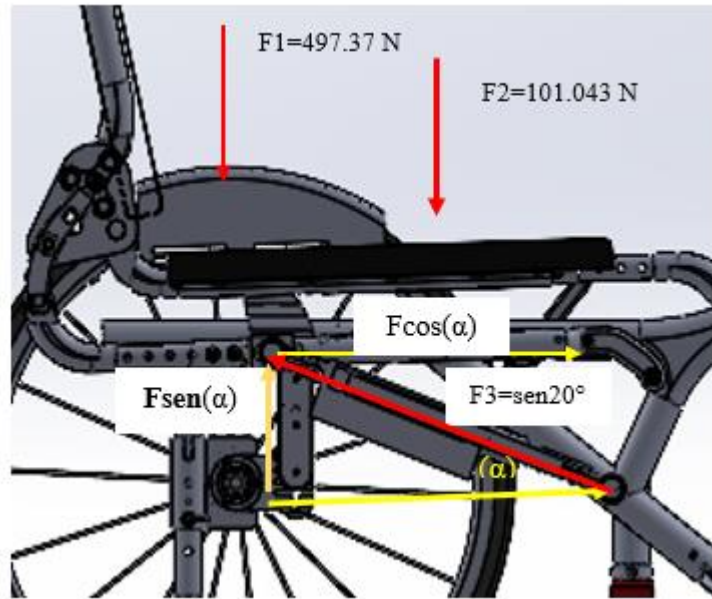


Figura 83. Selección del mecanismo de elevación y suspensión

Donde:

- F1: Fuerza segmentada en el centro de gravedad de la espalda
- F2: Fuerza segmentada en el centro de gravedad de los muslos
- F3: Fuerza del motor eléctrico lineal

$$\sum F_y = 0$$

$$F3\text{sen}20^\circ - 497.37 \text{ N} - 101.043 \text{ N} = 0$$

$$F3 = \frac{497.37 \text{ N} + 101.043 \text{ N}}{\text{sen}20^\circ}$$

$$F3 = 1749.64 \text{ N}$$

Esto indica que el vástago necesita una fuerza de 1749.64 N para levantar el peso del segmento del muslo y el tronco. Asimismo, se obtiene la longitud retraída a 20° de 283.99 mm; se obtuvo la longitud extendida a 85° de 414.61 mm, lo cual nos da una extensión del pistón de 130.62 mm, para ello se seleccionó el siguiente actuador:

- Actuador lineal IP65 de 12 V: incorporado un interruptor de límite y cuenta con un motor de alto rendimiento, cuenta con engranajes de plásticos, más duraderos y silenciosos, ya que

[illegible]

Stroke Length		Retracted Length		Extended Length	
inch	mm	inch	mm	inch	mm
2	50	7	180	9	230
4	100	9	230	13	330
6	150	11	280	17	430
8	200	13	330	21	530
10	250	15	380	25	630
12	300	17	430	29	730
14	350	19	490	33	840
16	400	21	540	37	940
18	450	23	590	41	1040
20	500	26	650	46	1150

Figura 84. Selección de actuador

Tabla 3. Especificaciones del actuador	
Voltaje de entrada	CC 12 V
Carga máxima de empuje	440 libras o 2000 N
Carga máxima de tracción	330 libras o 1500 N
Velocidad de viaje de carga	0.31 pulgadas/seg
Temperatura ambiente	-20 °C a 60 °C
Clase de protección	IP65
Ciclo de trabajo	10%
Material	Aleación de aluminio

143

reducir la fatiga o estrés en el cuerpo del usuario, de esta manera optimizar la calidad de vida de los usuarios, por ello se seleccionó el siguiente amortiguador:

- Amortiguador de gas Goodyear 55 cm de 200N:

Tabla 37. Especificaciones técnicas del amortiguador

Especificación	Detalle
Marca	Goodyear
Longitud y Ø roscas	55 cm rosca Ø6mm
Fuerza	200 Newtons
Aplicaciones	Automoción, Industria
Instalación	Rápida y sencilla
Durabilidad	Alta
Material	Metal y compuestos de alta calidad

4.2.12. Selección de conexiones del actuador

Para el modelo de cilindro elegido, se utiliza una conexión específica. En la elección del tipo de conexión del pistón, se optó para el cilindro y el vástago por la conexión tipo horquilla, debido a que proporciona una estabilidad mejor en el actuador.

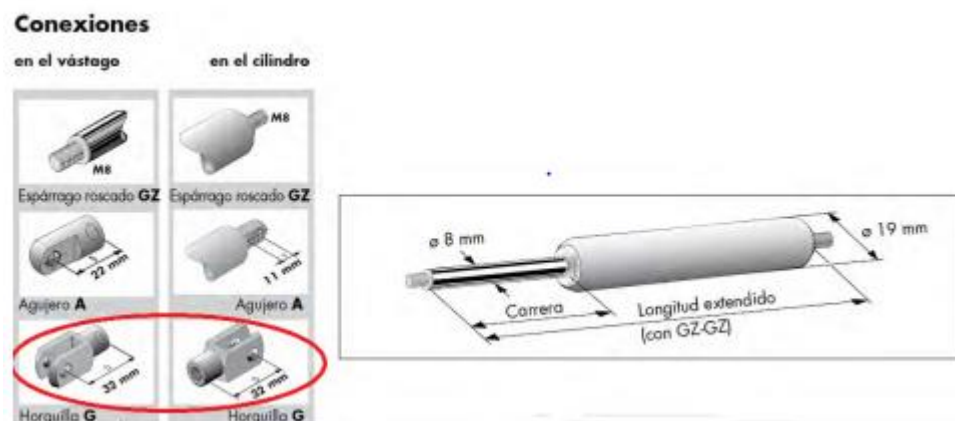


Figura 85. Medidas del actuador y elección del actuador

4.2.13. Componentes del circuito de control

- a) Interruptor de encendido. - Componente eléctrico que sirve para controlar el apagado y encendido de dispositivos eléctricos, para este sistema se usara el interruptor tipo botón que se prende y apaga presionando el botón.



Figura 86. Interruptor tipo botón

- b) Batería a usar. - Se usarán los siguientes cálculos, para seleccionar el tipo de batería:

Potencia nominal (P): 120W

Voltaje (V): 12 V

Luego, se calculará la corriente requerida (A):

$$A = \frac{120W}{12V} = 10 A$$

Después, calculamos la capacidad necesaria de la batería en Amperios-Horas (Ah), con un tiempo de funcionamiento de 2 horas.

$$Ah = 10 A \times 2h = 20Ah$$

En conclusión, se utilizará una batería seca Oxford modelo 6-DZM-23 de 12 V 23 Ah con peso de 6.86 kg.



Figura 87. Batería seca Oxford modelo 6-DZM-23 de 12 V 23 Ah

- c) Módulo de Relé OONO. - Se utiliza para invertir el movimiento, se equipa con el interruptor de acción alternativa o auto sostenimiento, para saber si el actuador está en

movimiento el módulo cuenta luces de Led de avance (rojo) y retroceso (verde) y no consume energía cuando el interruptor no este accionado.

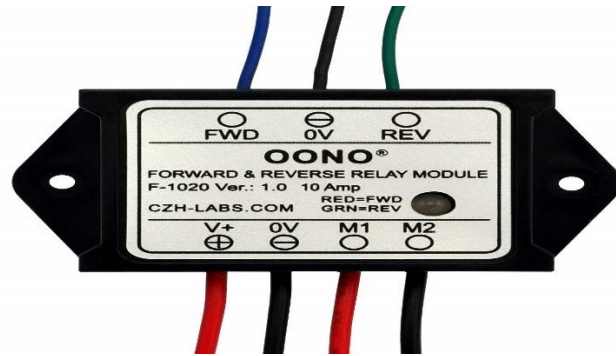


Figura 88. Módulo de Relé OONO

- d) Interruptor de palanca o momentáneo. - Tipo momentáneo impermeable (ON) Apagado (ON) capacidad de voltaje de 12 voltios a 250 voltios y 15 amperios. Al mover el interruptor y mantenerlo presionado en posición ON el actuador estará encendido, al soltar se detiene el actuador y el interruptor se restablece automáticamente a OFF.

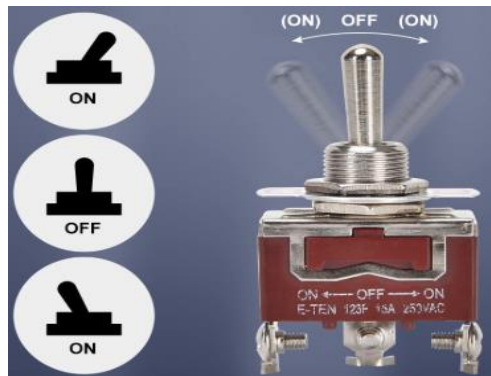


Figura 89. Interruptor de palanca

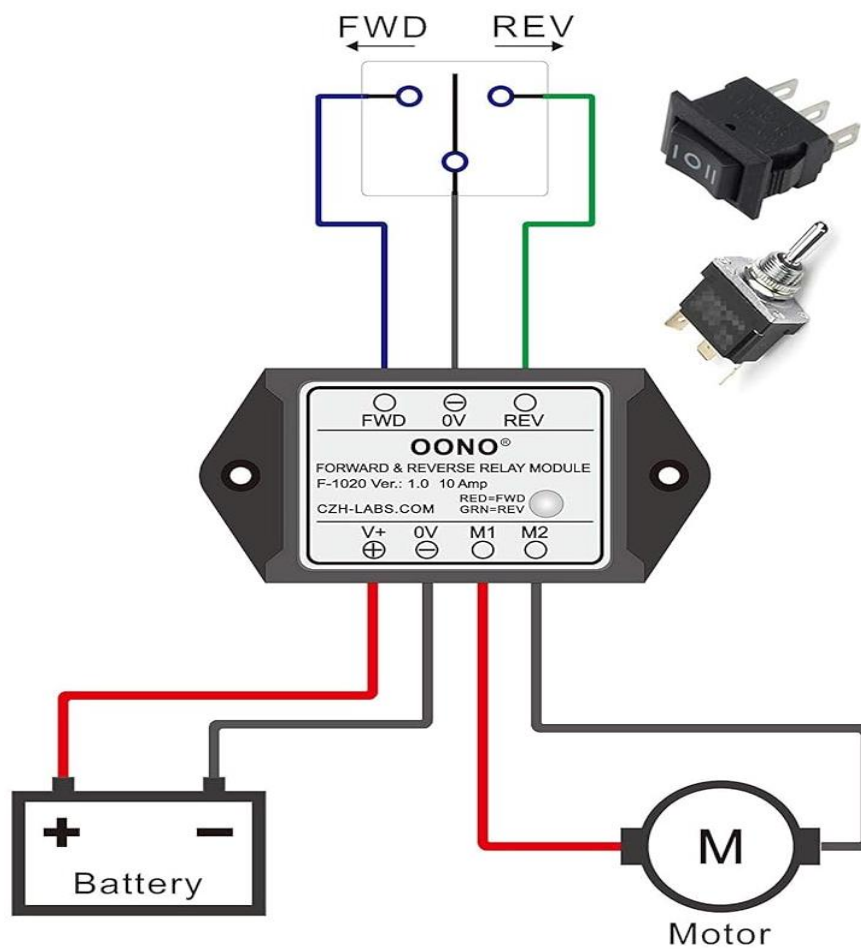


Figura 90. Diagrama de activación del actuador lineal eléctrico

4.2.14. Análisis del eje para unión de ruedas y chasis

El chasis se une con la rueda, tal como se muestra en la imagen 92, se puede observar un tornillo de 5/8" x 84 mm fabricado con material acero ASTM-A-500 que actúa como eje. El tubo exterior de acero delgado, tubo separador y los rodamientos rígidos de bolas están agregados en la rueda, siendo fijo este tipo de eje. El tubo de pared y marco son gruesos y son elaborados en relación a los requerimientos.

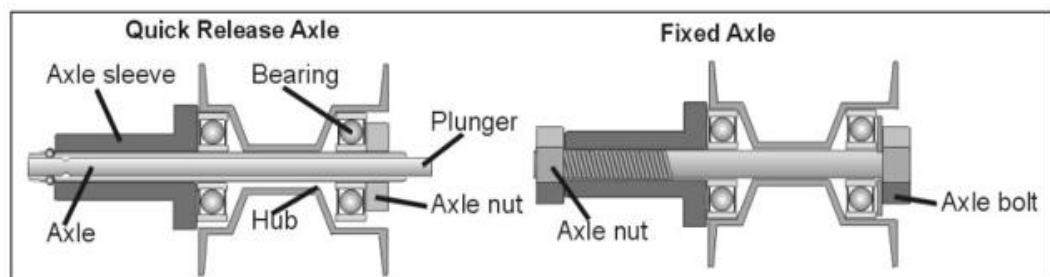


Figura 91. Tipos de eje

Examinamos si el eje fijo seleccionado de 12 mm tendrá la capacidad de aguantar su peso máximo tanto del cliente como de la silla de ruedas. Para ello, en la imagen 92 se observa el DCL de la persona de 100 kg más el peso de la silla de 35 kg cuando está en postura sentada. Empleando las situaciones de equilibrio estático se consiguen las ecuaciones 38, 39 y 40.

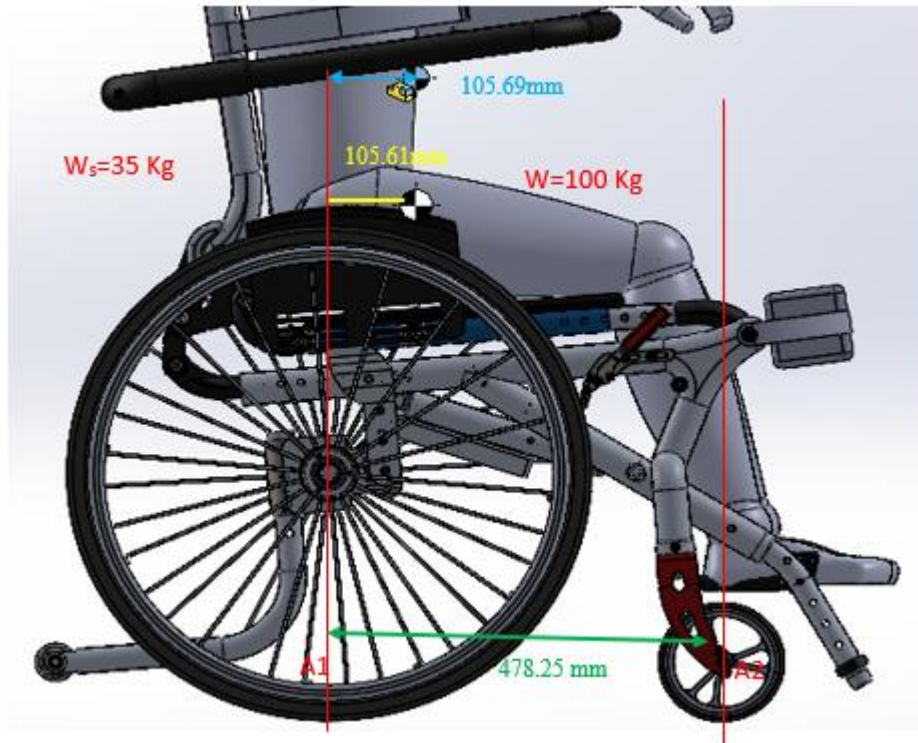


Figura 92. D.C.L. de cliente en postura sentada: W (peso de cliente) y W_s (peso de silla)

$$W_s + W = A_1 + A_2 \quad \text{Ec. (38)}$$

$$A_2 \times 478.25 \text{ mm} = W_s \times 105.61 + W \times 105.69 \text{ mm} \quad \text{Ec. (39)}$$

$$A_2 \times 0.478 \text{ m} = 343.35 \text{ N} \times 0.105 \text{ m} + 981 \text{ N} \times 0.105 \text{ m} \quad \text{Ec. (40)}$$

$$A_2 = 290 \text{ N}$$

Reemplazando la ecuación 38:

$$W_s + W = A_1 + A_2$$

$$343.35 \text{ N} + 981 \text{ N} = A_1 + 290 \text{ N}$$

$$A_1 = 1034.35 \text{ N}$$

Solucionando las ecuaciones 38 y 39 se halla $A_1 = 1034.35 \text{ N}$ y $A_2 = 290 \text{ N}$. La fuerza A_1 es la reacción de las dos ruedas posteriores y para una rueda es la mitad. Es decir, el valor de 517.175 N pertenece a la fuerza que se ejerce sobre el eje (tornillo).

Además, al analizar las fuerzas que actúan sobre el eje, se observa que una sección del mismo se encuentra apoyada de manera fija, mientras que la columna de la rueda funciona como un voladizo, generando esfuerzos de flexión constantes. Esto provoca que el componente tienda a experimentar fatiga. En la figura 93 se muestra el diagrama de cuerpo libre (DCL), donde se alcanza el momento flector máximo:

$$M_f = 517.175 \text{ N} \cdot 26.65 \text{ mm} = 13.9 \text{ Nm} = 13798.2 \text{ Nmm}$$

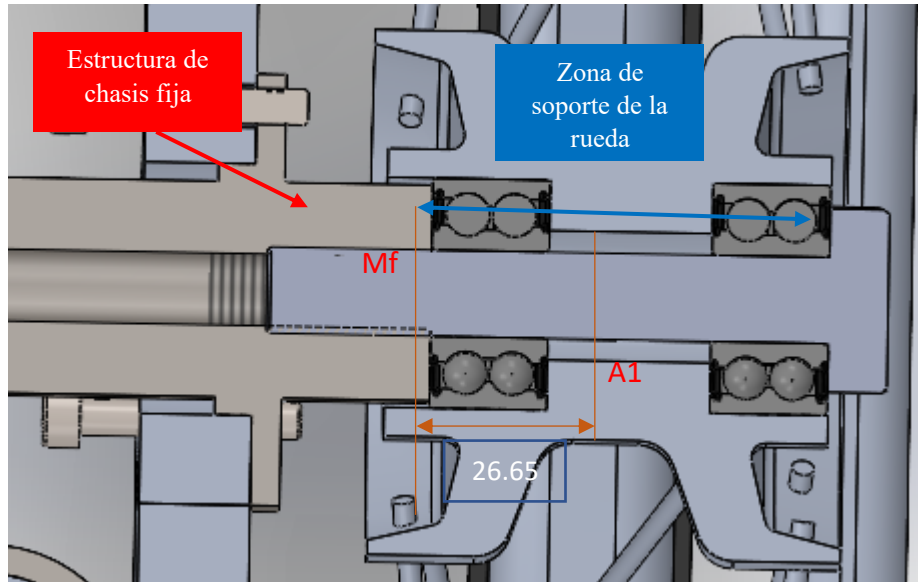


Figura 93. D.C.L. en eje de la rueda

Se calculó el esfuerzo flector (σ) usando el módulo de sección Z Ecuación 34. Donde es de 12 mm el diámetro de tornillo (D).

$$Z = \frac{\pi \times d^3}{32} = \frac{\pi (12\text{mm})^3}{32} = 169.6 \text{ mm}^3 \quad \text{Ec. (41)}$$

$$\sigma = \frac{M}{Z} = \frac{13798.2 \text{ Nmm}}{169.6 \text{ mm}^3} = 81.4 \text{ MPa}$$

Comparando con el límite elástico del material St37-2 de 235 MPa el esfuerzo realizado por el perno es bajo.

Considerando que el F.S (n)

$$n = \frac{\text{Resistencia de material}}{\text{Esfuerzo aplicado}} = \frac{235 \text{ MPa}}{81.4 \text{ MPa}} = 2.89$$

Por lo tanto, el perno puede soportar 2.89 más carga antes de comenzar a deformarse plásticamente.

4.2.15. Componentes y dimensiones de la silla de ruedas

Se realiza el dimensionamiento parcial de la silla de ruedas con el objetivo de determinar una estructura capaz de soportar los componentes y el peso del usuario. En la figura 95 se muestra la silla en posición sentada, mientras que en la figura 96 se observa en postura bípeda con el respaldo en posición vertical, destacando las estructuras del respaldo, asiento y chasis. La tabla 38 recopila las variables dimensionales identificadas en las figuras 95 y 96, indicando para cada una si es variable o fija, así como el criterio que determina dicha variabilidad.

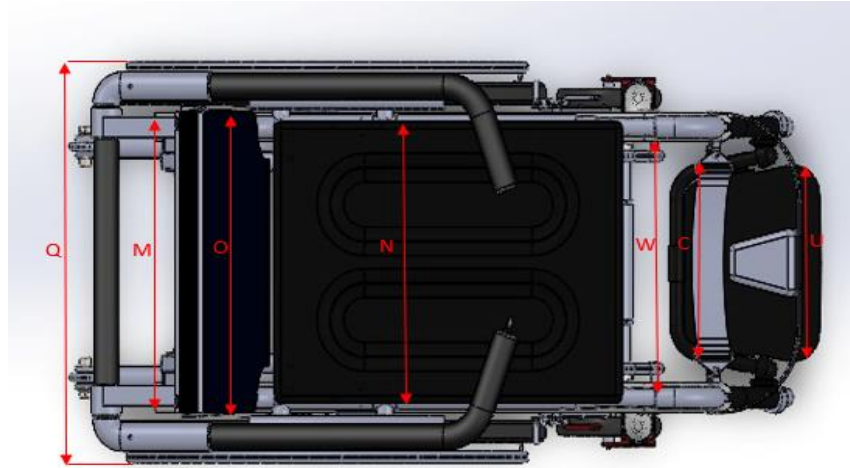


Figura 94. Silla de ruedas con posicionamiento bípedo en posición sentada

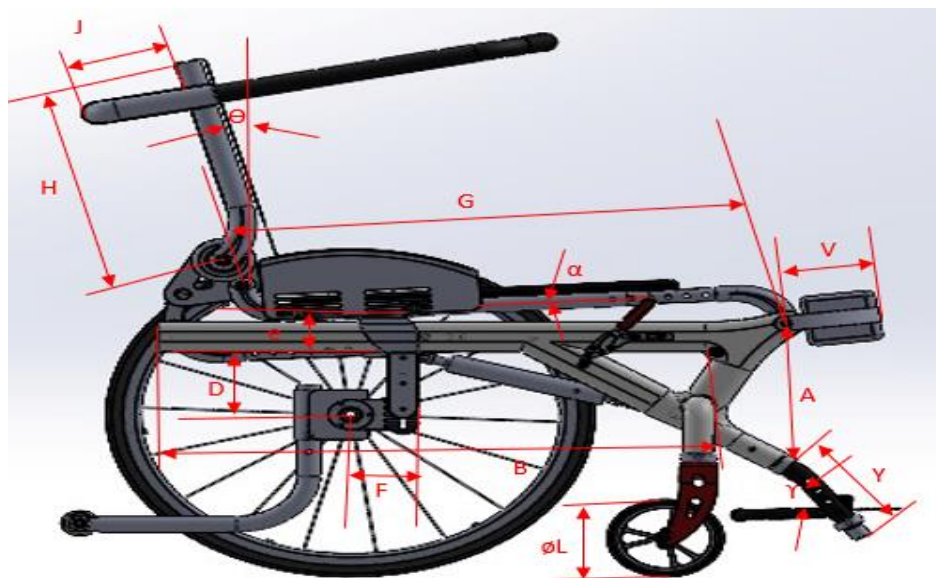


Figura 95. Representación de la silla de ruedas en posición sentada con sus longitudes geométricas

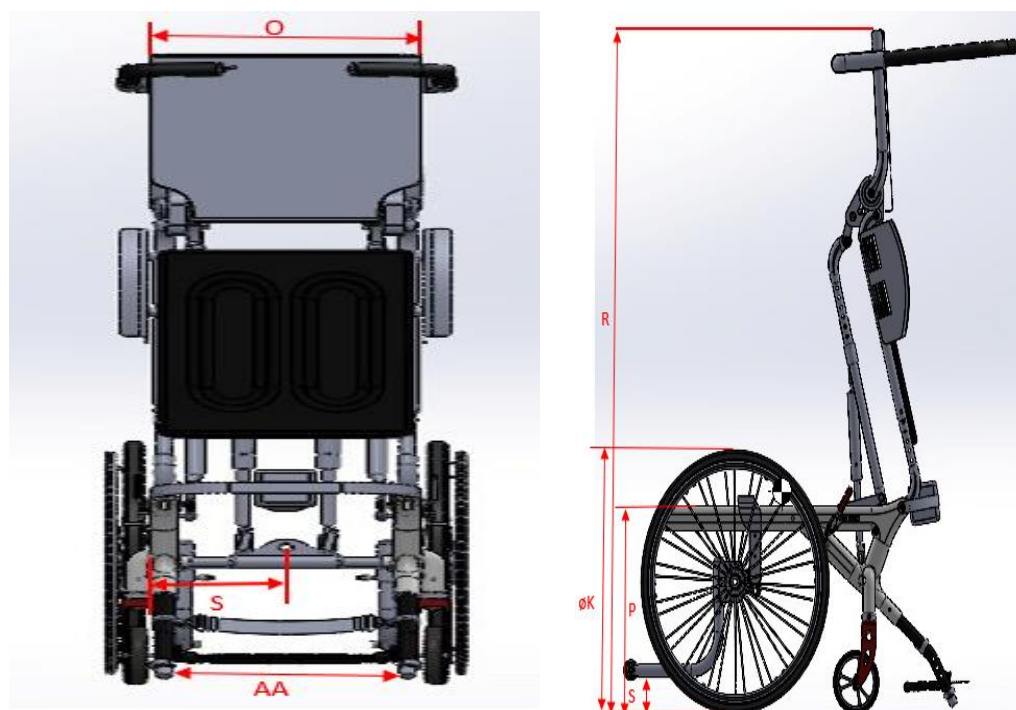


Figura 96. Representación de la silla de ruedas en postura bípeda y sus longitudes geométricas

Tabla 38. Superficies primordiales de la estructura de silla de ruedas

Medida	Descripción	Tipo	Comentario
A	Longitud del tubo vertical delantero del chasis	Fijo	
B	Longitud del tubo base del chasis	Regulable	
C	Distancia de la correa para pantorrilla	Fijo	
D	Longitud del mecanismo vertical posterior del chasis	Regulable	
E	Longitud del tubo vertical para tope del asiento	Fijo	
F	Distancia entre eje del tubo vertical posterior y eje de ruedas	Fijo	
G	Longitud del tubo de la estructura del asiento.	Fijo	
H	Longitud del tubo de la estructura del respaldo.	Abatible	
J	Radio de curvatura del tubo rigidizador de respaldo.	Regulable	
K	Diámetro de la rueda posterior.	Fijo	
L	Diámetro de la rueda delantera.	Fijo	
M	Ancho del chasis	Fijo	
N	Ancho del asiento	Fijo	
O	Ancho del respaldo.	Fijo	
Q	Ancho total de la silla de ruedas.	Fijo	
R	Alto total de la silla de rueda en posición vertical.	Fijo	
S	Distancia entre el suelo y eje de rueda antivuelco.	Regulable	
V	Ancho de seguro para rodilla	Fijo	
U	Longitud de seguro para rodilla	Regulable	
W	Ancho del tubo en "U" para posapiés	Fijo	
Y	Longitud de tubo diagonal de posapiés	Regulable	
AA	Longitud de tubo para estructura de ruedas antivuelco	Fijo	
A	Ángulo de posición inicial del asiento respecto de la horizontal	Regulable	
Θ	Ángulo de posición inicial del respaldo.	Fijo	
Y	Ángulo de inclinación de posa pies	Regulable	

4.2.16. Dimensionamiento y de la estructura del asiento

La profundidad del asiento es ajustable para que se adapte al usuario correctamente:

- Angulo del asiento: el cual se puede variar ajustando el eje de la rueda verticalmente en el marco. En la configuración estándar, el ángulo del asiento es de -4° hacia atrás, el cual se puede ajustar entre -3° a -8° hacia atrás.
- Altura del asiento: se consigue gracias al diámetro de la rueda delantera y a la horquilla delantera, el cual garantiza la posición correcta de pie.

El diseño óptimo de la estructura del asiento para la silla de ruedas se observa en la figura 98.



Figura 97. Estructura de asiento de silla de ruedas

Las dimensiones del asiento de la silla de ruedas bípeda de largo (G) es 658 mm cuyo diámetro exterior de la tubería es 30 mm y el ancho (N) es 390 mm, el tubo de 26 mm apoya a rigidizar la estructura, se observan aberturas que vinculan con el chasis y orificios en la zona trasera para unir con el respaldo mediante pernos tipo pin.

4.2.17. Selección del material para el asiento

Para la silla de ruedas el material elegido es capa nylon elástico recubierto, fortalecido interiormente con nailon balístico y capilla de espuma de poliuretano. En la figura 98 se muestra el interior del tapiz de vinil. Mientras que, en la Figura 99 se observa el enlace del asiento en la estructura del asiento.

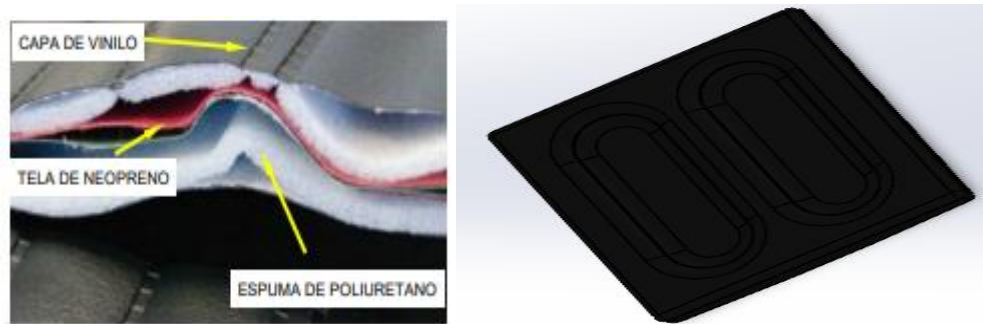


Figura 98. Asiento de silla de ruedas

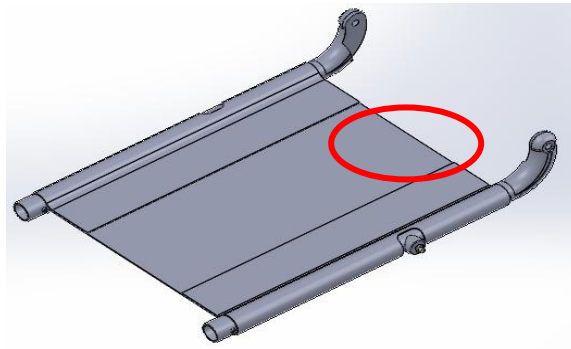


Figura 99. Ensamblaje con estructura de asiento

- Carga máxima estática en el asiento según la norma ISO 7176. -Una vez seleccionado el material y las dimensiones se verificará si la estructura resiste la carga del usuario sin deformarse.

Donde:

- σ : esfuerzo normal (Pa o N/m²)
- F: fuerza aplicada (N) = 100 Kg*9.81= 981 N
- A: área efectiva de soporte (m²) = largo * ancho = 0.26 m²

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{981 \text{ N}}{0.26 \text{ m}^2}$$

$$\sigma = 3773.1 \text{ Pa} = 3.77 \text{ KPa}$$

La resistencia del material del asiento es de 150 KPa y este es superior a la carga máxima estática en el asiento el cual estaría cumpliendo con los lineamientos según la norma ISO 7176.

4.2.18. Dimensionamiento y función de la estructura del respaldo

El ancho O se instauró en 530 mm y la altura H en 402.07 mm cuenta con dos planchas horizontales unidas a un tubo transversal para que sea firme a la estructura y apoye al cojín del respaldo. El tubo transversal también servirá como mango de empuje para el cuidador del usuario. Asimismo, cuenta con un respaldo que utiliza la tecnología ABC el cual realiza

movimientos de compensación durante la bipedestación para tener una mejor postura, el respaldar es plegable lo que facilita el transporte de la silla.

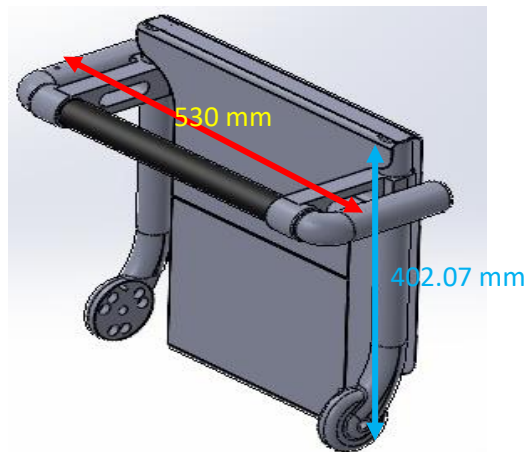


Figura 100. Estructura de respaldo de silla de ruedas

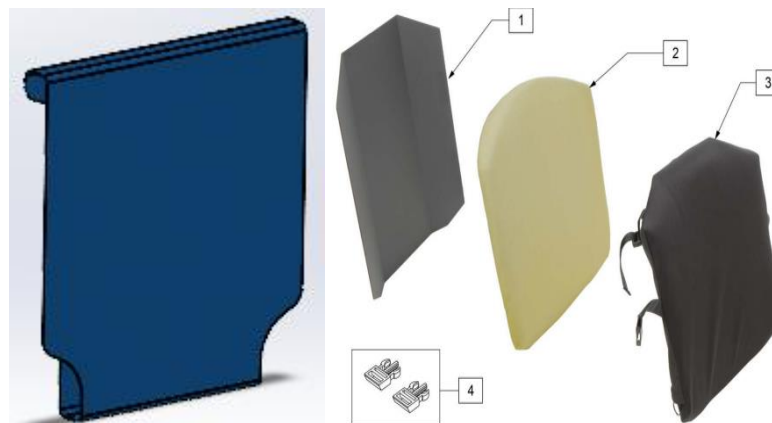


Figura 101. Tapicería de nylon elástico recubierta del respaldo

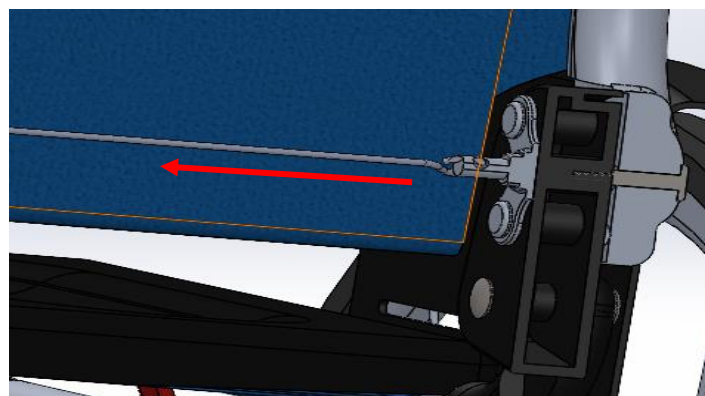


Figura 102. Mecanismo para retraer el respaldo

- **Análisis del respaldo:**

En este análisis del respaldo de la silla de ruedas para la postura sentada (-4°), se colocan las cargas críticas a las que están sometidos dichos componentes. La carga crítica se produce cuando el individuo apoya todo el peso de su cabeza, cuello y tronco sobre el respaldo.

Teniendo en cuenta el peso del cuello, cabeza, tronco, brazos y manos, se obtiene un FR= 63.5 kg (63.5%) siendo el peso de un usuario de 100 kg. Usamos la fórmula para calcular cuánto de fuerza va a soportar la estructura del respaldar:

$$F=P*\cos(\alpha)$$

$$F= (63.5*9.8) *\cos (4^\circ)$$

$$F=620.8 \text{ N}$$

En conclusión, los dos soportes del respaldar soportan 620.8 N y cada uno 310.4 N dicha fuerza se aplicará para la simulación:

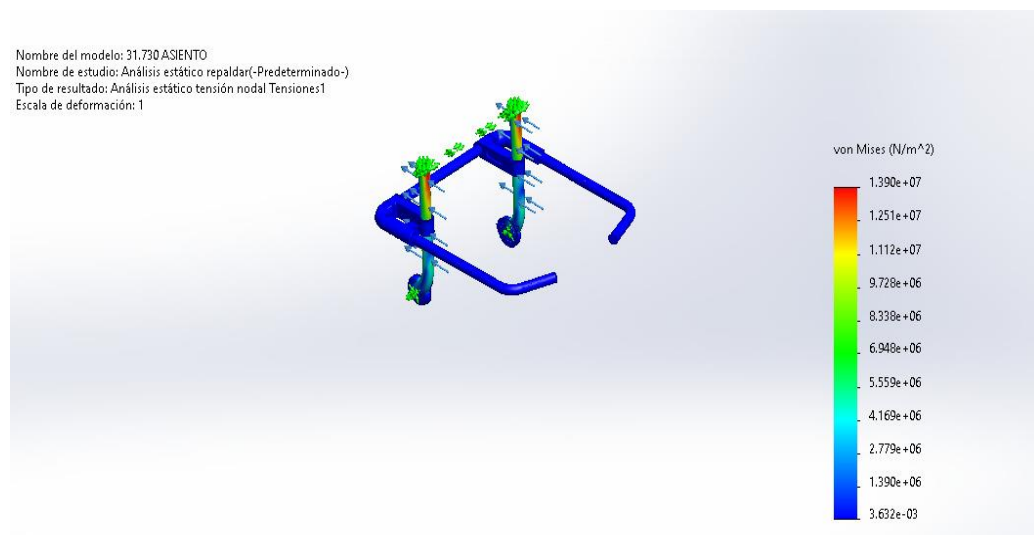


Figura 103. Análisis de tensión cuando el usuario está apoyado al respaldar

En la figura 103 se analiza el estudio de tensión por Von Mises con una fuerza de 310.4 N, que es la fuerza del usuario cuando se reclina a cada uno de los soportes del respaldar. La simulación se realizó con una malla solida (basada en curvatura) con un número total de nodos de 180214, el material aluminio 6061 del respaldar tiene un límite elástico de 5.51485e+07 N/m² o 55.148 MPa y el esfuerzo máximo obtenido a través del Solid Word mediante el análisis de Von Mises es 1.390e+07 N/m² o 13.90 MPa el cual se observa en las zonas rojas del respaldar y se ubica por debajo del límite elástico del material, lo que nos indica que el material no se va a romper y es apto para la estructura.

Para conseguir el factor de seguridad y evaluar la integridad del componente bajo cargas de trabajo máxima se realizará el siguiente calculo:

$$F.S = \frac{\text{Límite elástico}}{\text{Esfuerzo maximo de diseño}}$$

$$F.S = \frac{55.148 \text{ MPa}}{13.90 \text{ MPa}} = 3.97$$

Obteniendo un factor de seguridad de 3.97 el cual nos indica que puede resistir casi 4 veces su peso y nos indica que la estructura es segura.

- Análisis de apoyabrazos:

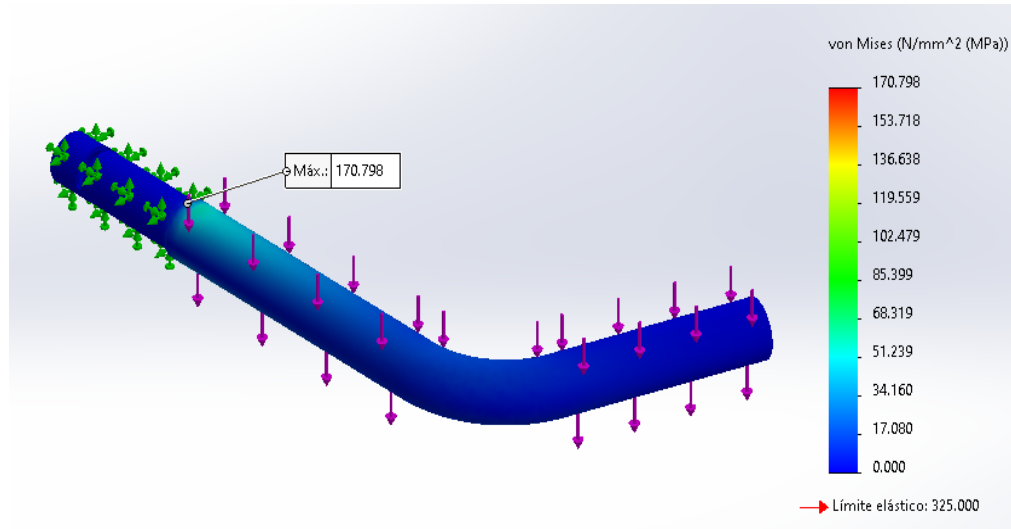


Figura 104. Análisis estático del reposa brazos

En la figura 104 se muestra el estudio de tensión por Von Mises en la que se aplicó una fuerza de 122.5 N, que sería el peso de ambos brazos y manos para una persona con 100 Kg. La simulación se realizó con una malla sólida (malla basada en curvatura) con un número total de nodos de 45473 el material usado es el acero ASTM A500 con un límite elástico de 325 MPa para el cual a través de la simulación se obtuvo el esfuerzo máximo de 170.798 MPa el cual se observa en las áreas rojas, el cual se ubica por debajo del límite elástico del material y es apto para la estructura. Se logró un factor de seguridad de 1.9.

4.3. Dimensionamiento del chasis de la silla de ruedas

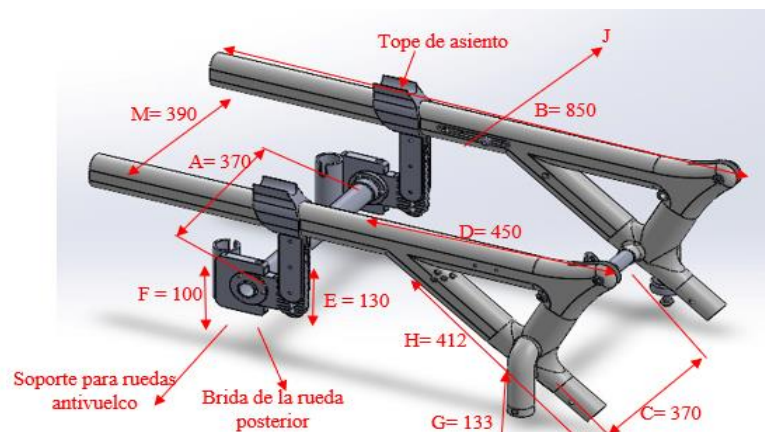


Figura 105. Estructura óptima del chasis

Donde:

- El ancho M del chasis es de 390 mm
- El largo del chasis B es de 850mm para una adecuada estabilidad de la silla de ruedas. Permitiendo que los neumáticos traseras y delanteras no choquen entre sí.
- La longitud del tubo base A y del tubo delantero C es de 370 mm, los cuales servirán para rigidizar a la estructura. La distancia D entre el tubo A y C es de 450 mm, que se da de la distancia entre el tubo base y delantero.
- El tope de asiento tiene como función el de soportar y restringir la estructura del asiento.
- La longitud de las planchas E es de 130mm, las cuales sirven para regular el ángulo del asiento.
- El largo de los tubos F es de 100mm, los cuales son la funda para instalar las bases para las ruedas antivuelco traseras.
- La longitud de los tubos G es de 133mm, los cuales son las bases para instalar los ejes de las ruedas delanteras.
- La longitud H es de 412 mm, los cuales son la funda para instalar las bases para los reposapiés.
- La pieza J es el mecanismo tipo tijera se activa cuando el usuario acciona el interruptor para pasar de la postura sentada a la posición parada, y esto permite que el reposapiés baje al nivel del suelo.

4.3.1. Selección de ángulos para el usuario en la silla de ruedas

La delimitación de la postura sentada (inicial) y postura parada (final) del cliente se da con apoyo de la selección de los ángulos.

- a) En posición sentada. - Se consideró 4° como ángulo ideal (θ) del asiento con respecto a la horizontal.

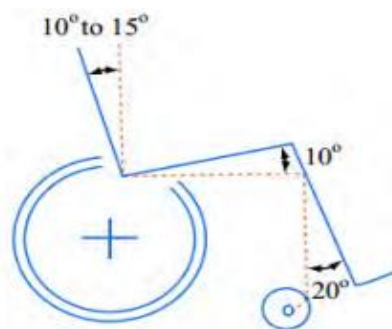


Figura 106. Rango ideal para la posición sentada del usuario

- b) En posición bípeda. - Se consideró 14° como ángulo ideal (β) del respaldo en relación de la vertical. En otras palabras, al terminar el movimiento de los componentes de levante del asiento, en su postura bípeda, este obtenga con la vertical un ángulo de 14° .



Figura 107. Ángulo de 14° en relación de la vertical

4.3.2. Diseño y análisis del mecanismo de levante

El diseño planteado es para posicionar verticalmente al usuario, la silla de ruedas con posicionamiento bípodo está constituida por el asiento, respaldar y componentes de dominio para el actuador (ubicados de tal modo que trabajan como un mecanismo principio de no Grashof del paralelogramo de lados semejantes). Se usará un interruptor momentáneo para posicionar verticalmente al usuario.

El usuario al estar en una adecuada posición sentada en la silla de ruedas bípoda el peso estará distribuido 80% en la parte posterior y 20% en la parte delantera y los reposa pies estará a una altura del suelo para tener un mejor control al momento de trasladarse.

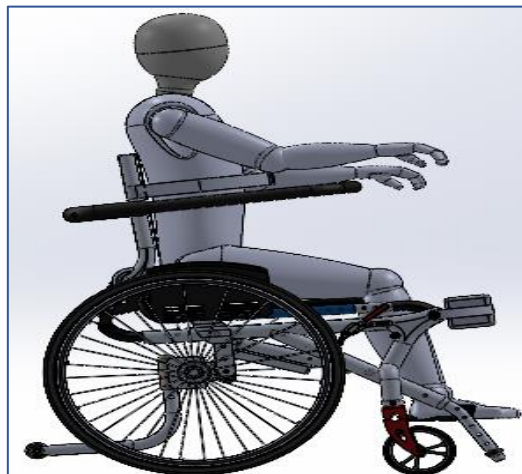


Figura 108. Usuario posición sentado 4 puntos de apoyo

En la figura 109 se muestra una junta de 2 grados de libertad (pares superiores) que de modo paralelo aprueban dos desplazamientos relativos individuales, es decir, de rotación y traslación, entre los eslabones vinculados. A veces, se conoce como “semi junta”, paradójicamente, con sus dos grados de libertad ubicados en el denominador. La semi junta es conocida también como junta deslizante- rodante porque aprueba tanto deslizamiento y rodamiento.

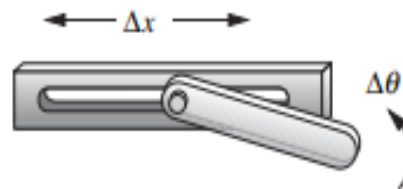


Figura 109. Pasador en una ranura

El funcionamiento de la junta rodante-deslizante inicia cuando el paciente se encuentra en posición de sentado, primero tiene que bloquear las ruedas posteriores activando los frenos, al momento de activar el actuador lineal, la estructura del respaldo y asiento giran sobre el chasis y mediante un conector este jala un pistón corredizo que se desliza horizontalmente con dos ranuras de guía internamente en el chasis, al realizar este movimiento cuanto mayor sea la longitud extendida del actuador el reposa pies va descendiendo hasta tocar con el suelo, en ese momento el usuario pasa de una posición sentado a bípedo (85°), es ahí donde se logra obtener los seis puntos de apoyo con el suelo para evitar volcaduras y tener mayor seguridad.



Figura 110. Silla poción bípeda, 6 puntos de apoyo

Los interruptores momentáneos son dispositivos eléctricos que permiten controlar el flujo de corriente con un simple movimiento de una palanca. Son fáciles de usar, ofrecen un acceso rápido y tienen un diseño compacto, haciéndolos ideales para una variedad de aplicaciones. Además, su diseño seguro evita el riesgo de choque eléctrico. Se utilizan en sistemas de iluminación, circuitos de control, equipos industriales y paneles de control, así como en la automoción para controlar luces, ventanas y espejos, entre otros.

4.3.3. Tornillos de la silla de ruedas

Tabla 39. Tornillos de sujeción

Tamaño del tornillo	Tipo del tornillo	Allen/llave inglesa	Max. Esfuerzo de torsión
M4	Tornillo de cabeza Hexagonal	3 mm	2.5 Nm
	Tornillo de fijación del casquillo	2 mm	
M5	Tornillo de cabeza hueca	6 mm	5 Nm
	Tornillo de cabeza ovalada	3 mm	
	Tornillo de fijación del casquillo	2.5 mm	
M6	Tornillo de cabeza hueca	5 mm	9Nm
	Tornillo de cabeza ovalada	4 mm	
	Tornillo de fijación del casquillo	3 mm	
M8	Tornillo de cabeza hueca	6 mm	21 Nm

4.3.4. Análisis de puntos críticos de la silla de ruedas bípeda

4.3.4.1. Análisis del chasis

Se hará el análisis de esfuerzos en el bastidor de la silla de ruedas utilizando el método de elemento finitos, a través del software SolidWorks Simulation, dado que el elemento es un componente complejo.

El chasis constituye la estructura principal de soporte en la silla de ruedas bípeda, sobre la cual se distribuyen todas las cargas generadas por el peso del usuario, los mecanismos de elevación, las baterías y los componentes móviles. Debido a su importancia funcional y a las consecuencias críticas en caso de fallo, se ha aplicado un factor de seguridad (FS) de 2.5, conforme a recomendaciones de diseño mecánico para dispositivos de asistencia biomecánica.

Este valor asegura que la estructura del chasis sea capaz de resistir, como mínimo 2.5 veces la carga máxima esperada, proporcionando un margen de seguridad ante sobrecargas

accidentales, condiciones dinámicas de uso y posibles imperfecciones del material o proceso de fabricación.

Para los cálculos estructurales, se consideró un peso máximo del usuario de 100 kg, equivalente a una carga vertical de aproximadamente 980 N. Con el FS adoptado, se dimensionaron los perfiles estructurales del chasis para resistir al menos 2450 N.

La elección del factor de seguridad y la evaluación de la resistencia del chasis se respaldan en lo establecido por la norma internacional ISO 7176-8, que define los requisitos y métodos de ensayo para la resistencia estática, el impacto y la fatiga en sillas de ruedas.

a) Análisis del chasis por lado cuando el usuario está en posición sentado

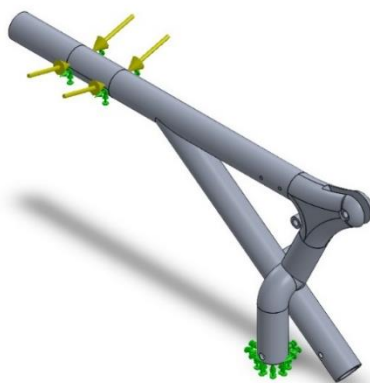
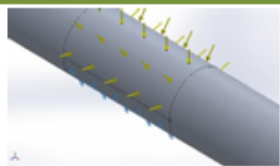
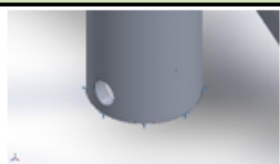


Figura 111. Puntos críticos del chasis cuando está el usuario en posición sentado

Tabla 40. Propiedades del chasis

Propiedades	
Nombre:	Aleación 6061
Tipo de modelo	Isotrópico elástico lineal
Criterio de error predeterminado	Desconocido
Límite elástico	5.5148e+07 N/m ²
Límite de tracción	1.24084e+08N/m ²
Modulo elástico	6.9e+10N/m ²
Coefficiente de Poisson	0.33
Densidad	2.700 kg/m ³
Modulo cortante	2.6e+10 N/m ²
Coefficiente de dilatación térmica	2.4e-05/Kelvin

Tabla 41. Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción			
Fijo-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija			
Fuerzas resultantes					
Componentes	X	Y	Z	Resultante	
Fuerza de reacción(N)	3.7641	634.365	13.6884	634.524	
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0	
Fijo-2		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija			
Fuerzas resultantes					
Componentes	X	Y	Z	Resultante	
Fuerza de reacción(N)	-3.75926	4.05354	-0.364844	5.54043	
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0	

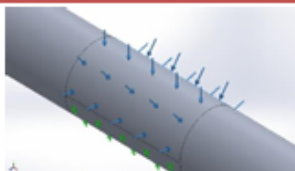
Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga			
Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 981 N			

Tabla 42. Fuerza resultantes

Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	0.00484283	638.419	13.3236	638.558

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0

Fuerzas de cuerpo libre

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-5.06639e-07	-4.36604e-05	3.70443e-05	5.72605e-05

Momentos de cuerpo libre

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	1e-33

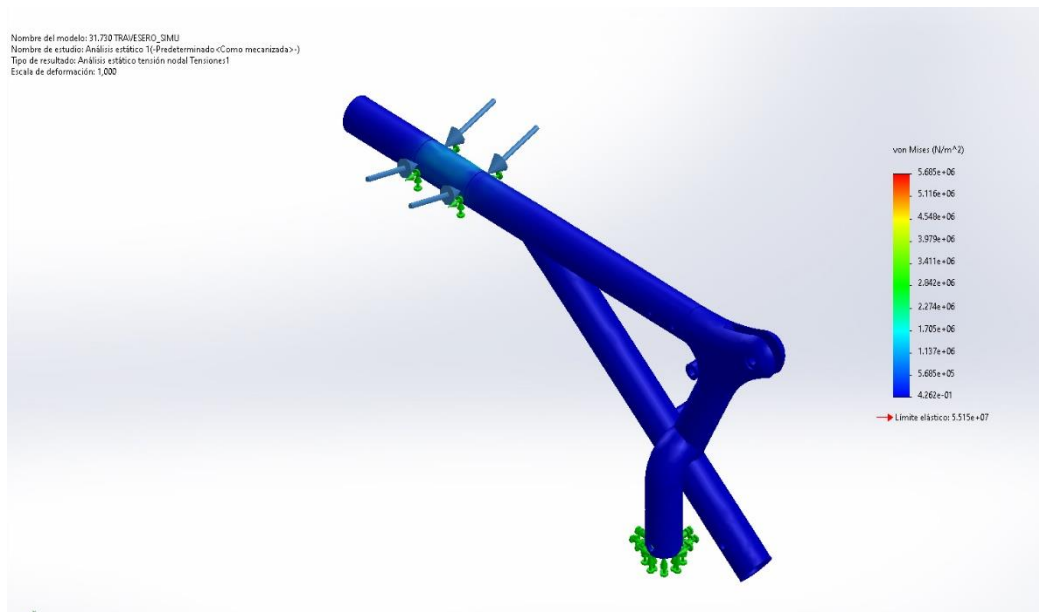


Figura 112. Análisis de tensión

En la figura 112, se puede observar el análisis de tensión por Von Mises con una fuerza de 981 N, que es la fuerza que soporta cada chasis cuando el usuario está en posición sentado. La simulación se realizó con una malla solida con un número total de nodos de 23175 con el material de aluminio 6061 que cuenta con un límite elástico de 55.148 MPa y el esfuerzo máximo de diseño es de 5.685 MPa, el cual se encuentra en las zonas rojas y esto se halla por debajo del límite elástico del material, indicándonos que el chasis no se va romper y es apto para la estructura.

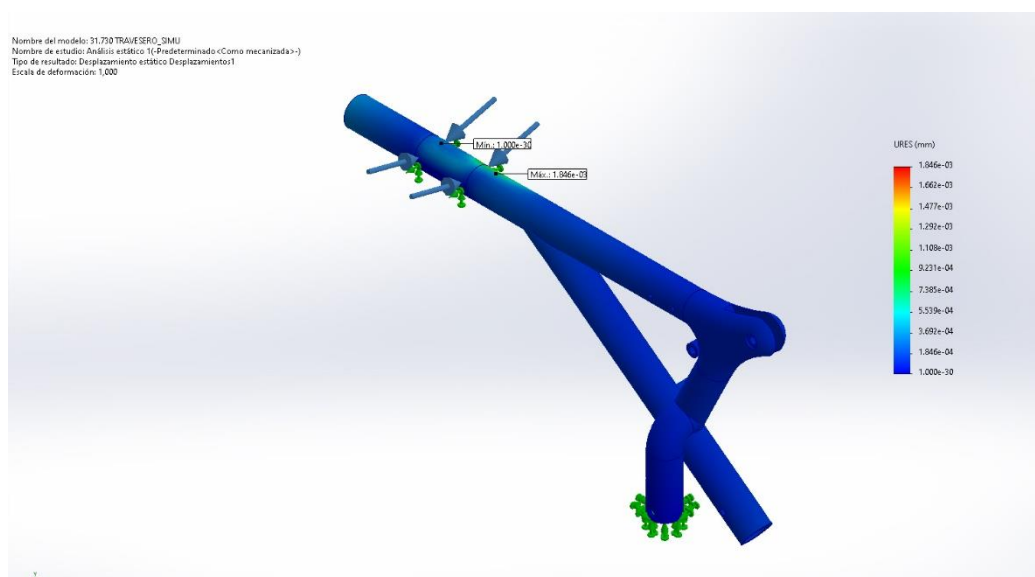


Figura 113. Análisis desplazamientos resultantes

En el estudio de desplazamiento aplicando una fuerza de 981 N, nos da el resultado de un desplazamiento máximo que sufre la pieza bajo las cargas aplicadas de 0.00186 mm, el cual es

una deformación muy pequeña apenas de 1.86 micrómetros, lo cual nos indica que la pieza es rígida.

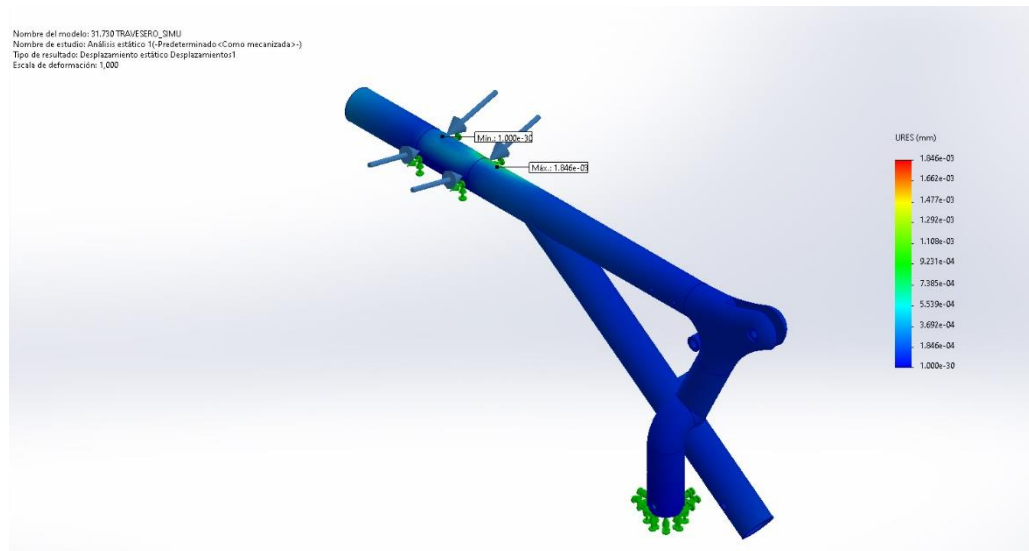


Figura 114. Deformación unitaria equivalente

En el estudio de deformación unitaria equivalente se aplicó una fuerza de 981 N, dándonos como resultado una deformación unitaria máximo de 0.00005845, lo cual indica que representa la relación entre la longitud y la deformación original del material, significando que, por cada metro de material, la pieza se deforma, pero está dentro de su zona elástica.

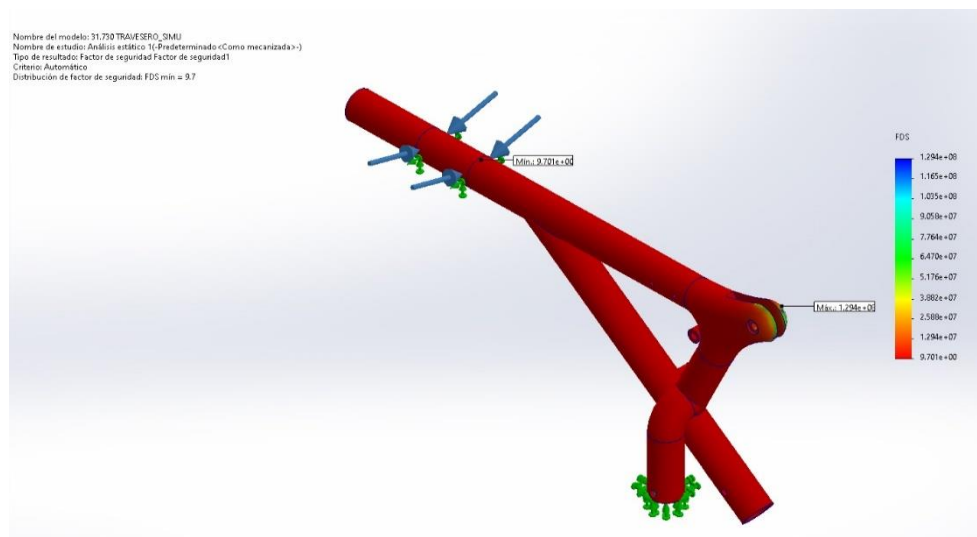


Figura 115. Análisis DEL FACTOR de seguridad

En la figura 115 se presenta el análisis de simulación en Solid Word que se realizó para evaluar la integridad del componente bajo cargas de trabajo máximas. Obteniendo el factor de seguridad mínimo de 9.7, el cual comprueba que la estructura es segura a través de la siguiente fórmula.

$$F.S = \frac{\text{Limite elastico}}{\text{Esfuerzo maximo de diseño}}$$

$$F.S = \frac{55.148 \text{ MPa}}{5.685} = 9.7$$

b) Análisis del chasis por lado cuando el usuario está en posición bípeda

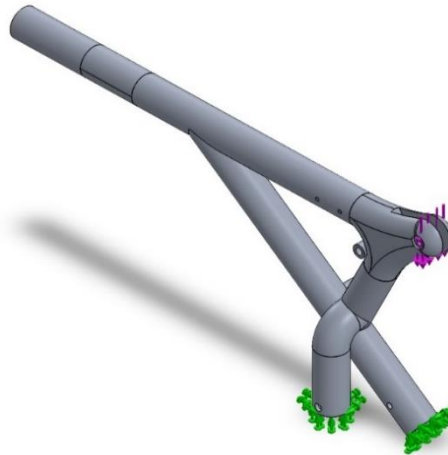
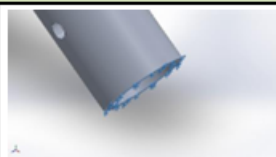


Figura 116. Análisis de chasis con la persona en posición bípeda

Tabla 43. Cargas y sujeción

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción			
Fijo-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija			
Fuerzas resultantes					
Componentes	X	Y	Z	Resultante	
Fuerza de reacción(N)	382.923	-64.8163	-63.6556	393.552	
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0	
Fijo-2		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija			
Fuerzas resultantes					
Componentes	X	Y	Z	Resultante	
Fuerza de reacción(N)	-382.923	1,045.82	63.6556	1,115.53	
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0	

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-2		Entidades: 1 cara(s), 1 plano(s) Referencia: Vista lateral Tipo: Aplicar fuerza Valores: ---; -,490.5; --- N
Fuerza-3		Entidades: 1 cara(s), 1 plano(s) Referencia: Vista lateral Tipo: Aplicar fuerza Valores: ---; -,490.5; --- N

Tabla 44. *Fuerzas resultantes*

Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-2.64645e-05	981	-1.71661e-05	981

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0

Fuerzas de cuerpo libre

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-0.000114918	0.000200152	-0.000204086	0.000308088

Momentos de cuerpo libre

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	1e-33

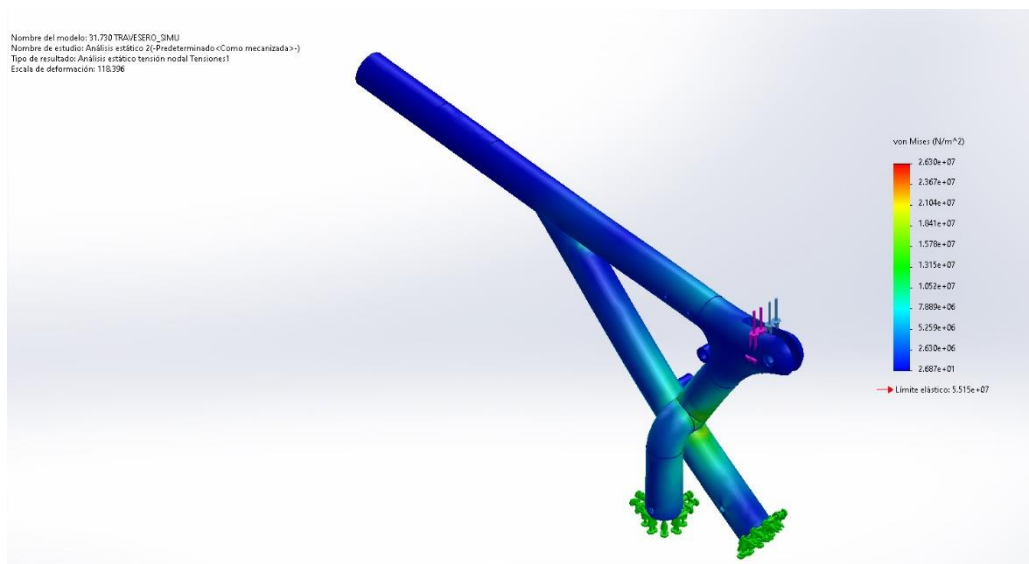


Figura 117. *Análisis de tensiones*

En la figura 117 se puede observar el análisis de tensión por Von Mises con una fuerza de 662.175 N, que es la fuerza que soporta cada chasis cuando el usuario está en posición bípeda. La simulación se realizó con una malla solida (malla basada en curvatura de combinado) con

un número total de nodos de 23177 con el material de aluminio 6061 que cuenta con un límite elástico de 55.148 MPa y el esfuerzo máximo de diseño es de 26.30 MPa, el cual se encuentra en las zonas rojas y esto se halla por debajo del límite elástico del material, indicándonos que el soporte ranurado no se va romper y es apto para la estructura.

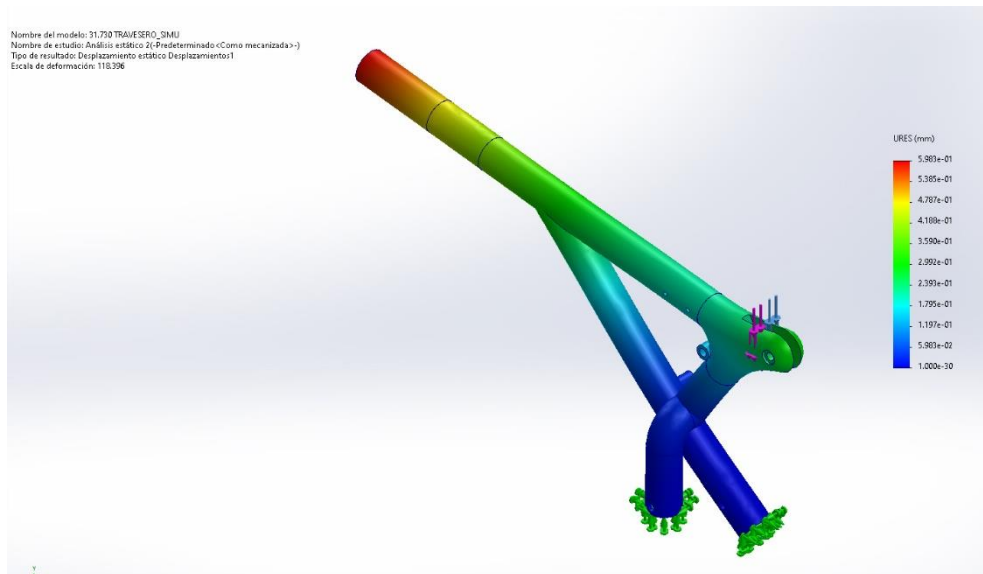


Figura 118. Análisis desplazamientos resultantes

En el estudio de desplazamiento aplicando una fuerza de 490.5 N, nos da el resultado de un desplazamiento máximo que sufre la pieza bajo las cargas aplicadas de 0.5983 mm, el cual es una deformación muy pequeña, indicándonos que la pieza es rígida.

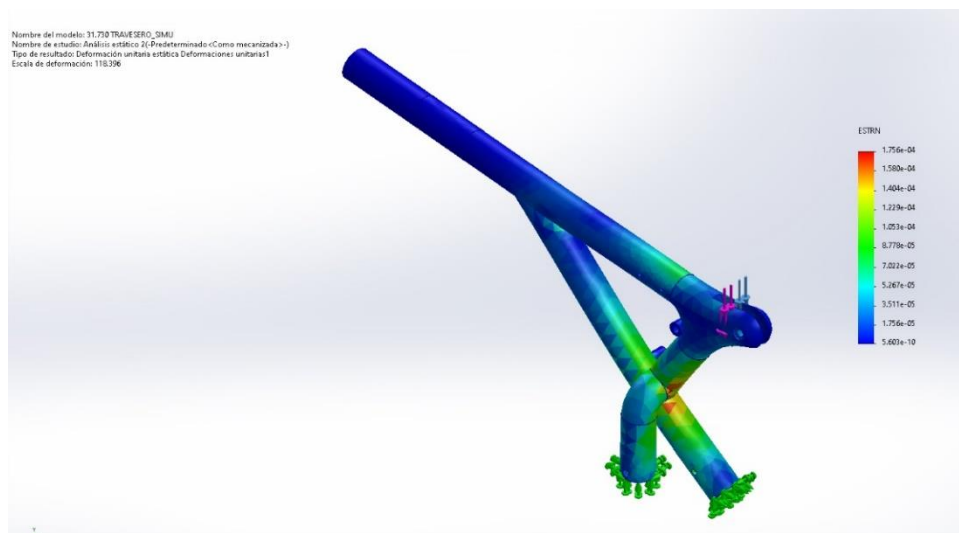


Figura 119. Deformación unitaria equivalente

En el estudio de deformación unitaria equivalente se aplicó una fuerza de 490.5 N, dándonos como resultado una deformación unitaria máximo de 0.0001756, lo cual indica que representa

la relación entre la longitud y la deformación original del material, significando que, por cada metro de material, la pieza se deforma, pero está dentro de su zona elástica.

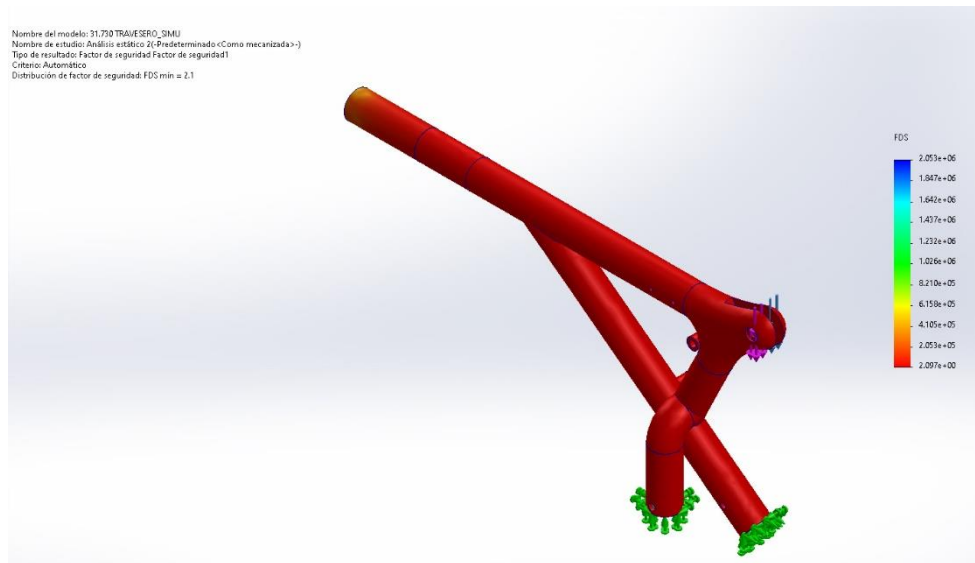


Figura 120. Análisis del factor de seguridad

En el estudio del factor de seguridad aplicando una fuerza de 490.5 N, nos da como resultado un factor de seguridad mínimo de 2.097e+06.

En la figura 120 se presenta el análisis de simulación en Solid Word que se realizó para evaluar la integridad del componente bajo cargas de trabajo máximas. Obteniendo el factor de seguridad mínimo de 2.09 el cual comprueba que la estructura es segura a través de la siguiente fórmula.

$$F.S = \frac{\text{Limite elastico}}{\text{Esfuerzo maximo de diseño}}$$

$$F.S = \frac{55.148 \text{ MPa}}{26.30} = 2.09$$

4.3.5. Componentes adaptables a la fisionomía del usuario

4.3.5.1. Ángulo del asiento

Se puede variar el ángulo del asiento ajustando el eje de la rueda verticalmente en el marco. En la configuración estándar, el ángulo del asiento es de -4° hacia atrás. Ajustando la altura del adaptador del eje es posible ajustar el ángulo del asiento entre -3° y -8° hacia atrás, esto se podrá realizar dependiendo del tamaño de la rueda posterior y de la altura del asiento. No se recomienda tener un angulo de asiento inferior a 3° debido al mayor riesgo de inclinación hacia adelante en la posición de pie.

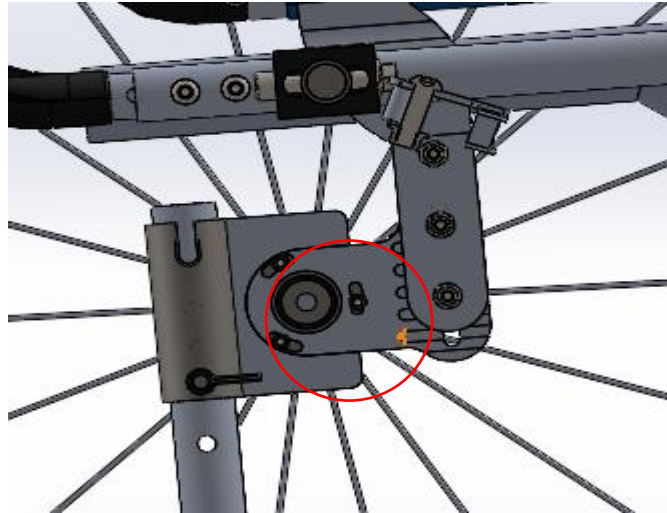


Figura 121. Ángulo del asiento

4.3.5.2. Ajuste del centro de gravedad

Al ajustar el tubo del eje de la rueda trasera, ya sea hacia adelante o hacia atrás, puede aumentar o disminuir la carga de la rueda delantera. Además, mover el tubo del eje hacia adelante mueve el centro de gravedad hacia atrás y hace que la parte delantera sea más liviana (es más probable que se incline hacia atrás); asimismo, mover el tubo del eje hacia atrás mueve el centro de gravedad hacia adelante y hace que la parte delantera sea más estable (es menos probable que se incline hacia atrás). Por otro lado, para evitar posibles accidentes en los que el usuario vuelque hacia atrás, se instalara dispositivos antivuelco.

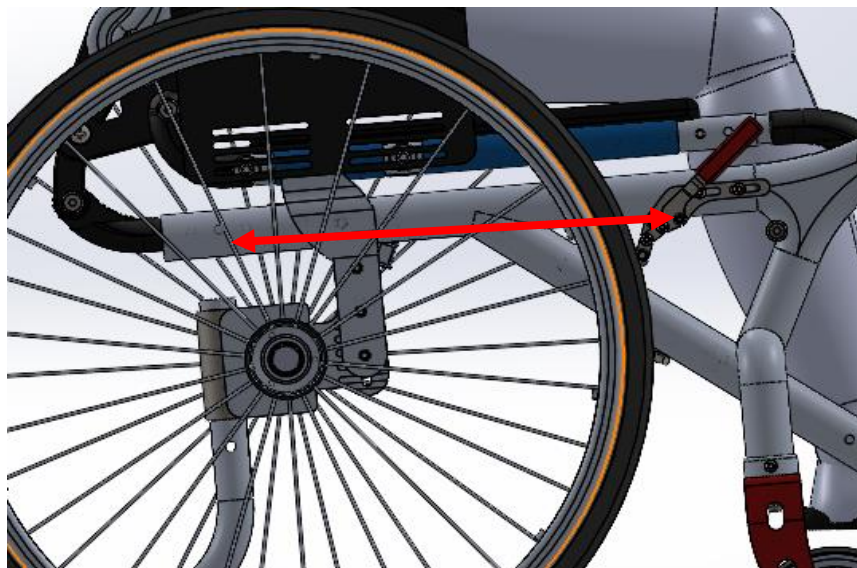


Figura 122. Ajuste del centro de gravedad

4.3.5.3. Altura del asiento/ diámetro de la rueda delantera

La altura del asiento viene dada por la horquilla delantera y el diámetro de la rueda delantera. Hay disponibles horquillas para ruedas delanteras adecuadas para cada altura de asiento. Para

garantizar la posición correcta de pie, es fundamental utilizar la postura de las ruedas, como se observa en la figura 123.

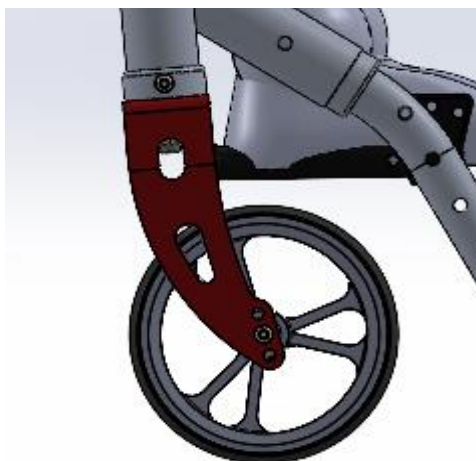


Figura 123. Diámetro de la rueda

4.3.5.4. Ajuste del reposapiés

La altura del reposapiés es importante para una correcta posición tanto sentado como de pie. El reposapiés se regula según la longitud de la pantorrilla del cliente y viene preconfigurado de fábrica según se especifica en el formulario de pedido. Sin embargo, si es necesario se puede ajustar.

Hay tres ángulos posibles para el reposapiés. El ángulo estándar es de 90°. Dependiendo del reposapiés utilizado, puede cambiar el ángulo de 10° a 12° hacia adelante o hacia atrás.

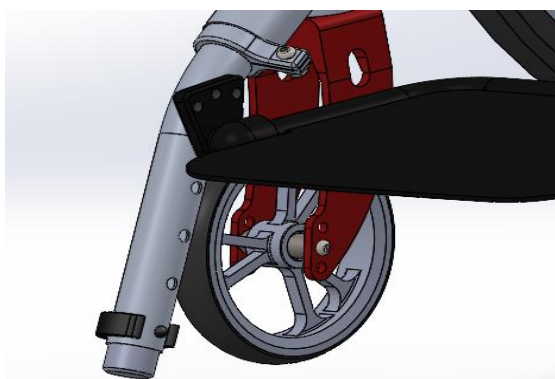


Figura 124. Regulación del reposapiés

4.3.5.5. Ajuste de altura y ángulo del reposabrazos

La altura del reposabrazos se ajustará moviendo los soportes del reposabrazos verticalmente en los tubos del respaldo.

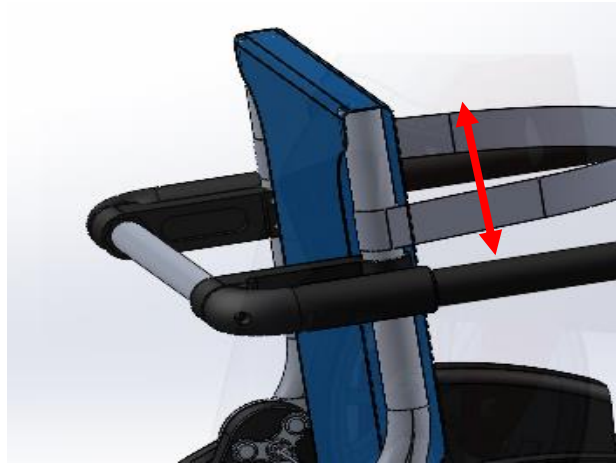


Figura 125. Regulación del reposabrazos

4.4. Discusión de resultados

Los resultados mostraron que la silla de ruedas bípeda para individuos con paraplejia mejora significativamente la calidad de vida de las personas, otorgándole cambiar de posición sentado a de pie sin asistencia de terceros, además, realiza todas las funciones de una silla de ruedas ligera.

Los resultados obtenidos son más favorables para los usuarios comparando con estudios previos, porque la silla de ruedas bípeda diseñada es más ergonómica, ya que se integró un respaldar con tecnología ABC, también al activar el mecanismo de elevación el usuario alcanza una bipedestación casi completa hasta los 85° y esto genera numerosos beneficios para la salud debido a estar de pie con mayor frecuencia, asimismo cuenta con un chasis ligero ágil y compacto que cuenta con excelentes características de conducción tanto en exteriores e interiores, las pruebas de los materiales se realizó a través del programa Solid Word donde se pudo seleccionar un material adecuado para que la silla que pesara 35 kg.

En comparación con la tesis titulada: «Diseño de una silla de ruedas con mecanismo de posicionamiento bípido» de Atarama en el 2021 (16), donde el peso de la silla de ruedas es alrededor de 60 kg, en el presente diseño, la silla de ruedas bípeda es más ligera con un peso aproximado de 35 kg; asimismo, el diseño no es complejo y volumétrico como en el de Atarama, 2021 (16). Otro punto por resaltar es la forma de activar la bipedestación, ya que en el estudio de Atarama (16), el usuario tenía que ejercer fuerza al activar la palanca y solo se podía parar en 9 posiciones; mientras que, en el presente diseño se posiciona al usuario de postura sentada a bípeda y viceversa con un actuador lineal eléctrico activado por un interruptor momentáneo con un módulo de relé que permite invertir el movimiento, con ayuda del actuador lineal eléctrico el usuario podrá detenerse en cualquier posición de 25 ° a 85° generando mayor flexibilidad en el usuario, lo cual mejorará su calidad de vida.

4.5. Estimación de costo

Se procederá a realizar una evaluación de los precios implicados tanto para la fabricación y el diseño de una silla de ruedas con postura bípeda, así como los materiales, accesorios comerciales, componentes estándares, rodajes y contratiempos.

4.5.1. Costo de materiales

El precio de los materiales usados para la elaboración de estructura de asiento, chasis, respaldar, reposapiés y dispositivo de levante se muestran en la tabla 45, por otro lado, el costo de elementos estandarizados (tuercas, arandelas, pernos, rodamientos, pines, etc.) y accesorios comerciales se observan en la tabla 46.

Tabla 45. Lista de materiales y costos

Ítem	Descripción	Material	Unidad	Cant.	Costo Unitario S/ (Inc. IGV)	Costo Total S/ (Inc. IGV)
Chasis de Silla De Rueda.						
Tubo	Redondo de 42x32 mm	Aluminio 6061	Tubo x 6m	1	300.00	300.00
	Redondo de 35x30 mm	Aluminio 6061	Tubo x 3 m	1	60.00	60.00
Plancha	Plancha Gruesa LAC t=6mm	Aluminio 6061	Plancha 1,2x2,4m	1	100.00	100.00
	Plancha Gruesa LAC t= 15 mm	Aluminio 6061	Plancha de 0.40x0.40	1	100.00	100.00
Estructura de Asiento. Plano:						
Tubo	Redondo de 30x26 mm	Aluminio 6061	Tubo x 6m	1	60.00	60.00
Estructura de Respaldo. Plano:						
Tubo	Redondo de 30x26 mm	Aluminio 6061	Tubo x 6 m	1	60.00	60.00
	Redondo de 40x30 mm.	Aluminio 6061	Tubo x 3 m	1	40.00	40.00

Tabla 46. Listado de accesorios comerciales

Ítem	Descripción	Cant.	Costo Unitario S/ (Inc. IGV)	Costo Total S/ (Inc. IGV)
Cojín de Respaldo	Cojín de Espuma Prensada	1	50.00	50.00
Cojín de Asiento	Cojín de Microfibra Siliconada	1	50.00	50.00
Cinturón de Seguridad de 2 puntos para pelvis		1	30.00	30.00
Cinturón de seguridad de 2 puntos para pecho		1	30.00	30.00
Soporte para las rodillas		1	60.00	60.00
Correa de pantorrilla o talón		1	20.00	20.00
Rueda Trasera de 24"		2	100.00	200.00
Aros de Propulsión	Aro de Propulsión Cromado para aro de 24"	2	60.00	120.00
Rueda delantera 6"		2	50.00	100.00
Ruedas Antivuelco posterior		2	5.00	10.00
Pernos y tuercas		20	5.00	100.00
Freno	Freno tipo palanca	2	25.00	50.00
Actuador	Actuador lineal eléctrico de 2000 N de fuerza	1	250.00	250.00
Batería	Batería de 12 V	1	280.00	280.00
Amortiguador de gas	Goodyear de 55 cm de longitud	2	50.00	100.00
			COSTO TOTAL	1580.00

4.5.2. Costos de fabricación

Se analizará cuáles serían los procesos de fabricación para pasar de materiales al producto final. En la siguiente tabla, se indican los primordiales procesos de fabricación, taladrado, torneado, corte a láser, fundición y soldadura.

Tabla 47. Costo de componentes para fabricar cada pieza

Costos de componentes fabricados					
Ítem	Descripción	Proceso	Cant.	Costo unitario (S/)	Costo Total (S/)
1	Fabricación de la estructura del chasis	Ranurado Corte Soldadura Taladro	2.00	S/ 100.00	S/ 200.00
2	Fabricación de la estructura de elevación	Corte Soldadura Taladro	2.00	S/ 50.00	S/ 100.00
3	Fabricación de la estructura de las ruedas antivuelco	Corte Soldadura Taladro	2.00	S/ 50.00	S/ 100.00
4	Fabricación de estructura del respaldar	Corte Taladro Torneado	2.00	S/ 20.00	S/ 40.00
5	Fabricación de estructura del asiento	Corte Taladro	2.00	S/ 10.00	S/ 20.00
6	Fabricación de eje de ruedas de 24"	Corte Torneado	1.00	S/ 50.00	S/ 50.00
7	Fabricación de los ejes de soporte del actuador	Corte Soldadura	2.00	S/ 30.00	S/ 60.00
8	Fabricación de la estructura de apoyabrazos	Taladro Corte	1.00	S/ 50.00	S/ 50.00
9	Fabricación de soporte de giro	Torneado Corte	2.00	S/ 20.00	S/ 40.00
10	Fabricación de la estructura del apoya pies	Corte	1.00	S/ 50.00	S/ 50.00
11	Fabricación de la orquídea de la rueda delantera	Corte Soldadura	2.00	S/ 20.00	S/ 40.00
12	Fabricación del soporte	Corte Taladro Torneado	2.00	S/ 50.00	S/ 100.00

13	Fabricación de guarda de protección	Corte	2.00	S/ 10.00	S/ 20.00
14	Tapicería de asiento	Confección	1.00	S/ 20.00	S/ 20.00
15	Tapicería de respaldo	Confección	1.00	S/ 200.00	S/ 20.00
16	Fabricación de componentes restantes			S/ 100.00	S/ 100.00
Total					S/ 1,010.00

Tabla 48. Síntesis de los costos de fabricación y materiales

Descripción	Costo(S/)
Costo de Materiales	720.00
Costo Accesorios	1580.00
Pintura	40.00
Costo de procesos	1010.00
TOTAL	3350.00

4.6. Diseño final de la silla de ruedas

Se desarrolló el diseño final, los planos de ensamble y despiece, mostrándose en la figura 126 la vista isométrica.

- **Funcionamiento:** para poder activar la silla de ruedas de posición sentado a bípedo o viceversa se tiene que estar en una superficie estable y plana, las ruedas de dirección o ruedas delanteras deben estar giradas en 90° para tener mayor estabilidad. Se inicia el sistema eléctrico a través de un interruptor de encendido, luego se procede a colocar al usuario en posición sentada, y este tendrá que ponerse y ajustar los cinturones de seguridad de pecho, pelvis y rodilla a su comodidad. Después, se pulsa el interruptor momentáneo que se encuentra ubicado en el reposabrazos, este activará un relé y luego el actuador lineal eléctrico, el usuario podrá controlar a que ángulo de inclinación parar el actuador desde los 25° hasta llegar a los 85°, paralelamente el reposapiés se extenderá hasta tocar el suelo y así obtener los 6 puntos de apoyo. Asimismo, el usuario controla el sistema para poder volver a la posición sentado; finalmente, al encontrarse el usuario en postura sentada podrá utilizar la silla de ruedas bípeda como una silla normal.



Figura 126. Vista isométrica del diseño final

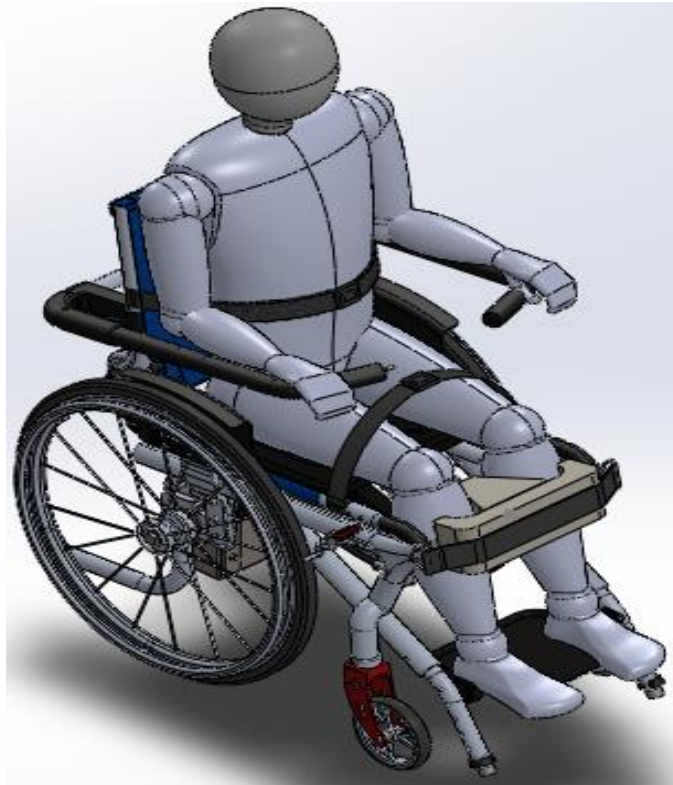


Figura 127. Usuario sentado

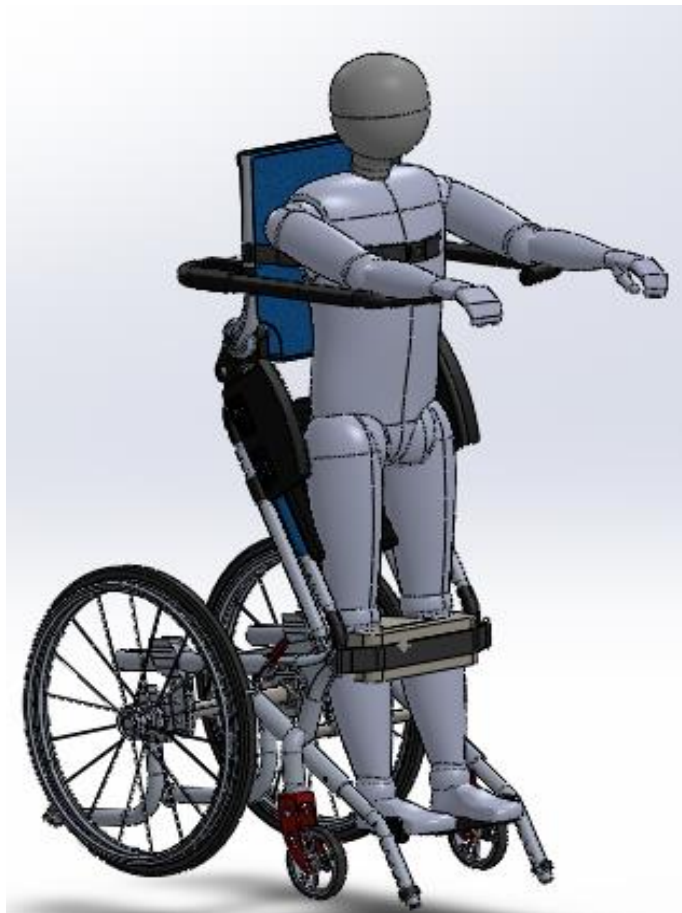


Figura 128. Usuario en posición bípedo

4.7. Planos:

El plano general de ensamblaje se encuentra en anexo 4, mientras que el plano explosivo y tabla de elementos se encuentra en el anexo 5 y 6. La lista de planos de despiece se observa en el anexo 4, la codificación A3, A2, A1 se relaciona al tamaño de la hoja del plano conforme a la norma ISO.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Se alcanzó el objetivo general del presente estudio, ya que se diseñó una silla de ruedas con mecanismo de posicionamiento bípedo para personas con paraplejía de la región Junín, tomando en cuenta la estatura y peso promedio de los adultos de 20 a 65 años con discapacidad motriz (entre ellas la paraplejía) de la región Junín, utilizando el software de Solid Wok y la metodología VDI 2221.
- Asimismo, se logró cumplir el primer objetivo específico, que consistió en analizar las medidas antropométricas del ciudadano de la región de Junín, para ello se consideró una masa máxima del usuario de 100 kg y una masa total estimada de la silla de ruedas con posición bípedo de 35 kg. También, se tomó en cuenta la estatura promedio del usuario de 1,66 m, con base en estos parámetros se procedió al diseño personalizado del dispositivo orientado a usuarios con paraplejía de la región Junín. De esta manera, se garantizó que la estructura de la silla de ruedas fuera capaz de soportar adecuadamente las exigencias de carga requeridas para un uso seguro y eficiente.
- Asimismo, se dio cumplimiento al segundo objetivo específico, orientado a la selección de materiales adecuados para la fabricación de la silla de ruedas bípeda. Se optó por el uso de aluminio 6061 como material principal debido a su buena relación entre resistencia mecánica, peso y resistencia a la corrosión. Adicionalmente, se incorporaron componentes fabricados en acero de carbono ASTM A500 y piezas de plástico ABS-PC, una mezcla de

policarbonato y acrilonitrilo butadieno estireno, por sus propiedades de rigidez y resistencia al impacto. Las dimensiones obtenidas para la configuración en posición sentada fueron aproximadas: altura de 0,7 m, ancho de 0,57 m y longitud de 1,041m; mientras que en la posición bípeda la altura alcanzó los 1,56 m. Estas dimensiones se determinaron considerando tanto las medidas antropométricas promedio de los habitantes de la región Junín como las directrices establecidas en la norma ISO 7176 garantizando así un diseño que cumpla con criterios ergonómicos, funcionales y de disponibilidad de materiales en el mercado nacional.

- También, se logró cumplir con el tercer objetivo específico, relacionado con el diseño de los componentes de una silla de ruedas equipada con un mecanismo de posicionamiento bípeda, orientada a usuarios con paraplejia de la región Junín. El desarrollo se realizó mediante el software SolidWorks, tomando como base los lineamientos establecidos en la norma ISO 7176 y referencias técnicas provenientes de estudios previos. Se llevaron a cabo simulaciones estructurales para los elementos sometidos a mayores solicitaciones durante la transición a la posición erguida, evaluando las zonas críticas de carga. Los resultados demostraron que ninguno de los esfuerzos generados superó los límites elásticos de los materiales empleados, específicamente el aluminio 6061 y el acero estructural ASTM A500.

Este análisis permitió optimizar el diseño reduciendo masa innecesaria en los componentes, sin comprometer la resistencia estructural, alcanzando así un peso total de 35 kg para la silla de ruedas. Cada elemento fue desarrollado para cumplir eficazmente su función individual y colaborar de forma integrada en el soporte del usuario durante la bipedestación. Además, el sistema fue complementado con frenos de tipo palanca, diseñados para bloquear las ruedas posteriores y proporcionar estabilidad adicional al efectuar el cambio de postura.

- Finalmente, se cumplió el cuarto objetivo específico, se diseñó los mecanismos de suspensión, elevación y estabilidad con las consideraciones biomecánicas de una silla de ruedas con mecanismo de posicionamiento, para individuos con paraplejia en la región Junín. El mecanismo de elevación cuenta con 6 puntos de apoyo al activarse, el cual se realiza a través de un actuador lineal eléctrico (IP65 de 12 V); además, en el mecanismo de suspensión se incorporó 2 amortiguadores a gas GOOD YEAR que mejoraran el mecanismo de suspensión en terrenos duros; finalmente, en el mecanismo de estabilidad se incorporó ruedas antivuelco en la zona posterior para evitar volcaduras. La silla de ruedas con posicionamiento bípedo cumple a cabalidad también la seguridad, debido a que cuenta con

cinturones de seguridad a la altura del pecho, pelvis y un fijador de rodilla; adicionalmente se añadió un fijador de pantorrillas cumpliendo con los estándares establecidos por la ISO 7176.

5.2 Recomendaciones

- Es aconsejable que futuros desarrollos de dispositivos de asistencia destinados a personas con paraplejia se basen en parámetros antropométricos propios de la población beneficiaria. Esta práctica favorece una mayor adecuación ergonómica, incrementa la seguridad estructural del equipo y mejora su desempeño funcional. Asimismo, se recomienda actualizar estos datos mediante estudios periódicos en la región, considerando que las características físicas de la población pueden cambiar con el tiempo debido a factores ambientales, sociales o de estilo de vida.
- Se recomienda que en el diseño y fabricación de futuras sillas de ruedas bipedestadoras se priorice el uso de materiales y componentes de origen nacional o de fácil acceso en el mercado local. Esta estrategia no solo permite reducir los costos de producción y mantenimiento, sino que también favorece la sostenibilidad del proyecto, facilita la reparación en caso de fallos y contribuye al fortalecimiento de la industria local.
- Se recomienda continuar utilizando herramientas de simulación estructural como SolidWorks Simulation para el análisis de esfuerzos en componentes críticos del diseño de sillas de ruedas bipedestadoras. No obstante, para ampliar y validar los resultados es aconsejable complementar estos estudios con software avanzado como ANSYS Mechanical, Autodesk Inventor Nastran o Abaqus, que permiten realizar análisis más complejos, incluyendo fatiga, pandeo, contactos no lineales y vibraciones.
- Es primordial señalar que la acción de ubicar en posición bípeda al cliente es eléctricamente; y para prevenir accidentes, es primordial respetar los rangos de peso del cliente comprendidas entre 60 y 100 kg.
- Para usar el dispositivo es fundamental la capacitación a la persona en relación al funcionamiento del producto, con el fin de que el mecanismo no sufra alteraciones por usos indebidos.

- Al pasar de posición sentada a bípeda puede cargar el cuerpo de un manera que no esté acostumbrado, se recomienda consultar con su médico o fisioterapeuta para asegurarse que no existan contraindicaciones.
- Al realizar el uso de las funciones que tiene el dispositivo es fundamental usar los accesorios de seguridad, para prevenir que los clientes sufran accidentes.
- Finalmente, este trabajo de investigación podrá usarse como guía o base para la creación de investigaciones o proyectos futuros, que se basen en el progreso de una silla de ruedas con posicionamiento bípedo o equivalentes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ARJONA, Gonzalo. *Accesibilidad Universal*. [En línea] 4 de Diciembre de 2012. [Citado el: 10 de mayo de 2022.] <http://periodico.laciudadaccesible.com/portada/opinion-la-ciudad-accesible/item/2466-la-historia-de-la-accesibilidad-la-silla-de-ruedas-y-los-problemas-de-audicion-y-vision>.
2. AGUILAR, Alex. Diseño de una silla de ruedas bípeda para personas con discapacidad motriz en las extremidades inferiores. Tesis (Título de Ingeniero Mecatrónico) . Lima: Perú : Universidad Tecnológica del Perú, 2020, 126 pp.
3. ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. *Discapacidad*. [En línea] 24 de noviembre de 2021. [Citado el: 10 de febrero de 2024.] <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/disability-and-health>.
4. INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS Y CENSOS DE ARGENTINA. *Estudio Nacional sobre el Perfil de las Personas con Discapacidad*. Buenos Aires : s.n., 2018. ISBN 978-950-896-532-5.
5. CONSEJO NACIONAL PARA LA INTEGRACIÓN DE LAS PERSONAS CON DISCAPACIDAD (CONADIS). *Compendio Estadístico*. Lima - Perú. : CONADIS, 2017.
6. INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA. *Perfil Sociodemográfico del Perú*. Lima : INEI, 2017.
7. CONSEJO NACIONAL PARA LA INTEGRACIÓN DE LA PERSONA CON DISCAPACIDAD (CONADIS). *Informe estadístico del Registro Nacional de la Persona con Discapacidad- Reporte enero 2022*. Lima : CONADIS, 2022.
8. SAVEDRA, Ronal, GARCÍA, Eduin y SAN ANTONIO, Thalía. Diseño de un equipo de bipedestación. *Revista INGENIERÍA UC*, 2013, 20 (1), 25 - 33.
9. ESPÍN, Victor. Diseño estructural de una silla de ruedas de bipedestación con sistema de verticalización y la incidencia en su eficiencia energética. Tesis (Magister en Diseño Mecánico). Ibarra: Ecuador : Universidad Técnica de Ambato, 2018.
10. TAMBOCO, Oscar. Construcción de una silla de ruedas eléctrica para bipedestación. Tesis (Magister en Diseño Mecánico). Ibarra: Ecuador : Universidad Técnica del Norte, 2017.
11. AYALA, Luis. Diseño y construcción de una silla bipedestadora para personas con discapacidad en sus extremidades inferiores. Tesis (Magister en Diseño Mecánico). Riobamba: Ecuador : Escuela superior politecnica de Chimborazo, 2021.
12. BATALLAS, David. Diseño de una silla bipedestadora para terapias de rehabilitación y reeducación física para personas adultos con un peso máximo de 100 kg. Tesis (Título de Ingeniero Mecánico). Riobamba: Ecuador : Escuela Superior Politécnica de Chimborazo., 2022.

13. BEDÓN, Luis. Sistema de control para la movilidad y extensión de una silla de ruedas eléctrica de bipedestación. Tesis (Ingeniero en Electrónica y Comunicaciones). Ambato: Ecuador. : Universidad Técnica de Ambato, 2017, 97 pp.
14. ENDARA, Wilian y WILCA, Sandro. Diseño y fabricación de una silla de ruedas Bipedestadora multi postura con sistema de desplazamiento horizontal y vertical para la empresa Sayan. Tesis (Título de Ingeniero Electromecánico). Latacunga: Ecuador : Universidad Técnica de Cotopaxi, 2023, 106 pp.
15. GRANADOS, Julio. Efecto de la rehabilitación en la calidad de vida de personas con lesión medular. *An Fac med.* 2020;81(1), 6-13. <https://orcid.org/0000-0001-5772-9220>.
16. ATARAMA, Carlos. Diseño de una silla de ruedas con mecanismo de posicionamiento bípedo. Tesis (Título de Ingeniero Mecánico). Lima - Perú: Pontifica Universidad Católica del Perú., 2021.
17. CARRETERO, Camilo. Propuesta conceptual en el diseño de una silla de ruedas con sistema de posicionamiento bípedo para personas con paraplejias. Bachiller (Ciencias con mención en Ingeniería Mecatrónica). Lima: Perú : Pontífica Universidad Católica del Perú., 2022.
18. LÉVANO, Luis. Diseño de una silla de ruedas mecatrónica funcional para mejorar la accesibilidad de un adulto con paraplejia. Tesis (Título de Ingeniero Mecatrónico). Lima-Perú : Universidad Ricardo Palma, 2020.
19. SÁNCHEZ, José. Silla de ruedas con cambio de posición de sentado a erguido para asistir la discapacidad motora de miembros inferiores en adultos – 2019. Tesis (Título de Ingeniero Mecatrónico). Lima - Perú : Universidad Privada del Norte de Lima, 2019.
20. BASTIDAS, Clinton. Configuración de una silla de ruedas ergonómica inteligente para cuadripléjicos. Tesis (Título de Ingeniero Mecatrónico). Huancayo: Perú - Universidad Nacional del Centro del Perú, 2019.
21. AYALA, Anthony. Diseño de silla de ruedas económica para el desplazamiento en escaleras-Piura, 2019. Tesis (Título de Ingeniero Industrial). Piura: Perú : Univercidad Cesar Vallejo, 2019.
22. ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. *Clasificación Internacional de Deficiencias, Discapacidades y Minusvalías (CIDDM)*. [En línea] 1980. [Citado el: 10 de Febrero de 2024.] <https://www.un.org/esa/socdev/enable/dpbe19992c.htm>. 2/1999.
23. CONGRESO DE LA REPÚBLICA LEY N°27050. *Ley General de la Persona con Discapacidad*. Lima : Diario oficial "El Peruano", 1999.
24. ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. *Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la Discapacidad y de la Salud (CIF)*. s.l. : Datos para la catalogación

- en la Librería de la OMS (WHO Library Cataloguingin-Publication Data), 2001. 92 4 154542 9.
25. MINISTERIO DE LA MUJER Y POBLACIONES VULNERABLES. *Aproximaciones sobre la Discapacidad en el Perú*. Lima: Perú : Consejo Nacional para la Integración de la Persona con Discapacidad - CONADIS., 2020. 1.
 26. CONSEJO NACIONAL DE LA INTEGRACIÓN DE LA PERSONA CON DISCAPACIDAD. *Compendio Estadístico*. Lima: Perú : El Perú Primero, 2000 - 2017.
 27. CLEVELAND CLINIC. *Paraplejía. Definición, causas, síntomas, tipos y tratamiento*. [En línea] Clínica Cleveland, 2023. [Citado el: 2025 de Junio de 23.] Paraplegia. <https://my.clevelandclinic.org/health/symptoms/23984-paraplegia>.
 28. INSTITUTO NACIONAL DE REHABILITACIÓN. *Análisis de la situación de la discapacidad en el Perú 2007*. Lima: Perú : Ministerio de Salud, 2008.
 29. MYSKA, David. *Máquinas y mecanismos*. México : Pearson educación, 2012. 978-607-32-1215-1.
 30. PDM MOBILITY STORY. *Ponte de pie*. [En línea] Minerva, 2022. [Citado el: 10 de 05 de 2025.] <https://pdmmobilitystore.com/pages/bipedestacion>.
 31. HUERTA, Jaime. *Discapacidad y Accesibilidad. La Dimensión Desconocida*. Lima: Perú : Fondo Editorial del Congreso del Perú., 2006.
 32. CONGRESO DE LA REPÚBLICA LEY N° 27920. *Ley que establece sanciones por el incumplimiento de las Normas Técnicas de Edificación NTE U.190 y NTE A.060*. Lima : Diario Oficial "El Peruano", 2001.
 33. CONGRESO DE LA REPÚBLICA LEY N°27050. *Ley General de la Persona con Discapacidad*. Lima : Diario Oficial "El Peruano", 1999.
 34. MINISTERIO DE TRASPORTES Y COMUNICACIONES. *Adecuación Urbanística para Individuos con Discapacidad - Norma Técnica de Edificación NTE U.190*. Lima: Perú : s.n., 2000-2001.
 35. CONGRESO DE LA REPÚBLICA LEY N°23347. *Ley en favor de los impedidos físicos que utilizan sillas de ruedas*. Lima : Diario Oficial "El Peruano", 1981.
 36. CONGRESO DE LA REPÚBLICA LEY N° 28164. *Ley General de la Persona con Discapacidad*. Lima : Diario oficial "El Peruano", 2004.
 37. CONGRESO DE LA REPÚBLICA LEY N°28084. *Ley que Regula el Parqueo Especial para Vehículos Ocupados por Personas con Discapacidad*. Lima: Perú : Diario Oficial "El Peruano", 2009.
 38. CONGRESO DE LA REPÚBLICA LEY N° 27920. *Ley que establece sanciones por incumplimiento de normas técnicas*. Lima : Diario oficial "El Peruano", 2012.

39. LUENGAS, Contreras, CAMARGO, Casallas y SÁNCHEZ, Prieto. *Estudio de los rangos articulares en la bipedestación estática en personas normales vs. Amputados transtibiales*. Bogotá: Colombia : Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2013. 0123-921X.
40. WINTER, D. *Human balance and posture control during standing and walking*. Canada : Gait&Posture., 1995.
41. SHI, Yaochen, MENG, Lingyang y CHEN, Daimin. *Human Standing-Up Trajectory Model and Experimental Study on Center-Of -Mass Velocity*. China : IOP Conference Series Materials Science and Engineering, 2019. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/612/2/022088>.
42. KARMA. *Historia de la silla de ruedas*. [En línea] KARMA MEDICAL, 26 de 04 de 2020. [Citado el: 27 de 03 de 2024.] [https://www.karmamobility.es/2020/04/historia-de-la-silla-de-ruedas/#:~:text=La%20primera%20silla%20de%20ruedas%20conocida%20\(inventada%20en%201595%20y,un%20chasis%20de%20tres%20ruedas..](https://www.karmamobility.es/2020/04/historia-de-la-silla-de-ruedas/#:~:text=La%20primera%20silla%20de%20ruedas%20conocida%20(inventada%20en%201595%20y,un%20chasis%20de%20tres%20ruedas..)
43. GORGUES, José. *Selección y adaptación de sillas convencionales*. Valencia : Offarm, 2005.
44. FERNANDÉZ DE LA TORRE, Pablo. *Análisis y Optimización estructural y dinámica de una silla de ruedas con motor eléctrico*. Valencia : Universidad Politécnica de Valencia., 2020.
45. BLAUWET, Chery y DONOVAN, Jayne. *Los Deportes Adaptados y las Actividades Recreativas*. Estados Unidos : Sistemas Modelo de Lesión de la Médula Espina., 2016.
46. FERNÁNDEZ, Macarena. El definido. *La silla de ruedas que permite ponerse de pie sin ayuda*. [En línea] El definido, 14 de 07 de 2017. [Citado el: 15 de 11 de 2024.] <https://eldefinido.cl/actualidad/mundo/8766/La-silla-de-ruedas-que-permite-ponerse-de-pie-sin-ayuda/>.
47. DRAGON. *Silla de ruedas motorizada para subir escaleras*. [En línea] [Citado el: 13 de 10 de 2022.] <https://es.dragonmfc.com/Silla-de-ruedas-motorizada-para-subir-escaleras-pd45020133.html>.
48. TOPMEDIC. *Silla de Rueda Pediátrica*. [En línea] [Citado el: 13 de 10 de 2022.] <https://topmedic.cl/producto/silla-de-rueda-pediatrica/>.
49. ORTOWEB. *Sillas de ruedas eléctricas Sunrise Medical Serie Q*. [En línea] 19 de 05 de 2019. [Citado el: 13 de 10 de 2022.] <https://www.ortoweb.com/blogortopedia/sillas-de-ruedas-electricas-sunrise-medical-serie-q/>.
50. ORTOPEDIA DE ORTOWEB. *La silla de ruedas eléctrica y plegable de Sunrise Medical*. [En línea] 21 de 09 de 2020. [Citado el: 13 de 10 de 2022.]

- <https://www.ortoweb.com/blogortopedia/quicke-q50r-la-silla-de-ruedas-electrica-y-plegable-de-sunrise-medical/>.
51. FIGUEROA, Jannet. *LOH Medical*. [En línea] 20 de 05 de 2015. [Citado el: 13 de 10 de 2022.] <https://espanol.lohmedical.com/noticias/sabes-si-tu-pais-cumple-con-los-requisitos-basicos-para-suministro-de-sillas-de-ruedas-/>.
 52. COOPER, R, ROBERTSON, R y BONINGER, M. *Un modelo biomecánico de sillas de ruedas bipedestadoras*. [En línea] Conferencia Internacional de la Sociedad de Ingeniería en Medicina y Biología, 1995. [Citado el: 125 de 10 de 2024.] <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=579632&isnumber=12476.10.1109/IEMBS.1995.579632..>
 53. PAJUELO, Jaime, TORRES, Lizardo, AGUERO, Rosa y BERNUI, Ivonne. *El sobrepeso, la obesidad y la obesidad abdominal en la población adulta del Perú*. Perú. : An. Fac. med., 2019. 1.
 54. INSTITUTO NACIONAL DE SALUD. *Estadi nutricional en el Perú 2009-2010*. Lima: Perú : Observate Perú, 2011.
 55. FIRGELLI AUTOMATIONS. *Controles del actuador*. [En línea] 2002. [Citado el: 15 de 08 de 2024.] <https://www.firgelliauto.com/es/collections/switches>.
 56. TAMESON. *Que es un actuador tipos y aplicaciones*. [En línea] Centro de informacion tecnica, 2025. [Citado el: 15 de 01 de 2025.] <https://tameson.es/pages/actuador#:~:text=Los%20actuadores%20pueden%20clasificarse%20en,rotativo%20en%20una%20trayectoria%20circular..>
 57. HIBBELER, Russell. *Ingeniería Mecánica-Estática*. Mexico : Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana, 2010. 1031.
 58. BUDYNAS, G. y NISBETT, k. *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*. México : MCGRAW-HILL/InterAmericana Editores S.A., 2008. 01376.
 59. AENOR. *Terminos y definiciones para soldeo en relacion con la Norma EN 1792*. Madrid: España : AENOR, 2006. 14599.
 60. SOLDEXA. *Manual de soldadura*. Lima: Perú : Oerlikon, 1995.
 61. FUENTES, Javier. *Diseño de una silla de ruedas con bipedestación para personas con movilidad reducida*. Curicó-Chile. : Talca, 2022.
 62. SKF PERÚ. *Rodamiento rigido de bolas*. [En línea] AB SKF. [Citado el: 05 de 02 de 2025.] <https://www.skf.com/pe/products/rolling-bearings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings>.
 63. FABRICA SUECA DE RODAMIENTOS DE BOLAS-SKF. *Rodamiento rigidos de dos hileras de bolas*. [En línea] AB SKF. [Citado el: 05 de 02 de 2025.] <https://www.skf.com/pe/footer/privacy-policy>.

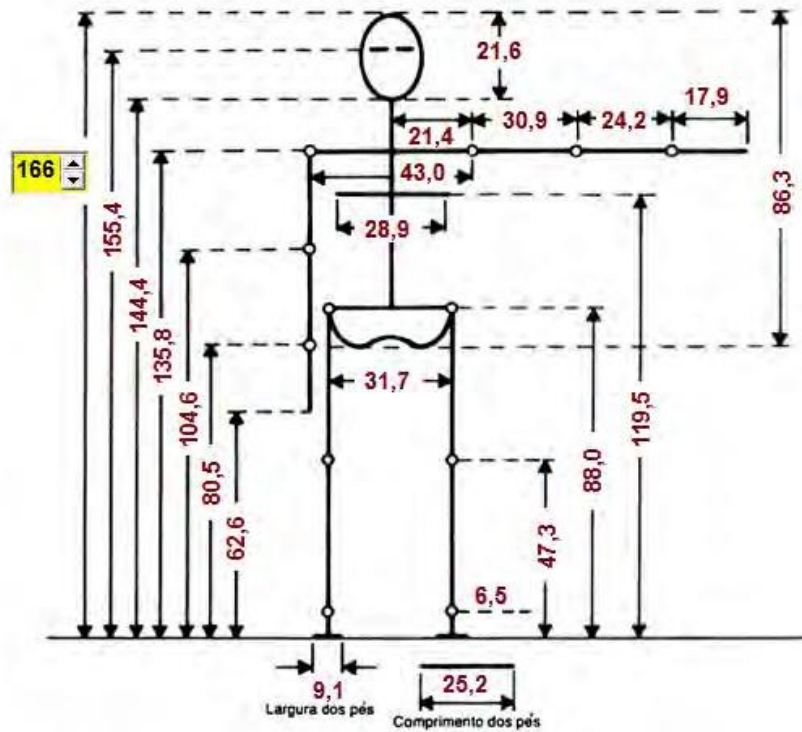
64. ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE NORMALIZACIÓN. *Silla de ruedas- Metodos de ensayos y requisitos*. Ginebra : ISO-7176, 2023. 7176-2023.
65. HERNANDEZ, Roberto, FERNANDEZ, Carlos y BAPTISTA, Pilar. *Metodologia de la investigacion 6.^a ed.* México : MCGRAW-HILL / Interamericana Editores, S.A., 2014. 978-1-4562-2396-0.
66. RIBA, C. *Diseño concurrente*. Barcelona - España : Edicions UPC, 2002.

ANEXOS

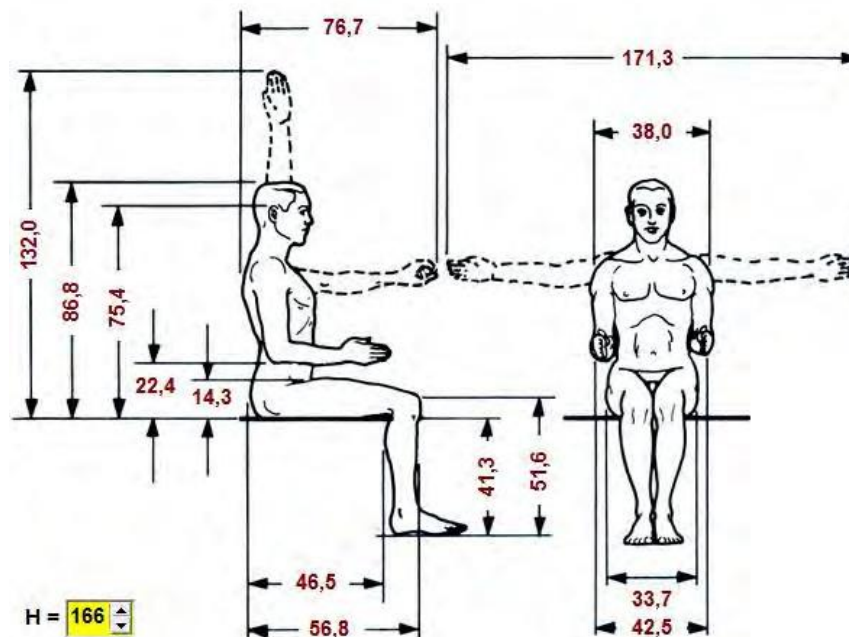
Anexo 1

Medidas antropométricas para una persona

Medidas antropométricas para una persona en posición vertical



Medidas antropométricas para una persona en posición sentada



Anexo 2

Ficha técnica del aluminio 6061

Aleación de aluminio 6061: propiedades

Características generales

Característica	Evaluación
Fortaleza	Medio a alto
Resistencia a la corrosión	Bien
Soldabilidad y capacidad de soldadura fuerte	Bien
Trabajabilidad	Bien
Maquinabilidad	Bien

Composición química

Elemento	% mínimo	Máximo %
Magnesio	0,8	1,2
Silicio	0,4	0,8
Hierro	Sin mínimo	0,7
Cobre	0,15	0,4
Manganeso	Sin mínimo	0,15
Cromo	0,04	0,35
Zinc	Sin mínimo	0,25
Titanio	Sin mínimo	0,15
Otros elementos	Sin mínimo	0,05 cada uno, 0,15 en total

Propiedades físicas

Propiedad	6061-T4	6061-T6
Densidad	2,70 g/cc 0,0975 lb/pulgada ³	2,70 g/cc 0,0975 lb/pulgada ³

Propiedades mecánicas

Propiedad	6061-T4	6061-T6
Resistencia a la tracción	241 MPa 35000 psi	310 MPa 45000 psi
Fuerza de fluencia	145 MPa 21000 psi	276 MPa 40000 psi
Módulo de elasticidad	68,9 GPa 10 000 ksi	68,9 GPa 10 000 ksi

Propiedades térmicas

Propiedad	6061-T4	6061-T6
Coefficiente de Térmica Expansión a una temperatura de 20,0 - 100 °C	23,6 µm/m-°C 13,1 µin/in-°F	23,6 µm/m-°C 13,1 µin/in-°F
Conductividad térmica	154 W/mK 1070 BTUin/h-ft ² -°F	167 W/mK 1160 BTUin/h-ft ² -°F

Anexo 3

Especificaciones técnicas del acero ASTM A500

Descripción

Los tubos galvanizados Precor son electrosoldados, fabricados de acero con recubrimiento galvanizado. Los tubos metálicos son conformados en frío mediante el proceso de perfilado "Rollforming" y soldados por resistencia eléctrica por inducción de alta frecuencia longitudinal (ERW); el recubrimiento galvanizado protege el acero evitando que se oxide y prolonga su vida útil. Son utilizados para rejas, barandas, escaleras y diferentes aplicaciones de acero expuesto a agentes ambientales.

Características

Material	: Acero galvanizado ASTM A653
Norma de fabricación	: ASTM A 500
Tipo de corte	: Flying Shear
Fy	: 2530 kg/cm ² (Límite Elástico)
Longitud estándar	: 6m. Otras medidas ha pedido. Máximo 13m
Recubrimiento	: 120 g/m ² (en ambas caras) (G-40)

Ventajas

- ✓ Sistema Flying Shear permite excelente corte - acabado superficial.
- ✓ Bordes sin abolladuras que permite utilizar el 100% del tubo (No requiere corte para eliminar el borde).
- ✓ Alta resistencia estructurales.
- ✓ Flexibilidad de diseño.
- ✓ Apariencia limpia, atractiva y de fácil mantenimiento.
- ✓ Mayor protección contra la corrosión.
- ✓ Mayor vida útil.

Presentaciones

REDONDO

MM	Pulgadas	Espesor(es)		
		1,5 mm	1,8 mm	2,0 mm
48	1 1/2"	x	x	x
60	2"	x	x	x

RECTÁNGULO

Lado Mayor (D)	Lado Menor (B)	Pulgadas	Espesor(es)				
			0,9 mm	1,2 mm	1,5 mm	1,8 mm	2,0 mm
50	25	2 x 1"	x	x	x	x	x
60	40	2 1/2" x 1 1/2"			x	x	x
80	40	3 1/2" x 1 1/2"			x	x	x

CUADRADO

MM	Pulgadas	Espesor(es)				
		0,9 mm	1,2 mm	1,5 mm	1,8 mm	2,0 mm
38	1 1/2"		x	x	x	x
50	2"			x	x	x
1"		x	x			

Tolerancia

TOLERANCIA DIMENSIONALES	REDONDO	CUADRADO	RECTÁNGULO
LADOS Y DIÁMETROS	De 48 : +/- 0.24 De 60 : +/- 0.45	De 25.4 (1 pulg.) : +/- 0.5 De 38 : +/- 0.5 De 50 : +/- 0.5	De 50.8x25.4 (2x1 pulg.) : +/- 0.5 De 50x25 : +/- 0.5 De 60x40 : +/- 0.5 De 80x40 : +/- 0.5
ESPESOR DE TUBO (e)	De : 0.90 De : 1.20 De : 1.50 De : 1.80 De : 2.00	0.80<e=0.90<1.00 1.07<e=1.20<1.33 1.37<e=1.50<1.63 1.65<e=1.80<1.95 1.85<e=2.00<2.15	
RECTITUD	12 mm		
LONGITUD	0 - 13 mm		



Anexo 4

Especificaciones técnicas del actuador lineal eléctrico IP65

Specifications



2000N Linear Actuator	
Max Push Load	2000N/440lbs
Max Pull Load	1500N/330lbs
Input Voltage	DC 12V
Load Travel Speed	0.22inch/sec
Max Load Current	5A
Protection Rating	IP65
Noise Level	dB<50
Duty Cycle	10%
Limit Switch	Built-in
Main Material	Aluminium Alloy
Ambient Temperature	-20° C to +60°C



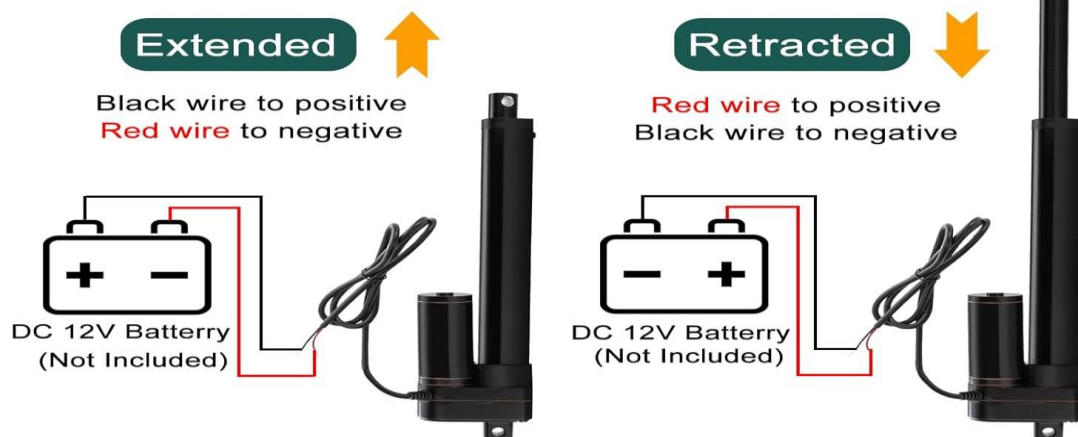
Load up to 440lbs

Wiring Diagram

Recommend:

-In order to make sure the device performance and safety, please use 12V DC battery or DC 12V 5A adapter (not included) .

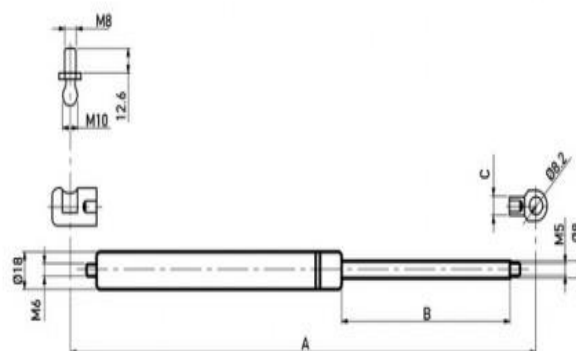
-Can used with controller(not included) to control linear actuator extend and retract.



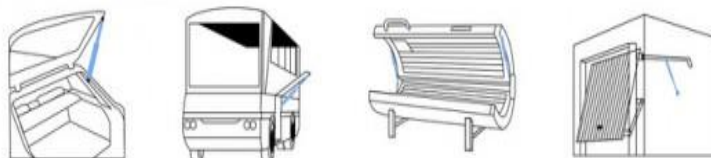
Anexo 5

Especificación técnica de los amortiguadores a gas GOODYEAR

AMORTIGUADORES DE GAS / GAS SPRINGS



Posibles usos / Possible uses



REF.	N	"A"	"B"	Ø C
GY080200010	100	200	62	8
GY080200015	150	200	62	8
GY080200020	200	200	62	8
GY080200025	250	200	62	8
GY080200030	300	200	62	8
GY080200035	350	200	62	8
GY080200040	400	200	62	8
GY080200045	450	200	62	8
GY080200050	500	200	62	8
GY080200055	550	200	62	8
GY080200060	600	200	62	8
08080200065	650	200	60	8
08080200070	700	200	60	8
08080200075	750	200	60	8
08100200080	800	200	60	10
GY080250010	100	250	82	8
GY080250015	150	250	82	8
GY080250020	200	250	82	8
GY080250025	250	250	82	8
GY080250030	300	250	82	8
GY080250035	350	250	82	8
GY080250040	400	250	82	8
GY080250045	450	250	82	8
GY080250050	500	250	82	8
GY080250055	550	250	82	8
GY080250060	600	250	82	8
08080250065	650	250	80	8
08080250070	700	250	80	8
08080250075	750	250	80	8
08100250080	800	250	80	10
GY080300010	100	300	112	8
GY080300015	150	300	112	8
GY080300020	200	300	112	8
GY080300025	250	300	112	8
GY080300030	300	300	112	8
GY080300035	350	300	112	8
GY080300040	400	300	112	8
GY080300045	450	300	112	8
GY080300050	500	300	112	8
GY080300055	550	300	112	8
GY080300060	600	300	112	8
08080300065	650	300	110	8
08080300070	700	300	110	8
08080300075	750	300	110	8
08100300080	800	300	110	10
GY080350010	100	350	142	8
GY080350015	150	350	142	8
GY080350020	200	350	142	8
38080350025	250	350	142	8
GY080350030	300	350	142	8
GY080350035	350	350	142	8
GY080350040	400	350	142	8
GY080350045	450	350	142	8
GY080350050	500	350	142	8
GY080350055	550	350	142	8
GY080350060	600	350	142	8
08080350065	650	350	140	8
08080350070	700	350	140	8
08080350075	750	350	140	8
08100350080	800	350	140	10
GY080400010	100	400	172	8
GY080400015	150	400	172	8
GY080400020	200	400	172	8
GY080400025	250	400	172	8
GY080400030	300	400	172	8
GY080400035	350	400	172	8
GY080400040	400	400	172	8
GY080400045	450	400	172	8
GY080400050	500	400	172	8
GY080400055	550	400	172	8
GY080400060	600	400	172	8
GY080400065	650	400	170	8
38080400070	700	400	170	8
38080400075	750	400	170	8
08100400080	800	400	150	10
GY080450010	100	450	192	8
GY080450015	150	450	192	8
GY080450020	200	450	192	8
GY080450025	250	450	192	8
GY080450030	300	450	192	8
GY080450035	350	450	192	8
GY080450040	400	450	192	8
GY080450045	450	450	192	8
GY080450050	500	450	192	8
GY080450055	550	450	192	8
GY080450060	600	450	192	8
GY080450065	650	450	190	8
GY080450070	700	450	190	8
GY080450075	750	450	190	8
08100450080	800	450	170	10
GY080500010	100	500	212	8
GY080500015	150	500	212	8
GY080500020	200	500	212	8
GY080500025	250	500	212	8
GY080500030	300	500	212	8
GY080500035	350	500	212	8
GY080500040	400	500	212	8
GY080500045	450	500	212	8
GY080500050	500	500	212	8

Anexo 6

Especificaciones técnicas de las planchas de acero ASTM

PLANCHAS DE ACERO ASTM A36, ASTM A6 LAMINADA EN CALIENTE LAC



* Imagen referencial

Material: ASTM A36.
Tolerancias: ASTM A6.

Anchos de 4' (1200 mm), 5' (1500 mm) y
10' (3000 mm).
Largos de 8' (2400 mm) y 10' (3000 mm) y
20' (6000 mm).

Se mide en espesor x ancho x largo.

TOLERANCIAS EN ESPESOR ASTM A6

Espesor Especificado	Variaciones permitidas sobre el espesor especificado para anchos							
	Sobre 1200 hasta 1500, excl		Sobre 1500 hasta 1800, excl		Sobre 2400 hasta 2700, excl		Sobre 3000 hasta 3300, excl	
pulg [mm]	pulg	mm	pulg	mm	pulg	mm	pulg	mm
Hasta 1/4 [6], excl	0.03	0.76	0.03	0.76	0.03	0.76	0.03	0.76
1/4 [6] hasta 5/16 [8], excl	0.03	0.76	0.03	0.76	0.03	0.76	0.04	1.02
5/16 [8] hasta 3/8 [9], excl	0.03	0.76	0.03	0.76	0.03	0.76	0.04	1.02
3/8 [9] hasta 7/16 [11], excl	0.03	0.76	0.03	0.76	0.03	0.76	0.04	1.02
7/16 [11] hasta 1/2 [12], excl	0.03	0.76	0.03	0.76	0.03	0.76	0.04	1.02
1/2 [12] hasta 5/8 [16], excl	0.03	0.76	0.03	0.76	0.03	0.76	0.04	1.02
5/8 [16] hasta 3/4 [19], excl	0.03	0.76	0.03	0.76	0.04	1.02	0.04	1.02
3/4 [19] hasta 1 [25], excl	0.03	0.76	0.03	0.76	0.04	1.02	0.05	1.27
1 [25] hasta 2 [50], excl	0.06	1.52	0.06	1.52	0.07	1.78	0.10	2.54
2 [50] hasta 3 [75], excl	0.09	2.29	0.09	2.29	0.11	2.79	0.13	3.30
3 [75] hasta 4 [100], excl	0.11	2.79	0.11	2.79	0.13	3.30	0.14	3.56

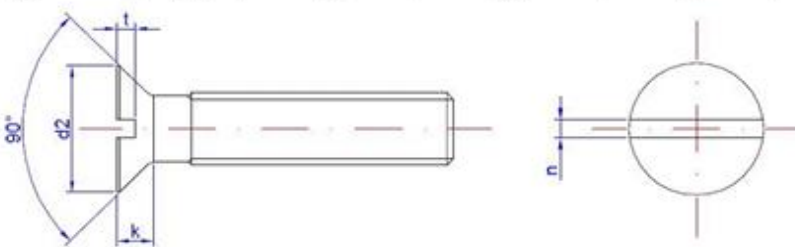
Variación permitida bajo el espesor especificado, 0,01 pulg. [0.25 mm]

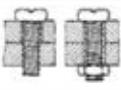
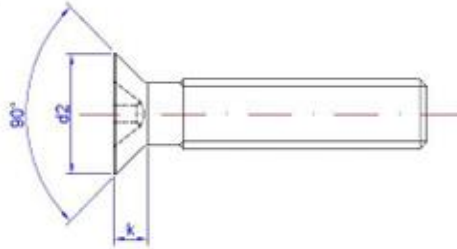
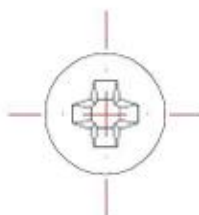
Espesor		Ancho		Largo		Peso Teórico
mm	pulg	mm	pie	mm	pie	Kg/ plancha
1.5	1/16"	1200	4	2400	8	33.91
2.0	5/64"	1200	4	2400	8	44.05
2.5	3/32"	1200	4	2400	8	55.55
2.9	1/8"	1200	4	2400	8	67.08
3.0	1/8"	1200	4	2400	8	67.08
		1500	5	3000	10	109.2
4.4	3/16"	1200	4	2400	8	99.48
4.5	3/16"	1200	4	2400	8	100.50
		1500	5	3000	10	164.5
5.9	1/4"	1200	4	2400	8	133.39
6.0	1/4"	1200	4	2400	8	134.81
		1500	5	3000	10	212.00
		1500	5	6000	20	423.90
6.0	1/4"	3000	10	12000	40	1695.60
		1200	4	2400	8	178.34
		1200	4	2400	8	180.60
8.0	5/16"	1500	5	6000	20	565.20
		2400	8	6000	20	904.32
8.9	3/8"	1200	4	2400	8	201.00
9.0	3/8"	1200	4	2400	8	203.26
		1500	5	3000	10	318.00
		1500	5	6000	20	635.85
		2400	8	6000	20	10173.36
11.9	1/2"	1200	4	2400	8	278
12.0	1/2"	1200	4	2400	8	279.90
		1500	5	3000	10	424.00
		1500	5	6000	20	847.80
		2400	8	6000	20	1356.48
16	5/8"	3000	10	6000	20	1695.60
		1200	4	2400	8	363.74
		1500	5	6000	20	1130.40
		2400	8	6000	20	1808.64
19	3/4"	3000	10	6000	20	2260.80
		1200	4	2400	8	433.60
		1500	5	3000	10	671.175
		1500	5	6000	20	1342.35
25	1"	2400	8	6000	20	2147.76
		3000	10	6000	20	2684.70
		1500	5	6000	20	1766.25
		2400	8	6000	20	2826.00
32	1 1/4"	3000	10	6000	20	3532.50
		1500	5	6000	20	2260.80
		2400	8	6000	20	3617.28
		3000	10	6000	20	4521.60
38	1 1/2"	1500	5	6000	20	2684.70
		2400	8	6000	20	4295.52
		3000	10	6000	20	5369.40
		1500	5	6000	20	3532.50
50	2"	2400	8	6000	20	5652.00
		3000	10	6000	20	7065.00

* Equivalencias de conversión son aproximadas.

Anexo 7

Especificaciones técnicas de los pernos de ensamblaje

2.2 DIN-963		Tornillo ranurado con cabeza avellanada			
		Propiedades			
					
		Acero	Recubrimiento cincado	Unión chapas	
		Propiedades			
					
		Ranura	Cabeza avellanada	Métrica	
MÉTRICA		M4	M5	M6	M8
Ød2: diámetro cabeza	[mm]	7.5	9.2	11	14.5
k: espesor cabeza	[mm]	2.2	2.5	3	4
n: anchura ranura	[mm]	1.5	1.5	1.9	2.3
t: profundidad ranura	[mm]	1.1	1.3	1.6	2.1
					

2.3 DIN-965		Tornillo de cabeza avellanada y huella Ph			
		Propiedades			
					
		Acero	Recubrimiento cincado	Unión chapas	
		Propiedades			
					
		Ph	Cabeza avellanada	Métrica	
MÉTRICA		M3	M4	M5	M6
Ød2: diámetro cabeza	[mm]	5.6	7.5	9.2	11.0
k: espesor cabeza	[mm]	1.65	2.2	2.5	3.0
Hueco Ph		1	2	2	3
Punta colocación		PUPHC01 PUPHL01	PUPHC02 PUPHL002	PUPHC02 PUPHL02	PUPHC03 PUPHL03
 					

2.8 DIN-6921

Tornillo rosca métrica hexagonal con arandela estampada



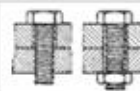
Propiedades



Acero



Recubrimiento
cincado



Unión chapas

Propiedades



Hexagonal

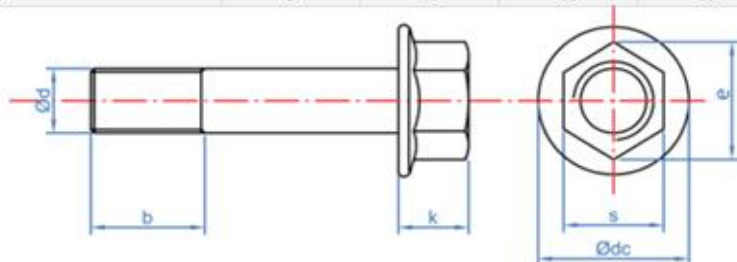


Cabeza hexagonal



Métrica

MÉTRICA		M5	M6	M8	M10	M12
s: distancia entre caras	[mm]	8	10	13	17	19
k: espesor cabeza	[mm]	5,4	6,6	8,10	9,2	11,5
e: distancia entre vértices	[mm]	8,71	10,95	14,26	16,50	17,62
Ødc: diámetro de arandela	[mm]	11,8	14,2	18,0	22,3	26,6
b(min): longitud de rosca	[mm]	Completa / 16 min	Completa / 18 min	Completa / 22 min	Completa / 26 min	Completa / 30 min
Llave de instalación		8	10	13	17	19



2.10 DIN-912

Tornillo Allen

Propiedades

Acero

Recubrimiento
cincado

Unión chapas

Propiedades

Allen

Cabeza cilíndrica

Métrica

MÉTRICA

		M4	M5	M6	M8	M10	M12
Ødk: diámetro de la cabeza	[mm]	7	8,5	10	13	16	18
s: distancia entre caras de la huella	[mm]	3	4	5	6	8	10
k: espesor cabeza	[mm]	4	5	6	8	10	12
Llave de instalación		Allen 3	Allen 4	Allen 5	Allen 6	Allen 8	Allen 10

2.12 DIN-603 A2

Tornillo DIN-603 inoxidable

Propiedades

Acero

Inoxidable A2-70
(AISI 304)

Unión chapas

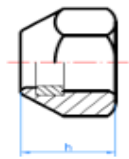
Propiedades

Cabeza redonda cuello cuadrado

Métrica

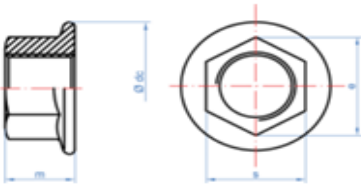
MÉTRICA

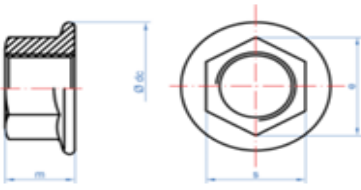
		M5	M6	M8	M10	M12
Ødk: diámetro cabeza	[mm]	13	16	20	24	30
k: espesor cabeza	[mm]	3	3,5	4,5	5	6,5
a: espesor del cuadrado	[mm]	3,5	4	5	6	8
s	[mm]	5	6,2	7,8	9,85	11,6
c	[mm]	5	6	8	10	12

2.16 DIN-985											Tuerca autoblocante				
											Propiedades				
															
											Acero		Recubrimiento cincado		
M	M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M14	M16	M18	M20	M22	M24	M27	M30
s	5,5	7	8	10	13	17	19	22	24	27	30	32	36	41	46
e	6,0	7,7	8,8	11,1	14,4	18,9	21,1	24,5	26,8	29,6	32,9	35,0	38,6	45,2	50,9
h	4	5	5	6	8	10	12	14	16	18,5	20	22	24	27	30
Llave	5,5	7	8	10	13	17	19	22	24	27	30	32	36	41	46

2.17 DIN-985 A2					Tuerca autoblocante inoxidable A2					Propiedades			
													
										Acero		Inoxidable A2 (AISI 304)	
M	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M14	M16	M18	M20	M22	M24	
s	7	8	10	13	17	19	22	24	27	30	32	36	
e	7,7	8,8	11,1	14,4	18,9	21,1	24,5	26,8	29,6	32,9	35,0	38,6	
h	5	5	6	8	10	12	14	16	18,5	20	22	24	
Llave	7	8	10	13	17	19	22	24	27	30	32	36	

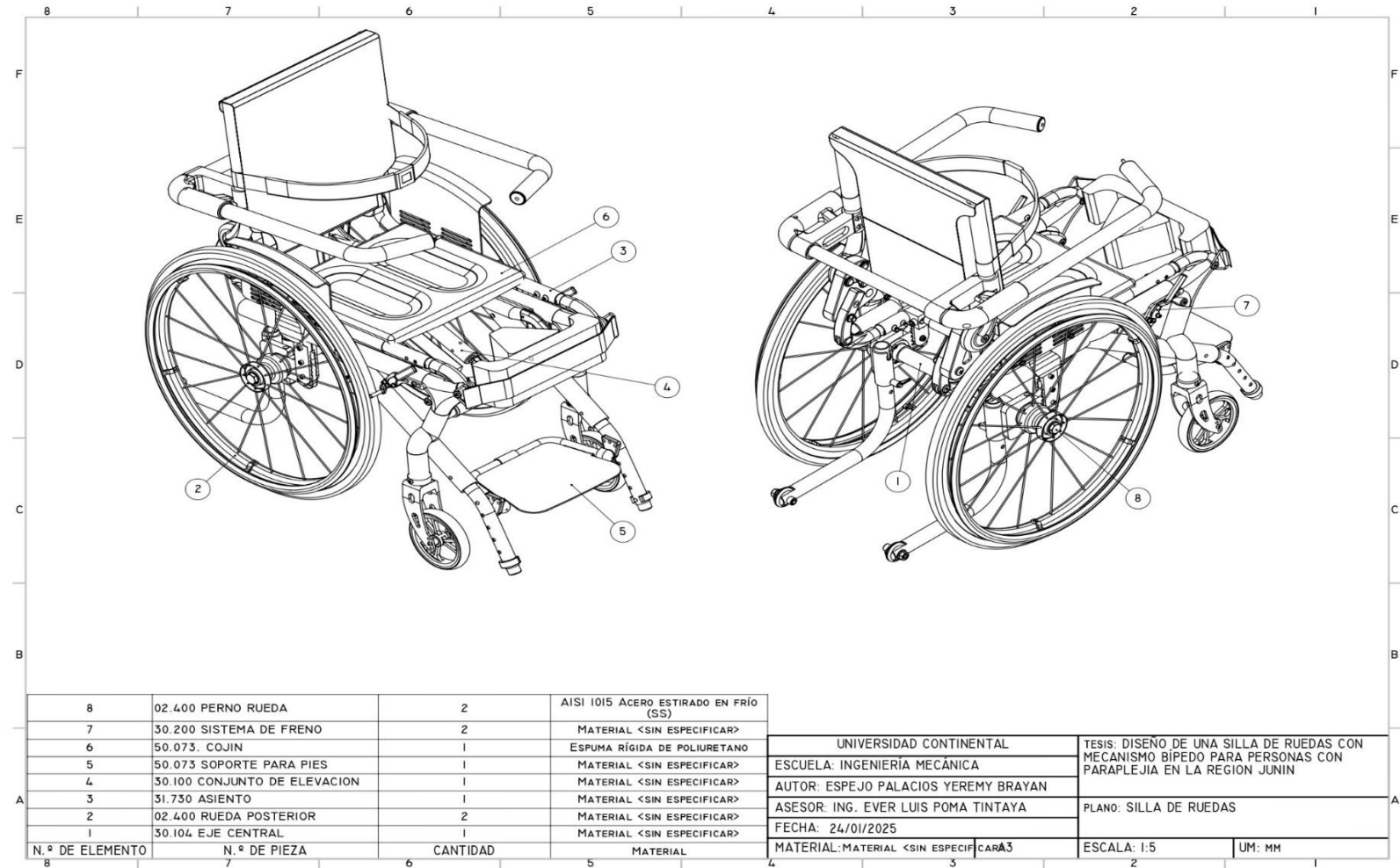
....

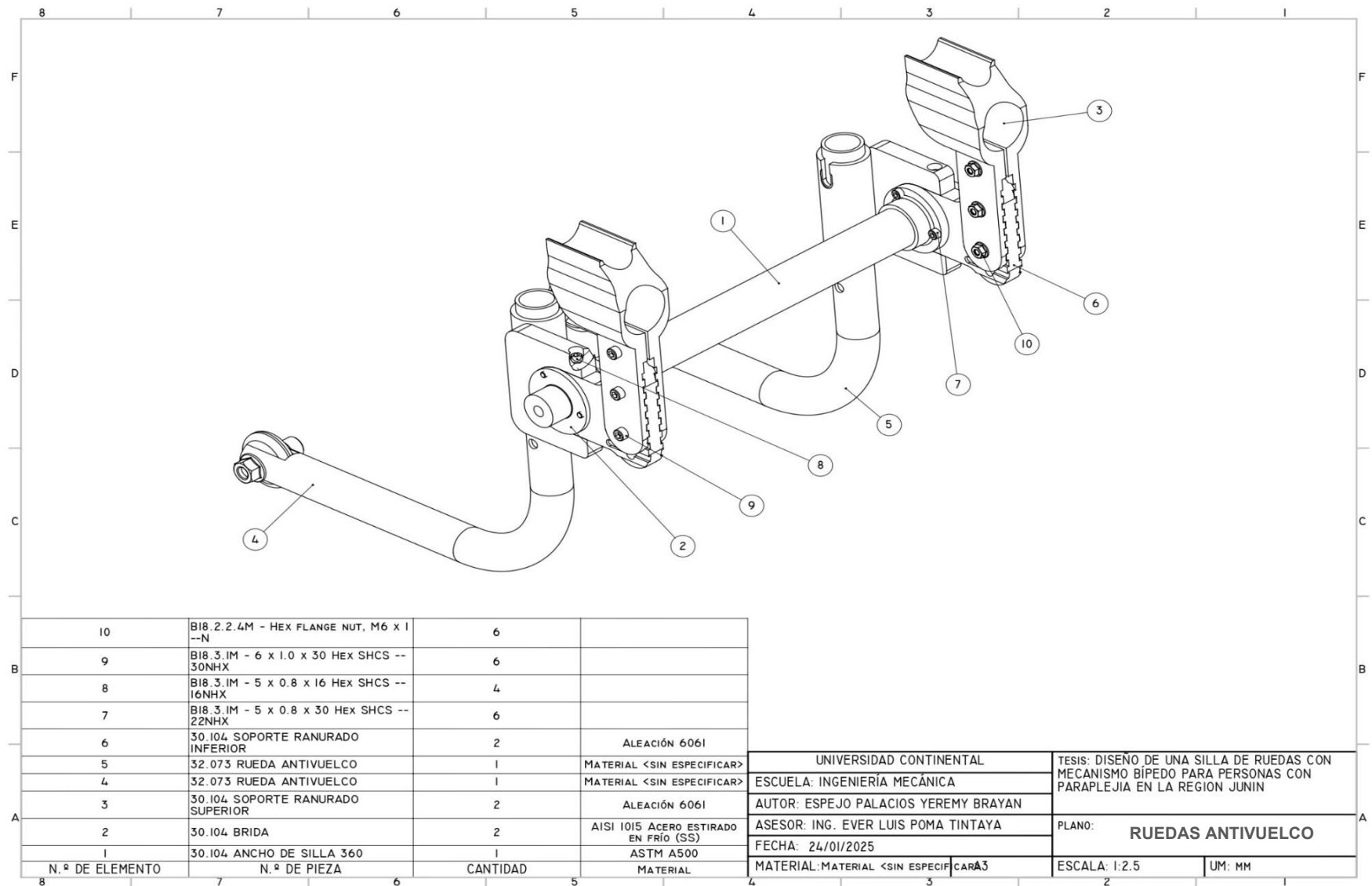
2.19 DIN-6923			Tuerca brida grafilada			Propiedades		
								
						Acero		Recubrimiento cincado
M	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M14	M16
s	7	8	10	13	15	18	21	24
e	7,7	8,8	11,1	14,4	18,9	21,1	24,5	26,8
m	4,5	5	6	8	10	12	14	16
ØdC	10	11,8	14,2	17,9	21,8	26	29,9	34,5
Llave	7	8	10	13	17	19	22	24

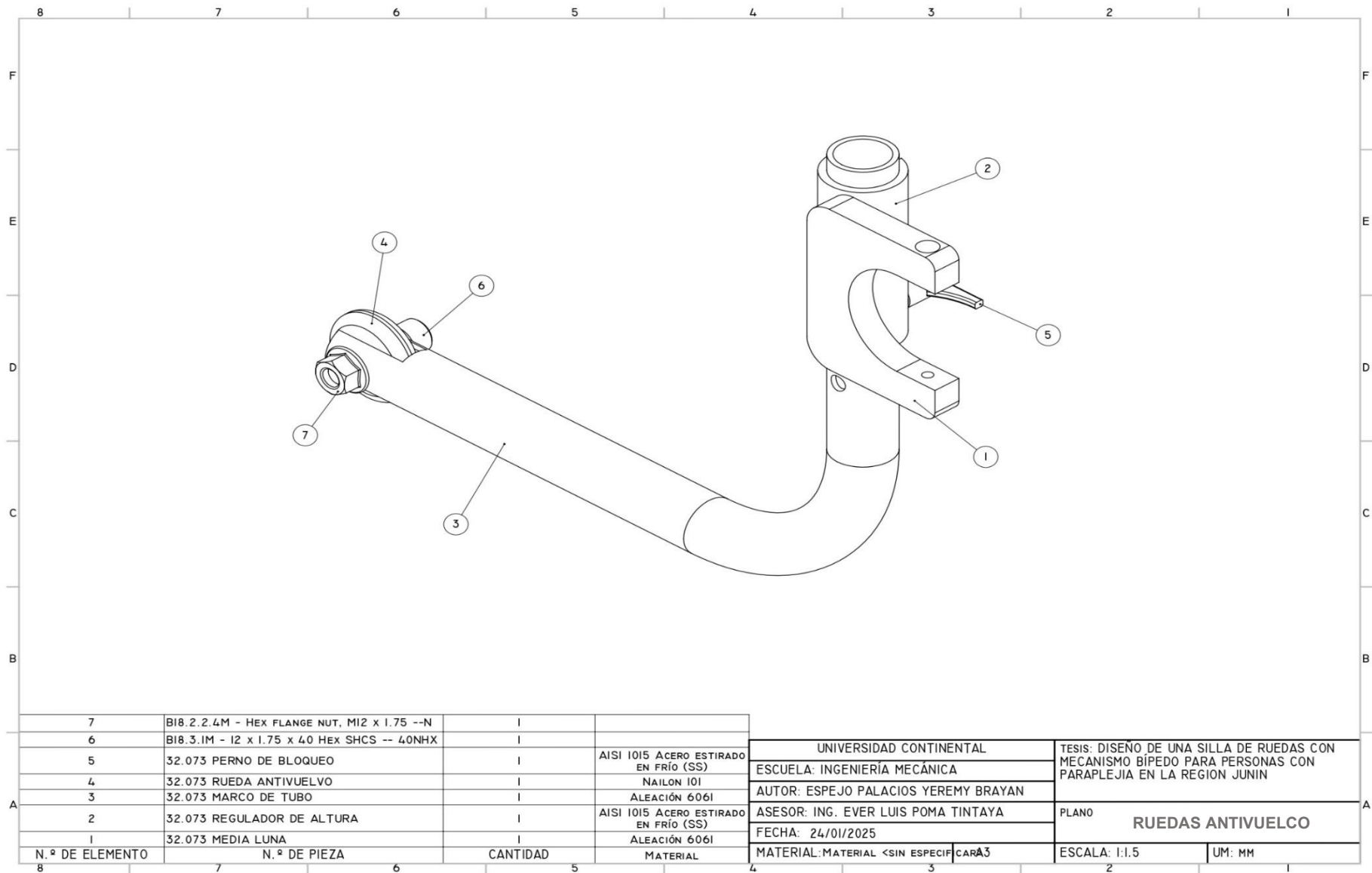
2.20 DIN-6923 A2			Tuerca brida grafilada inoxidable			Propiedades		
								
						Acero		Inoxidable A2 (AISI 304)
M	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M14	M16
s	7	8	10	13	15	18	21	24
e	7,7	8,8	11,1	14,4	18,9	21,1	24,5	26,8
m	4,5	5	6	8	10	12	14	16
ØdC	10	11,8	14,2	17,9	21,8	26	29,9	34,5
Llave	7	8	10	13	17	19	22	24

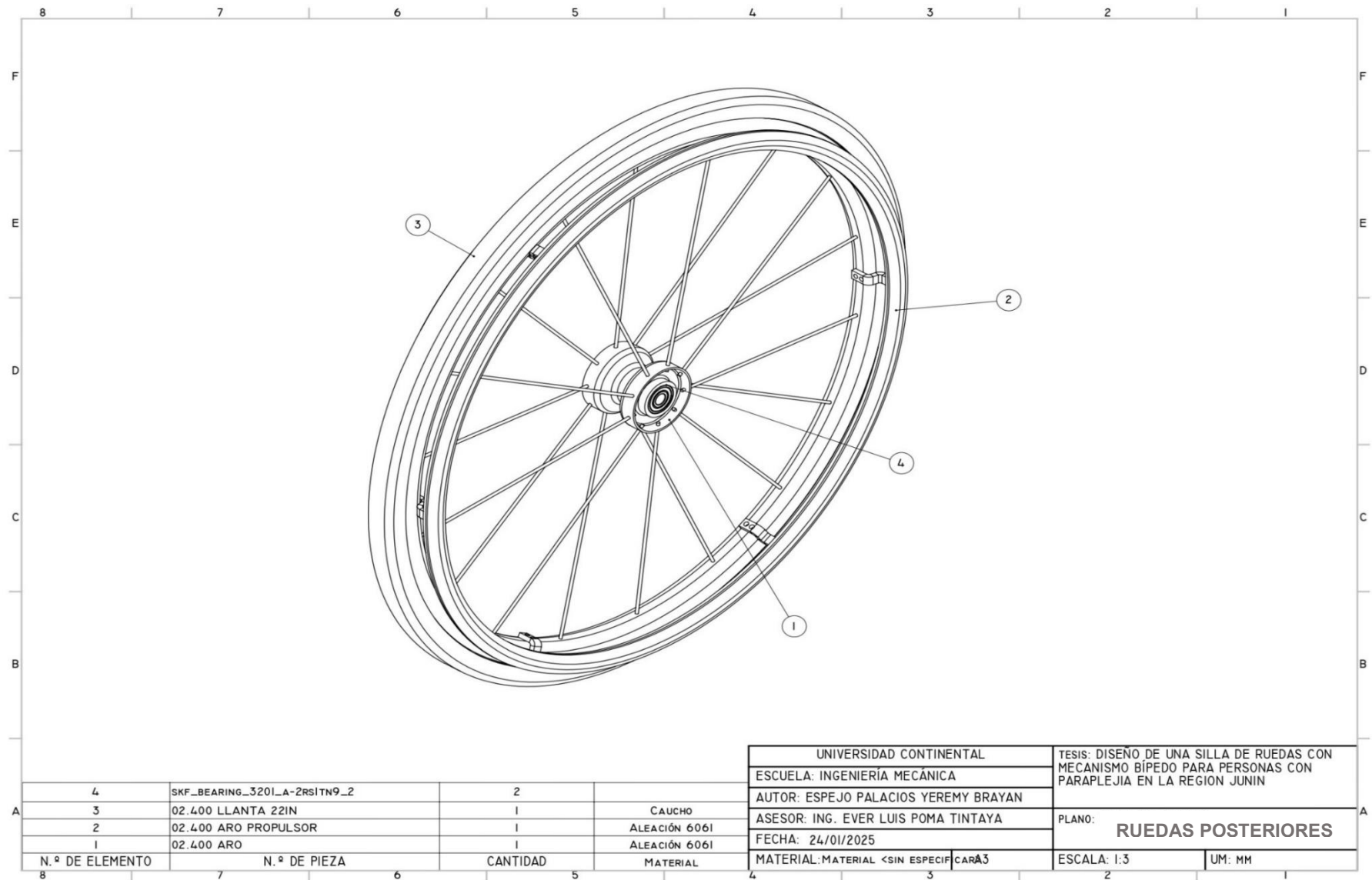
Anexo 8

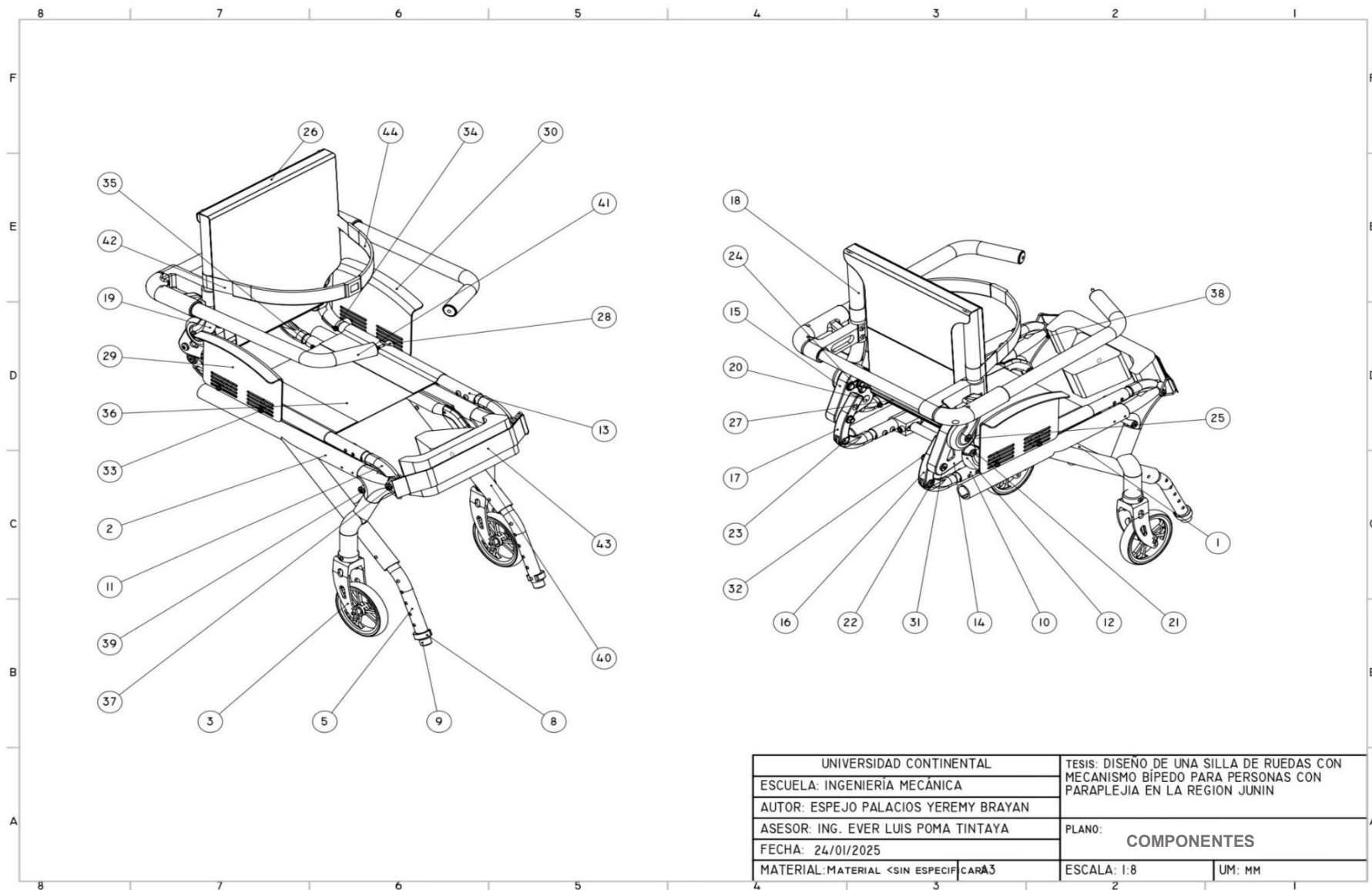
Plano general

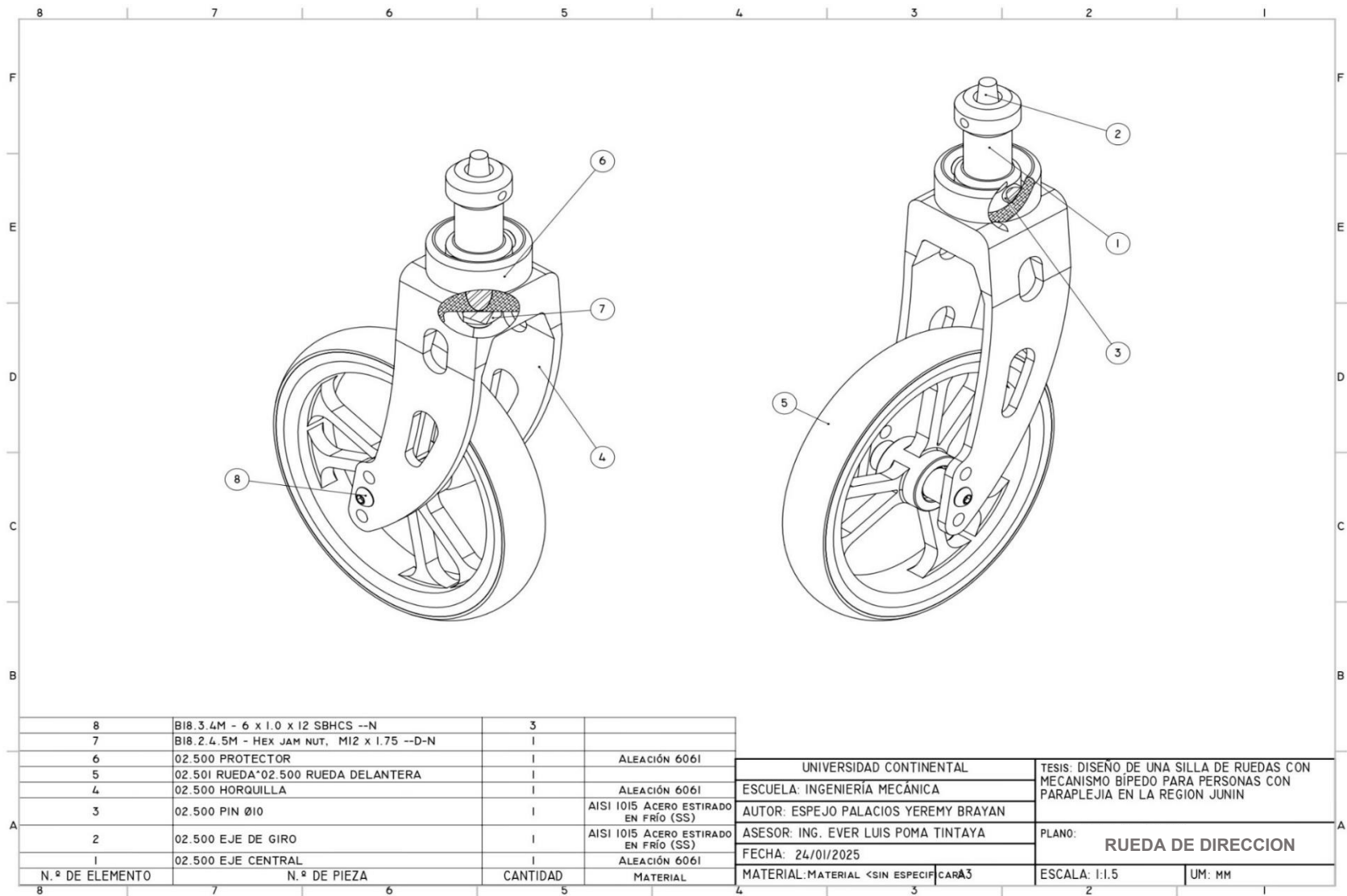


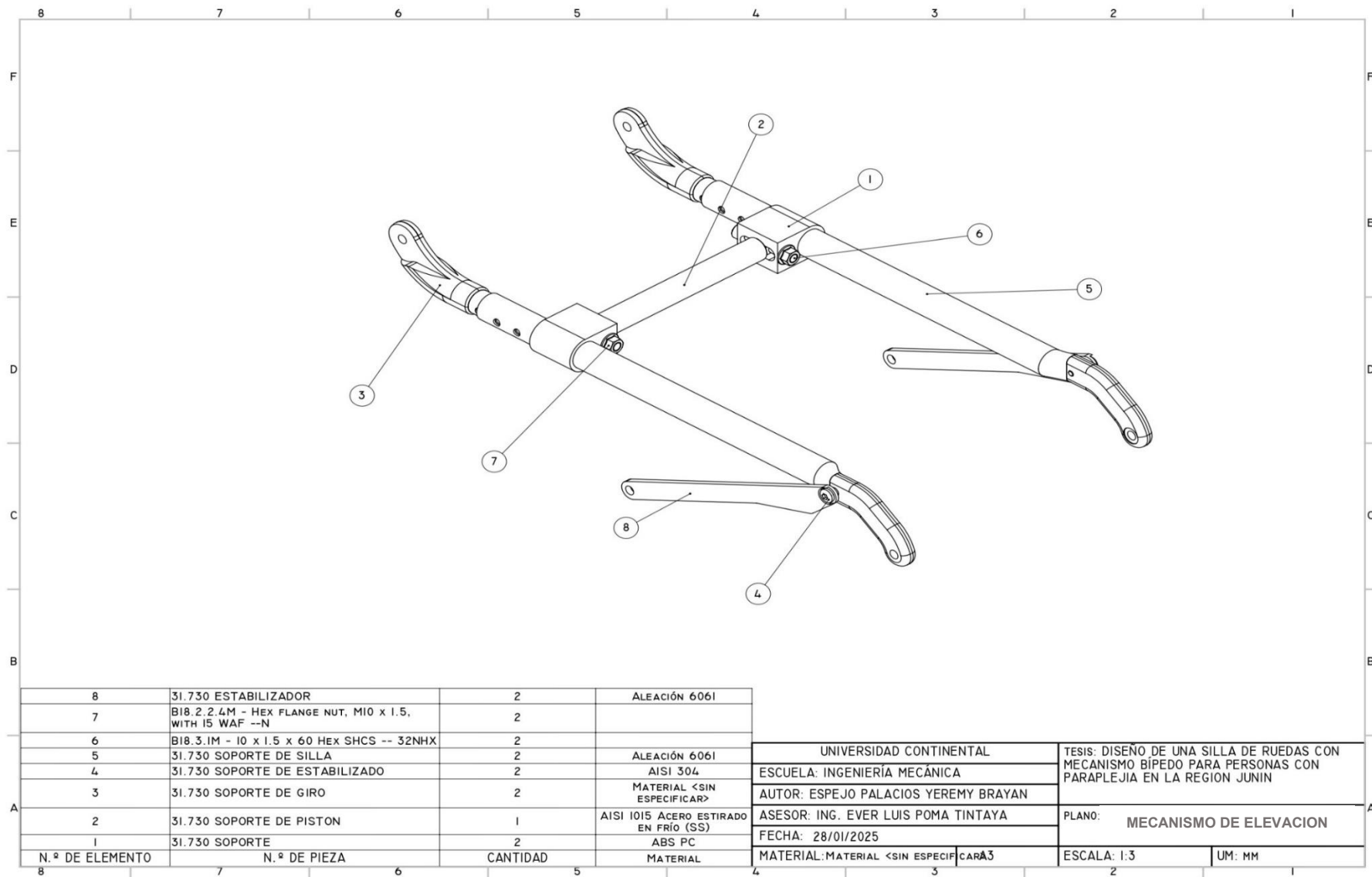


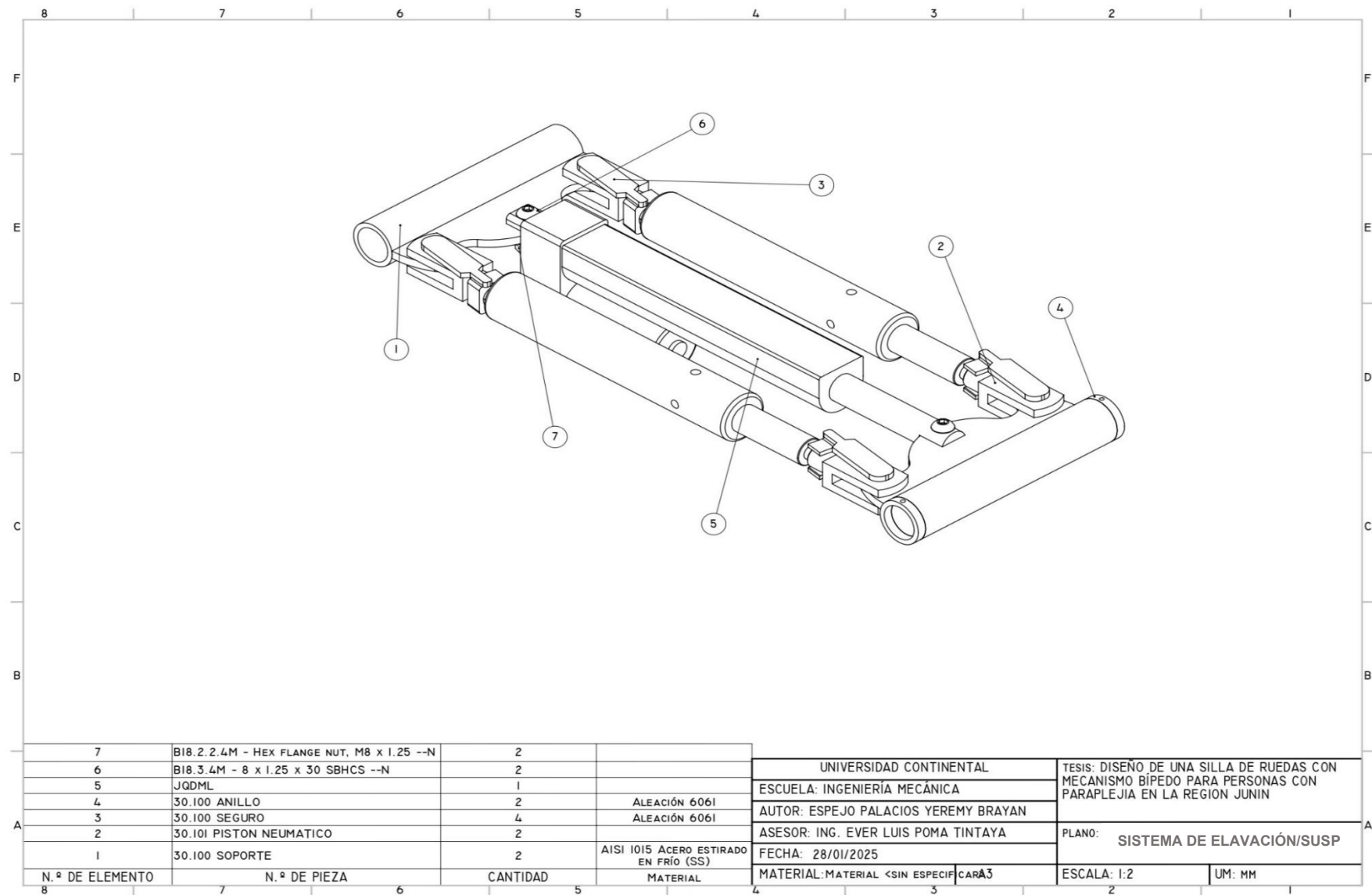






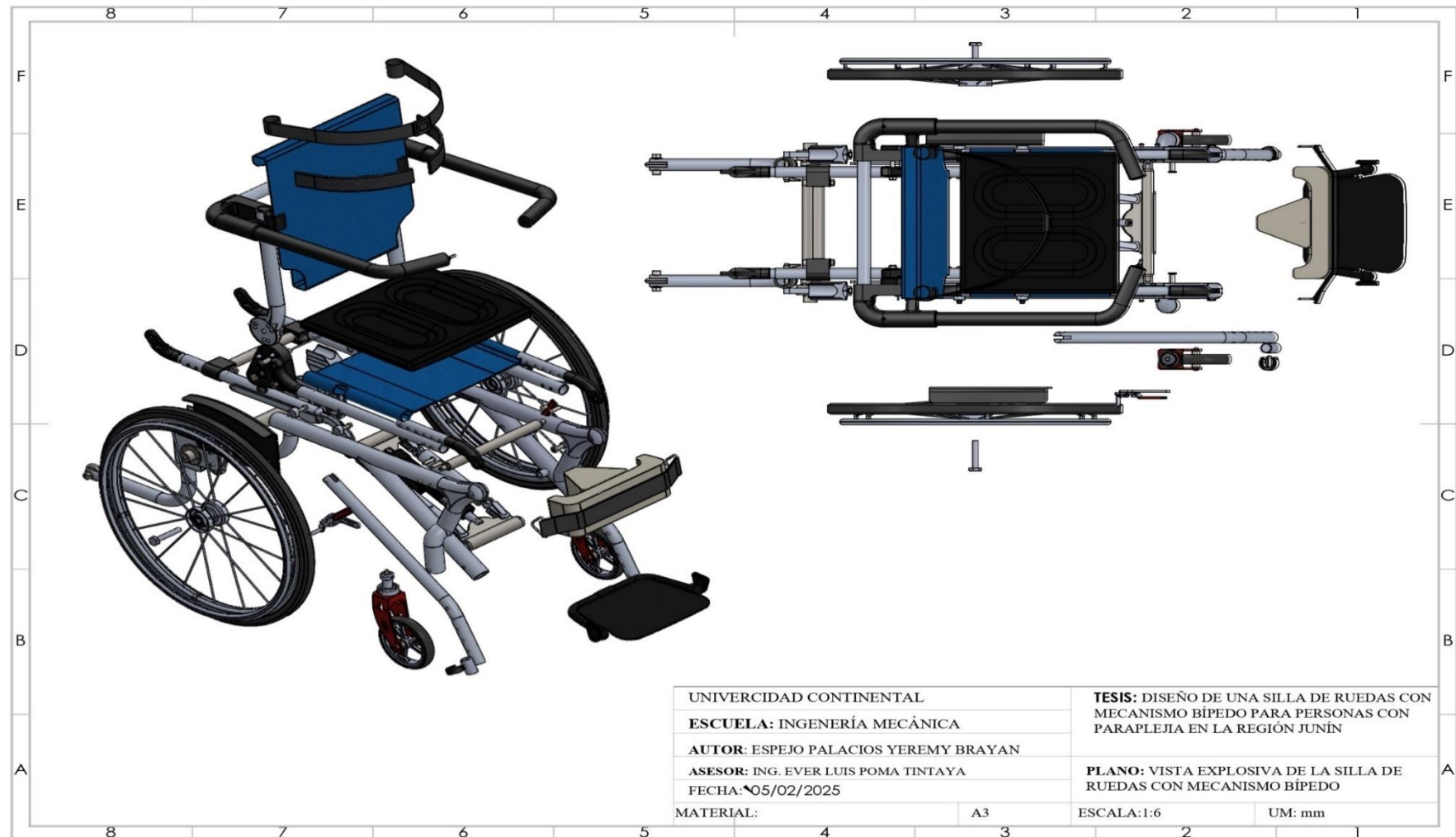






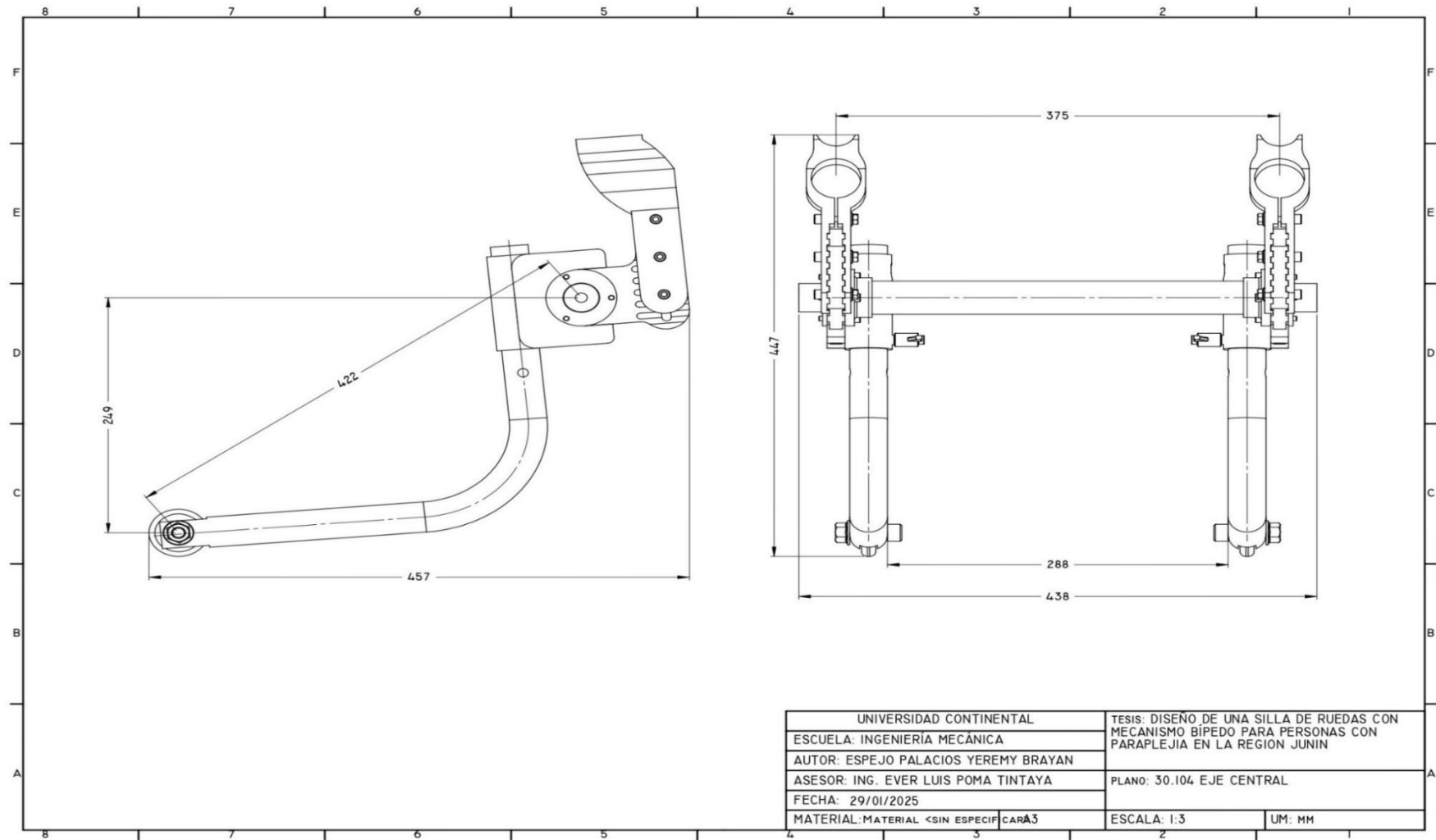
Anexo 5

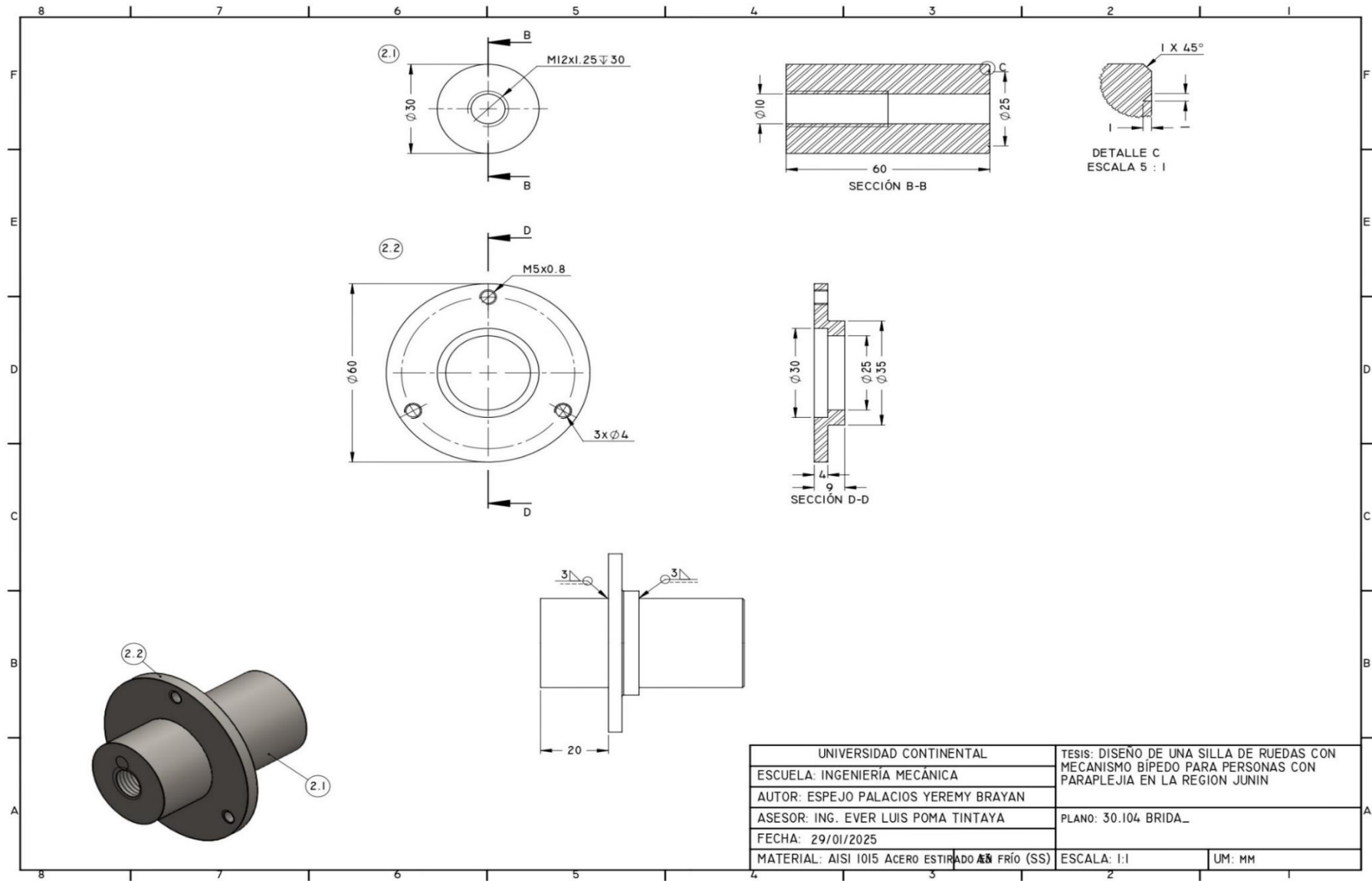
Plano explosivo

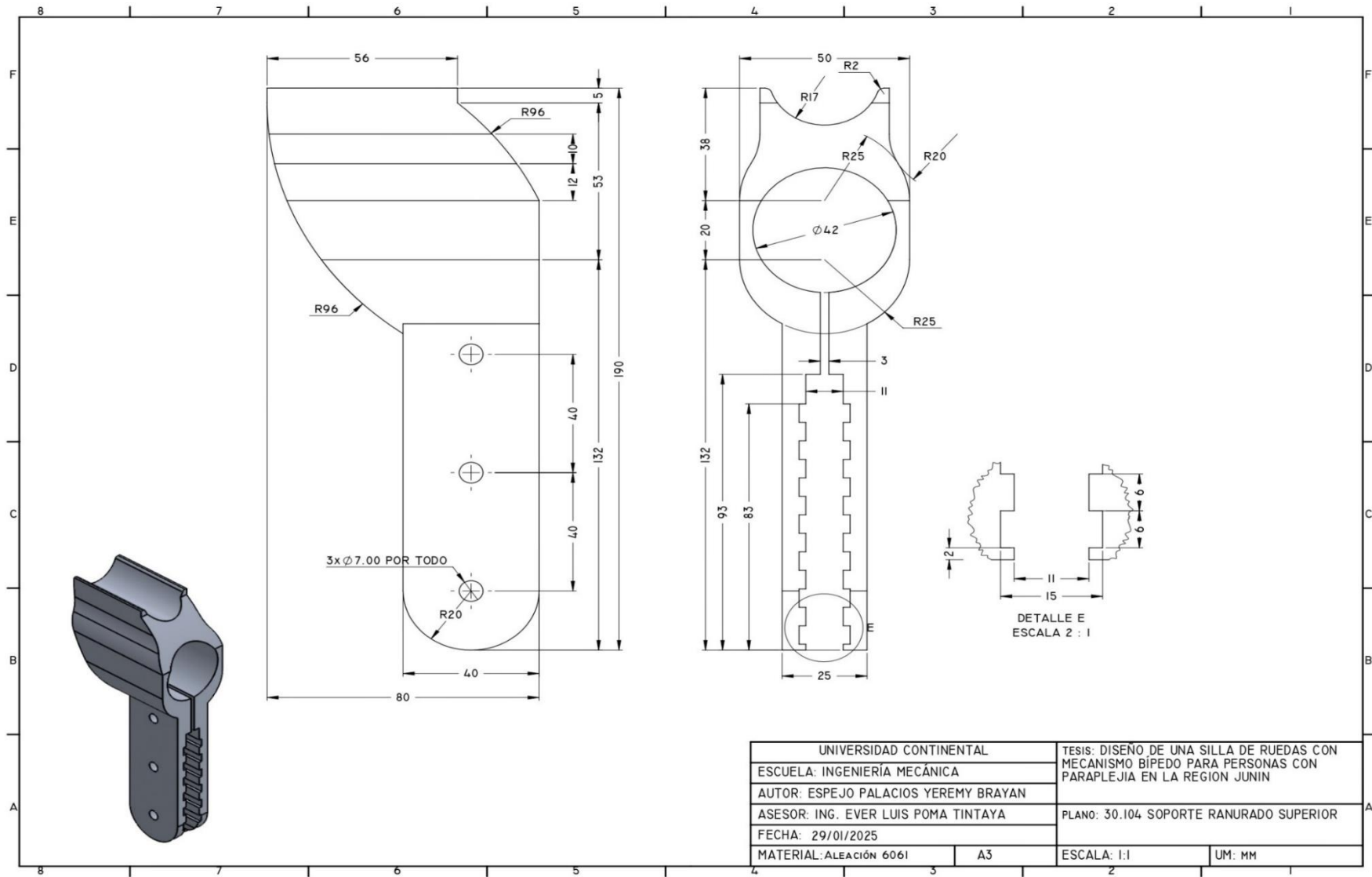


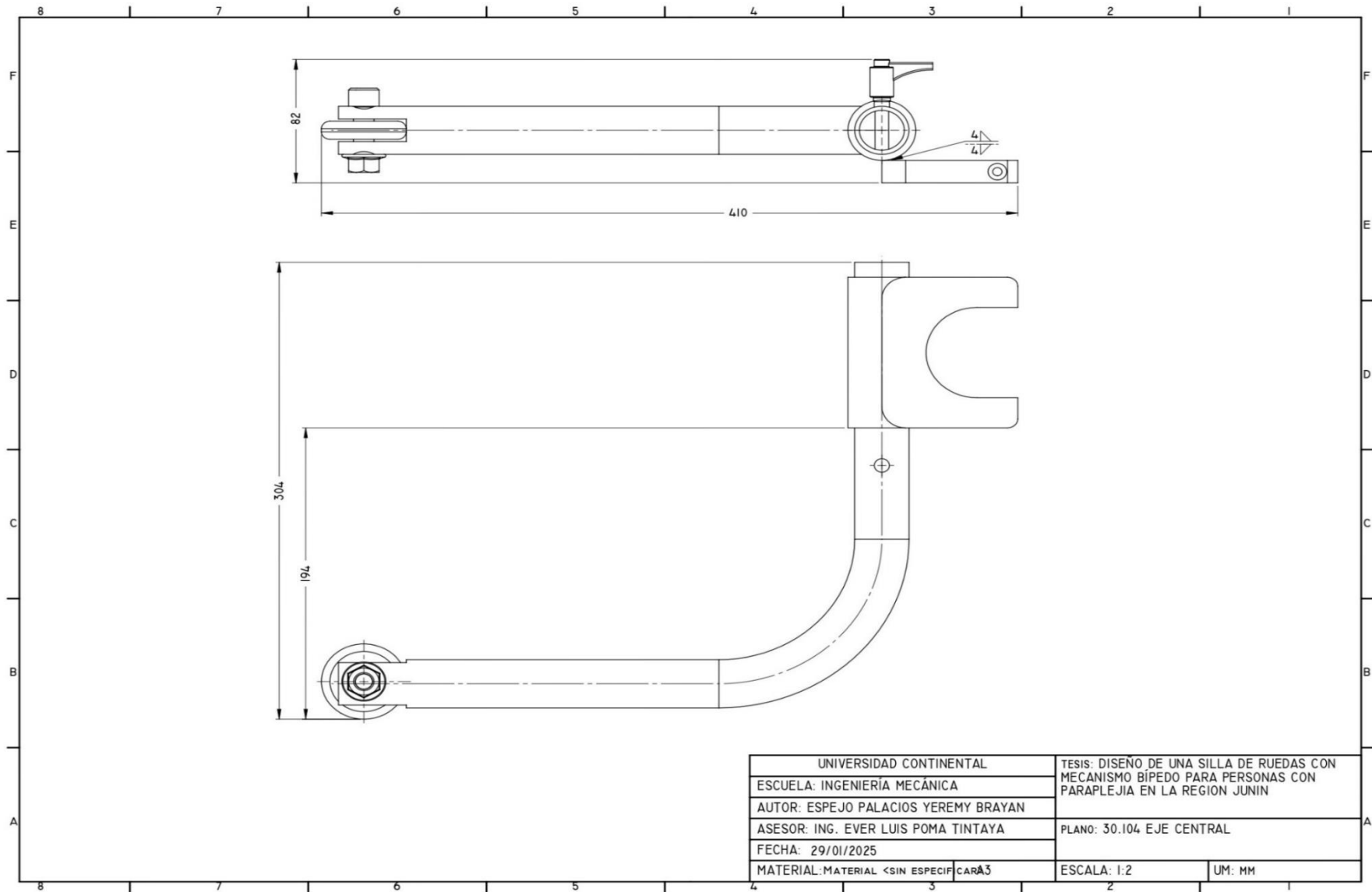
Anexo 6

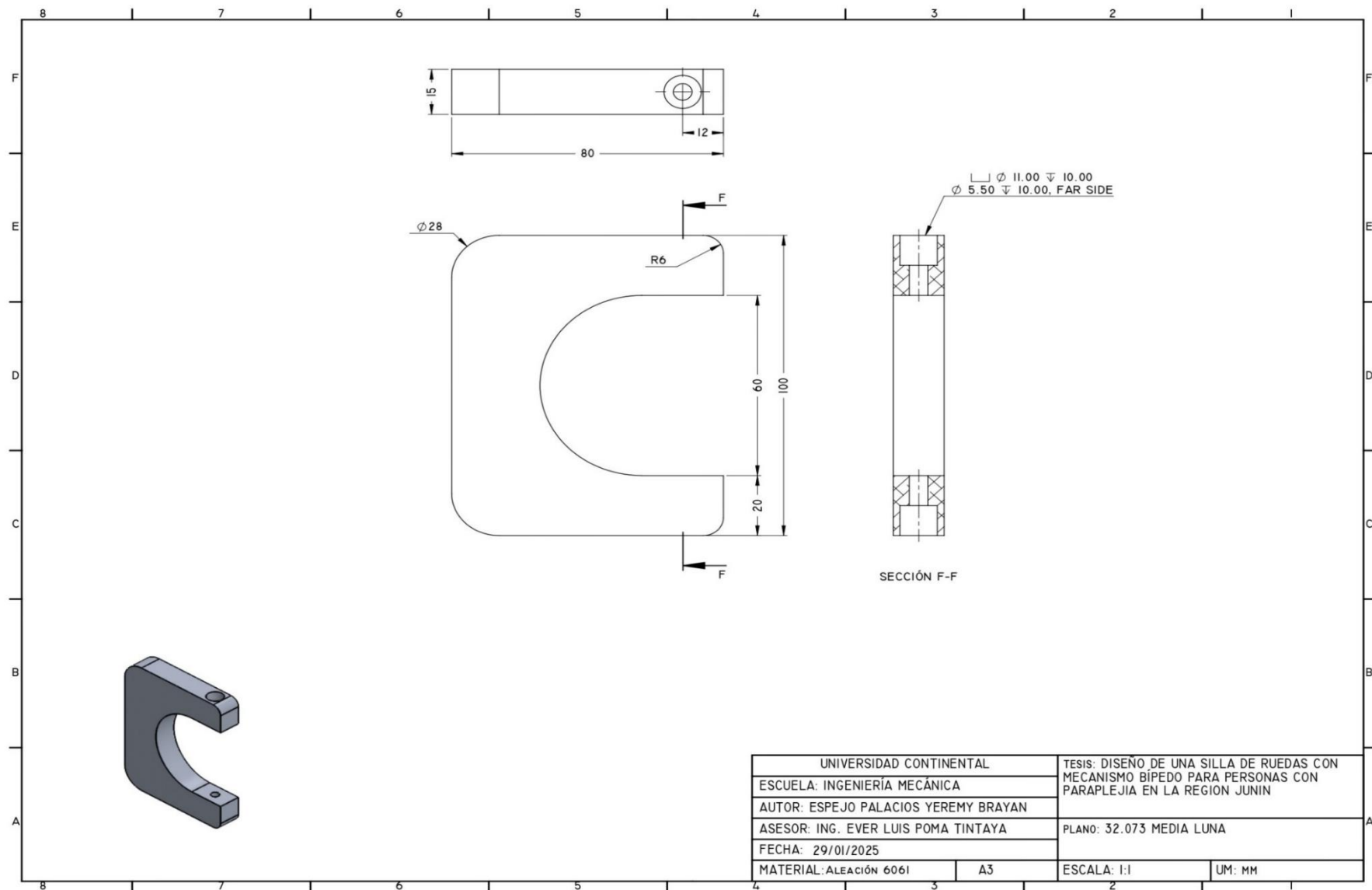
Planos de detalles

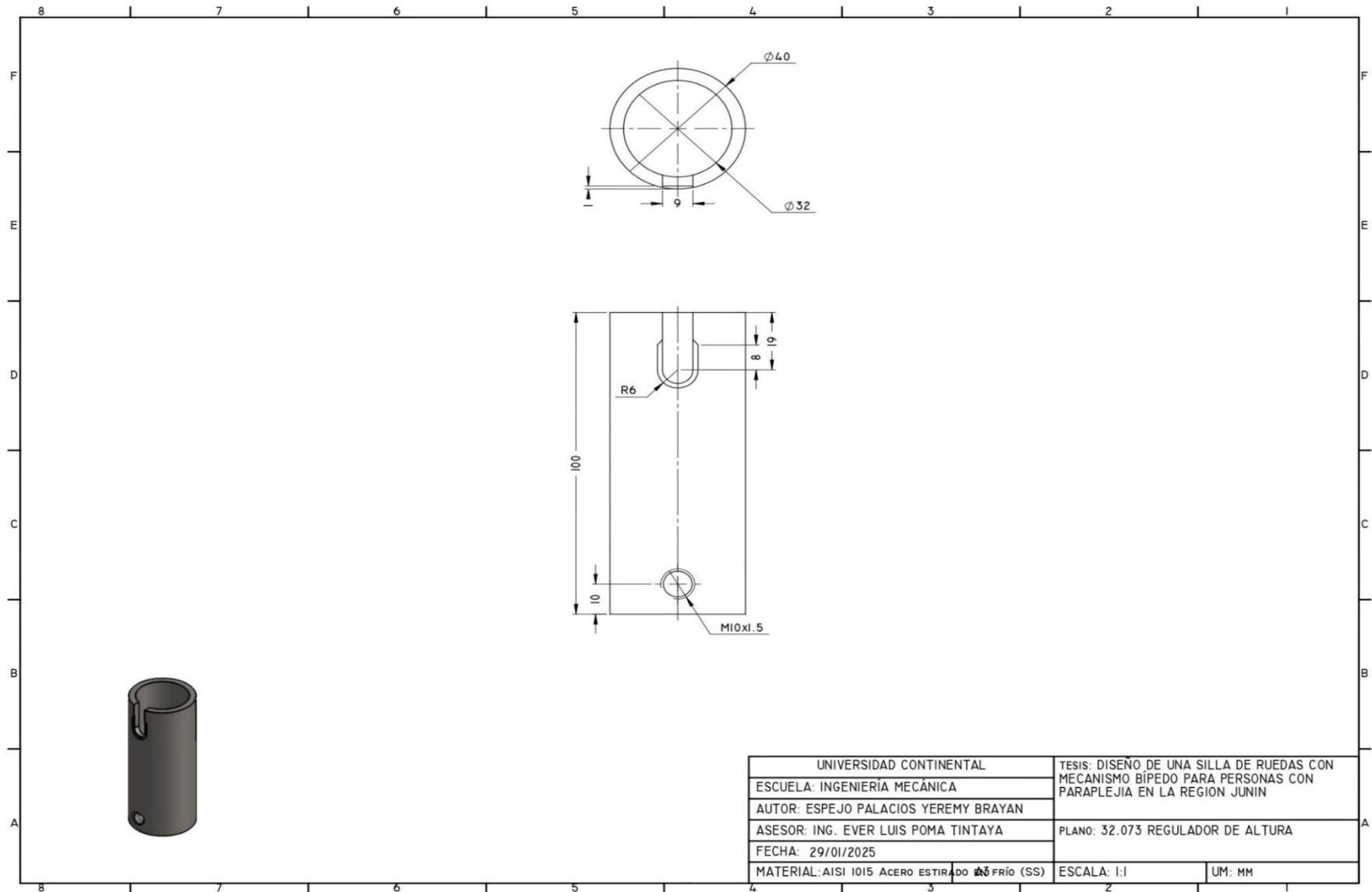


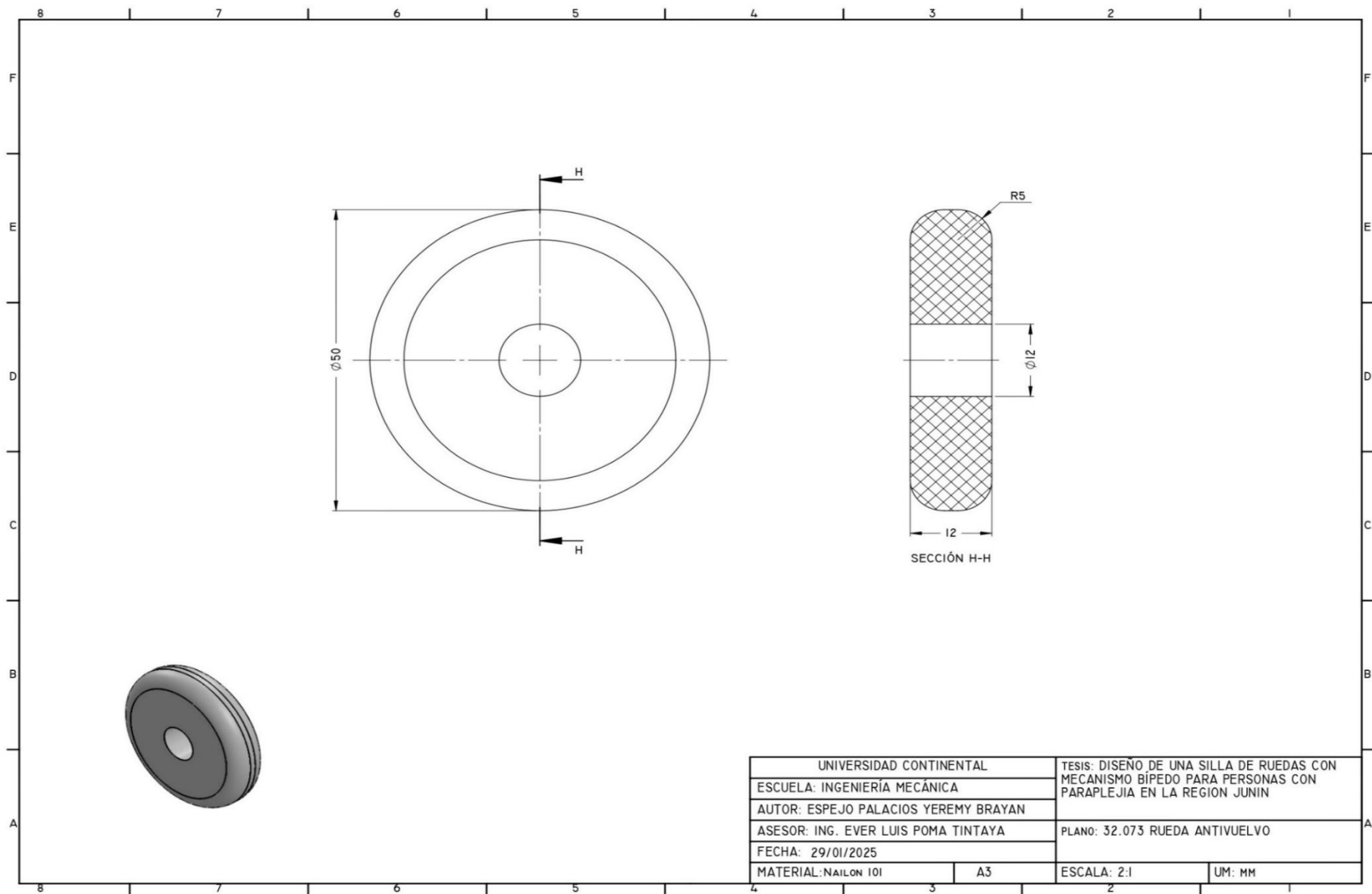


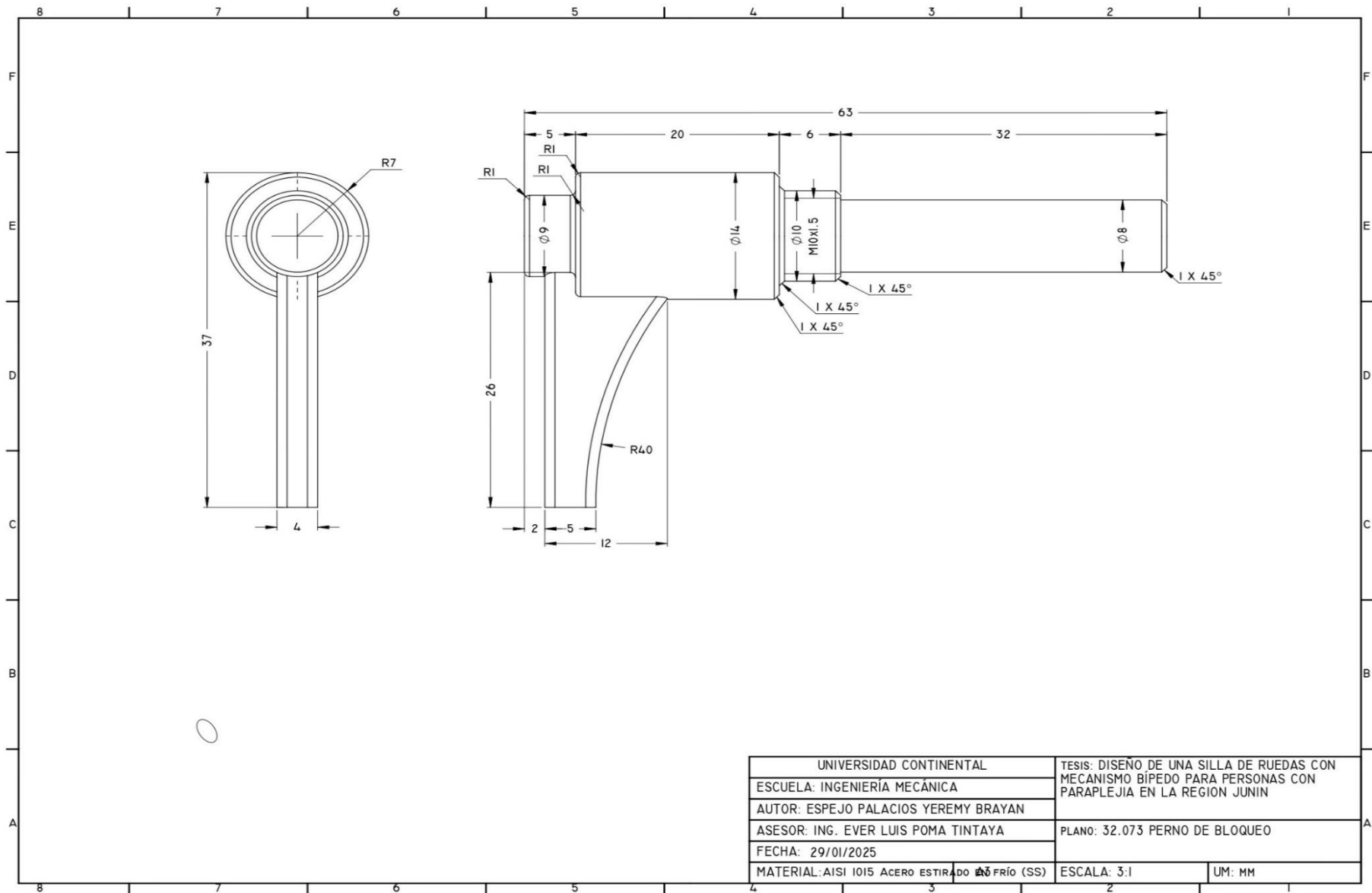


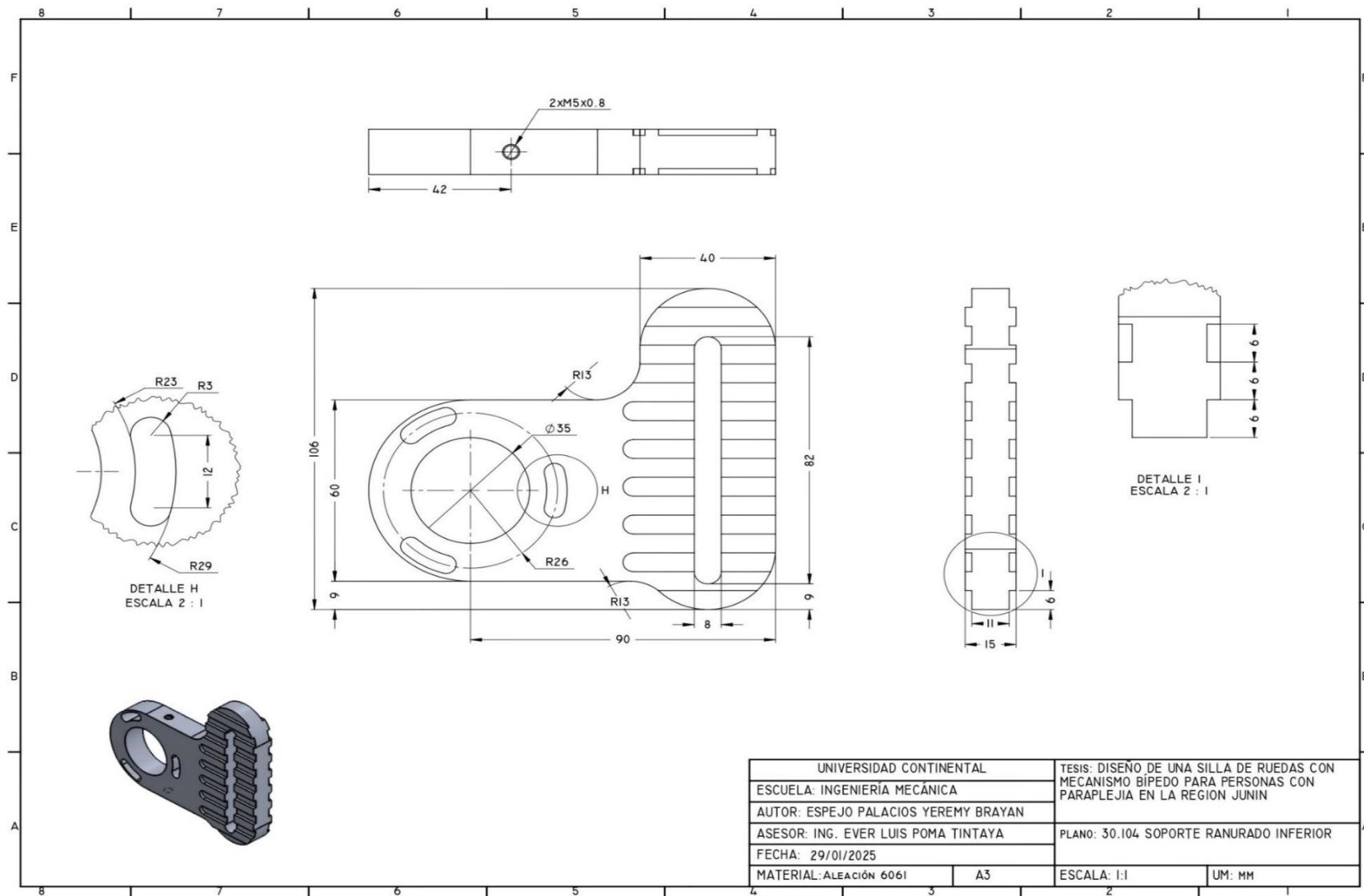


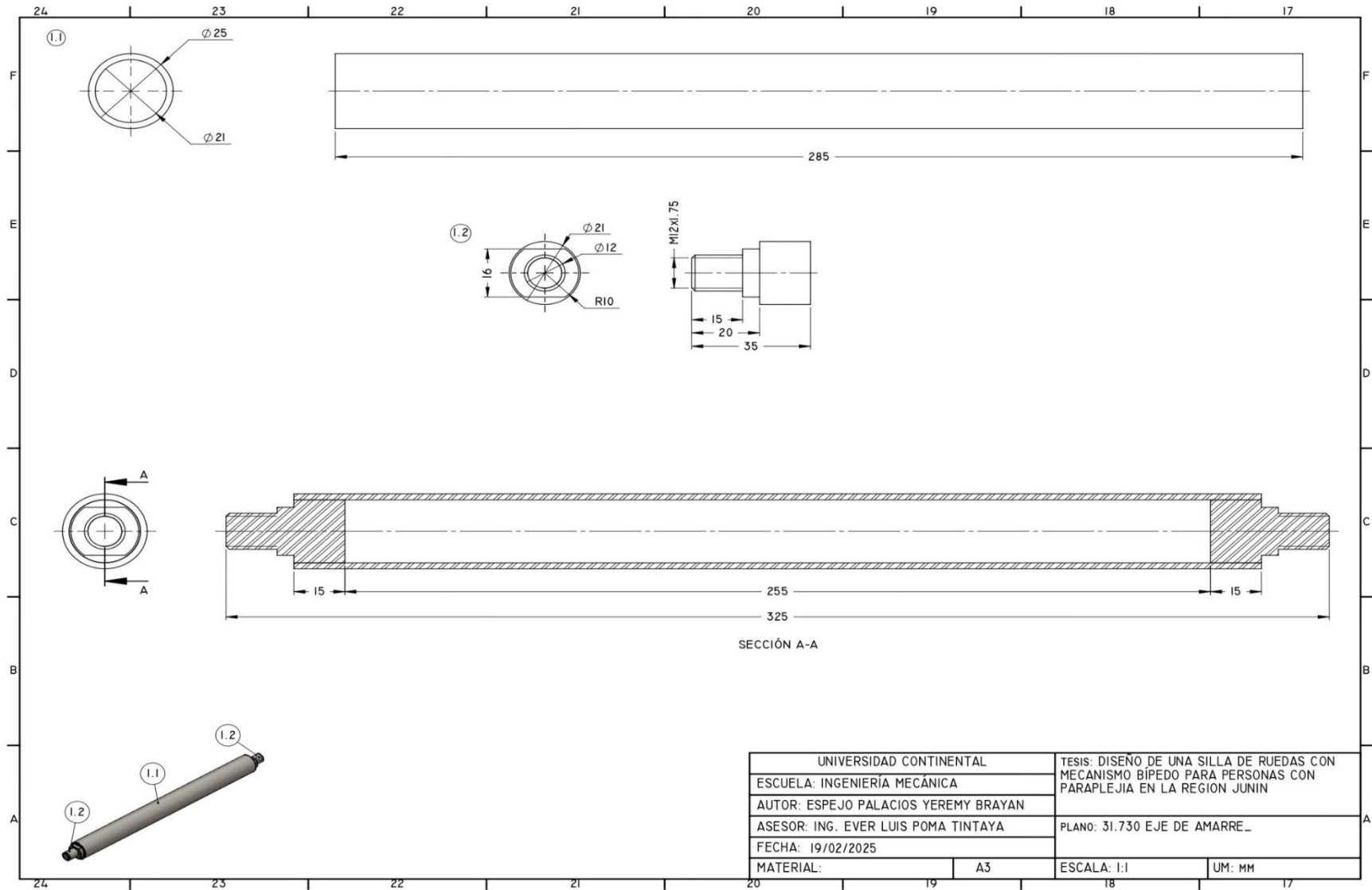


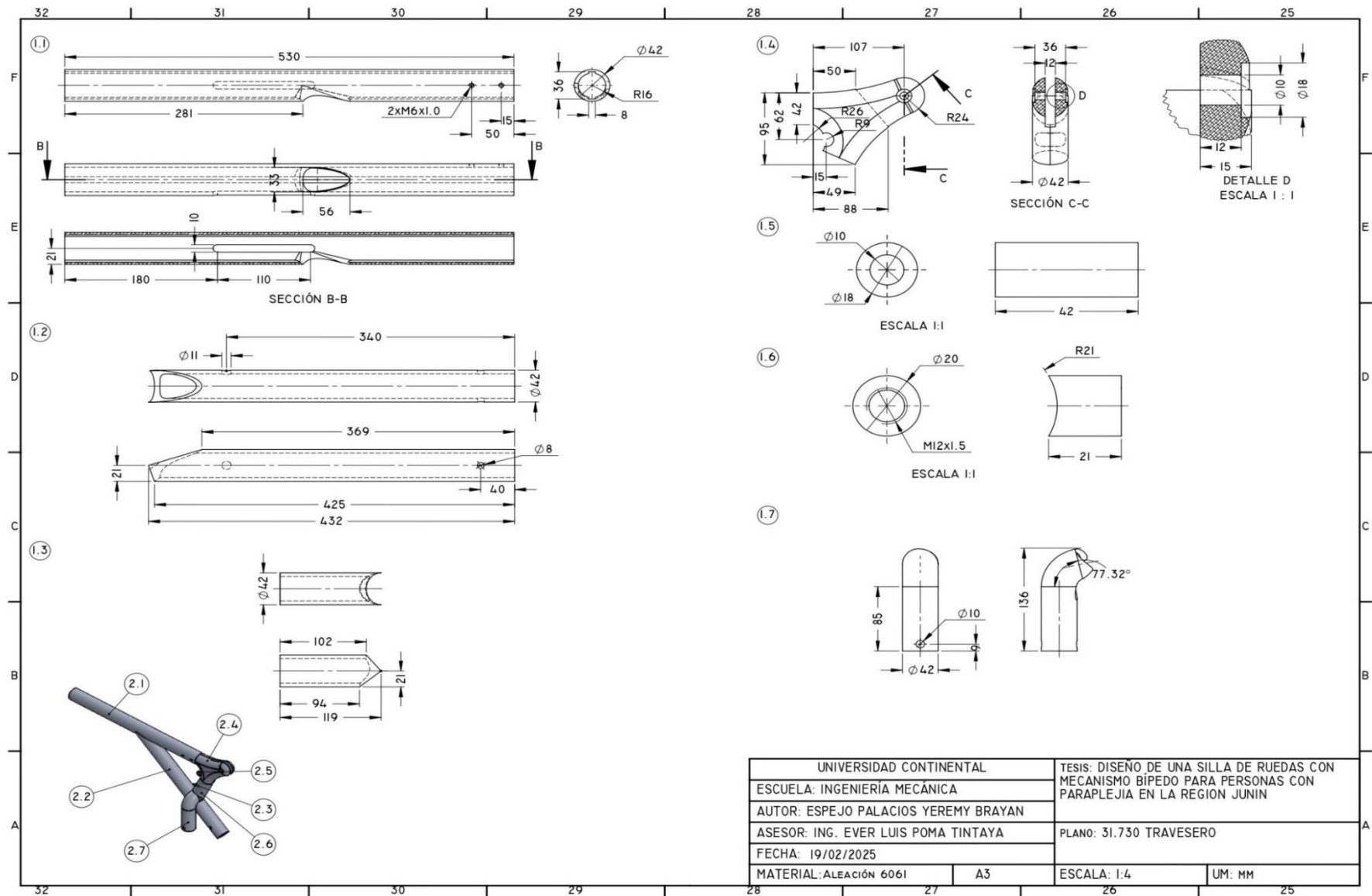


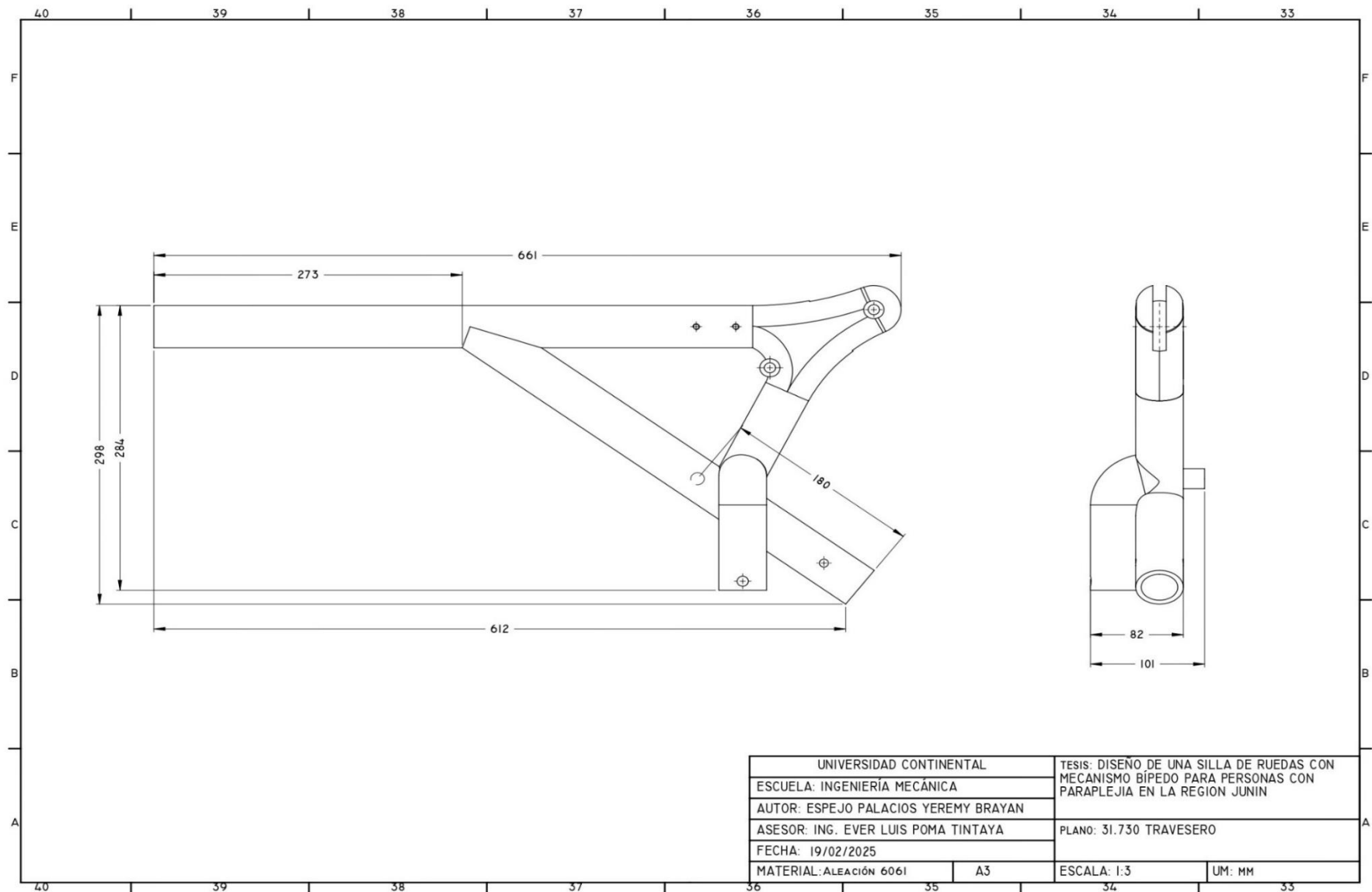


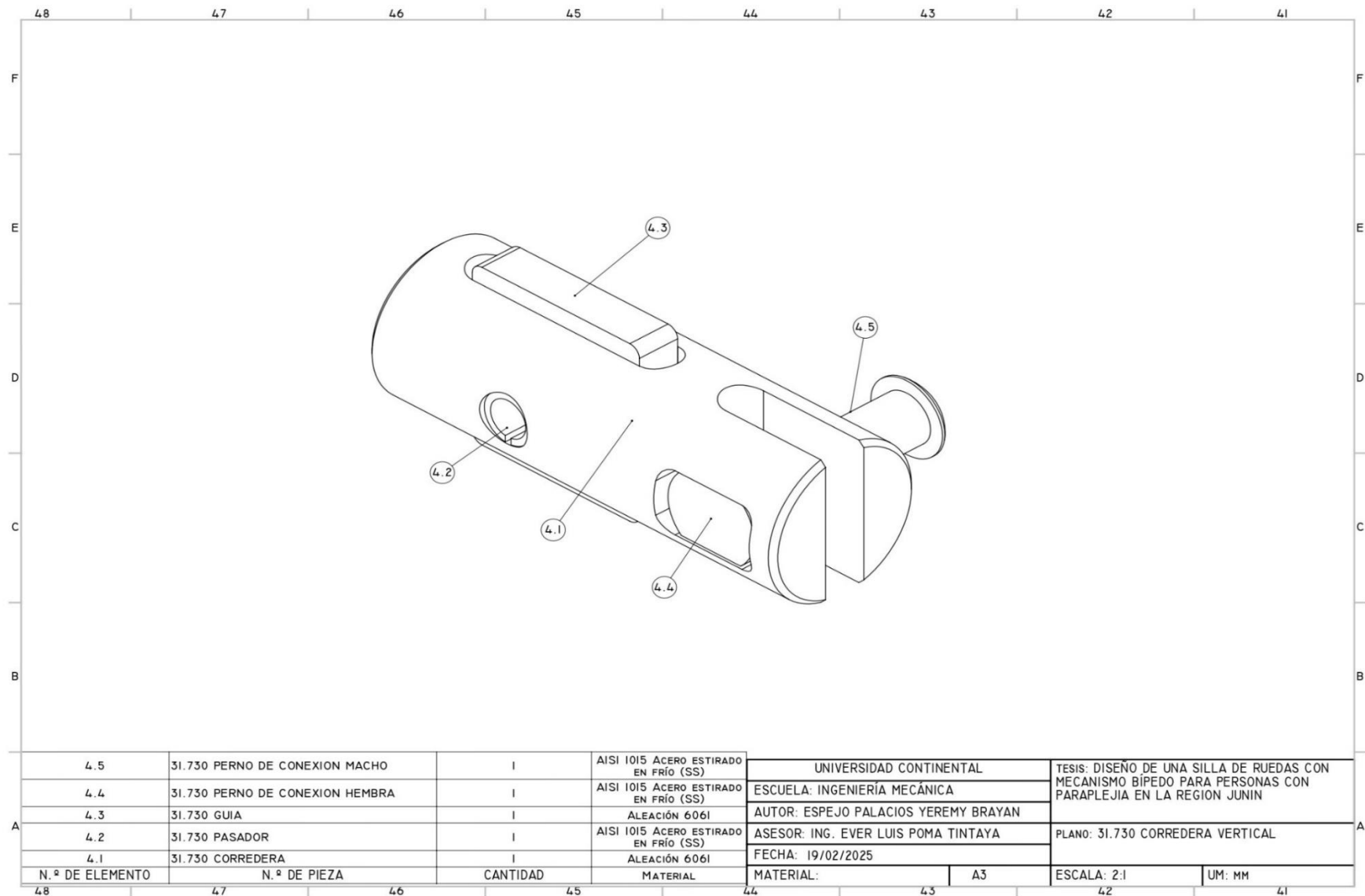


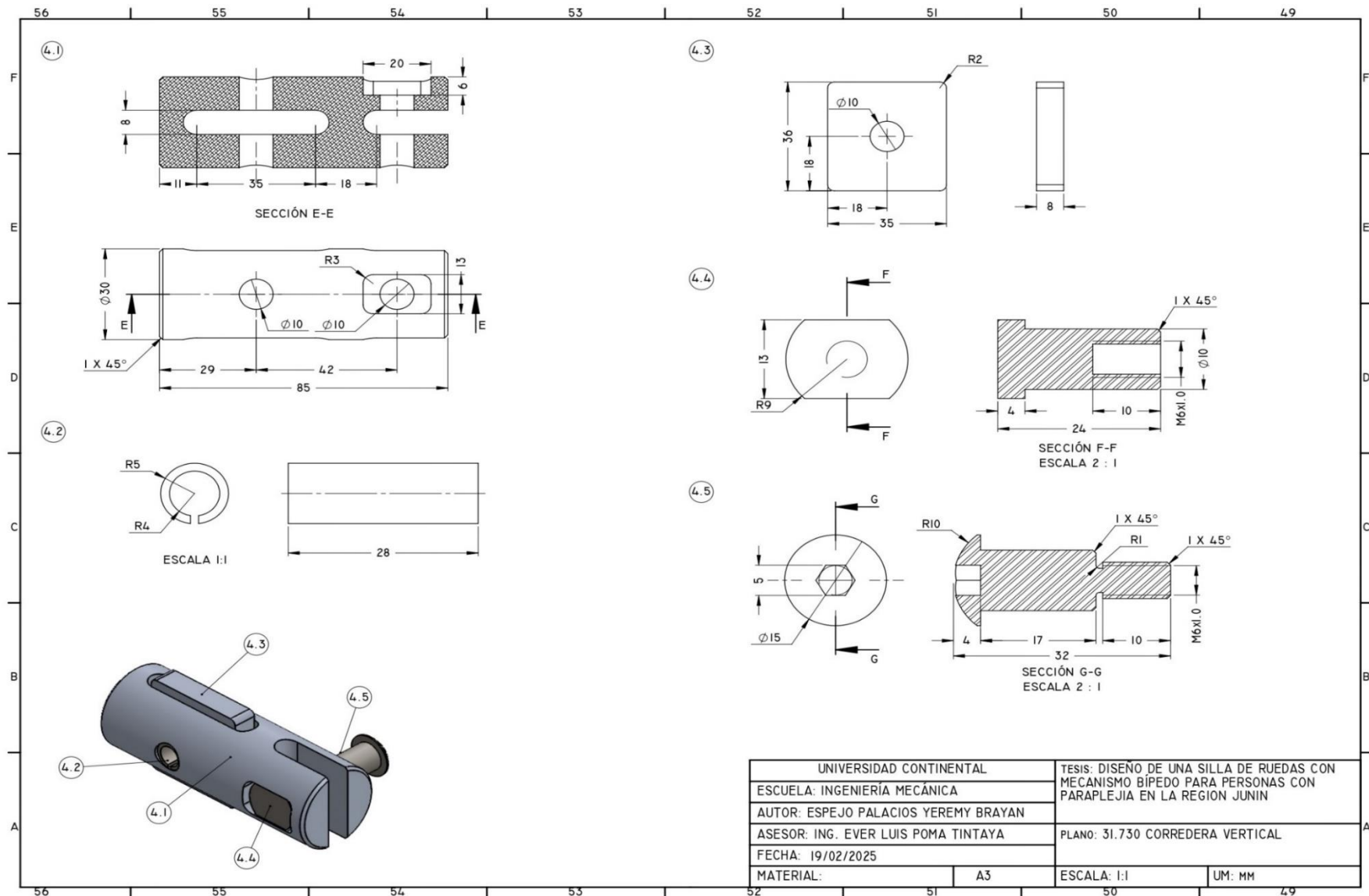


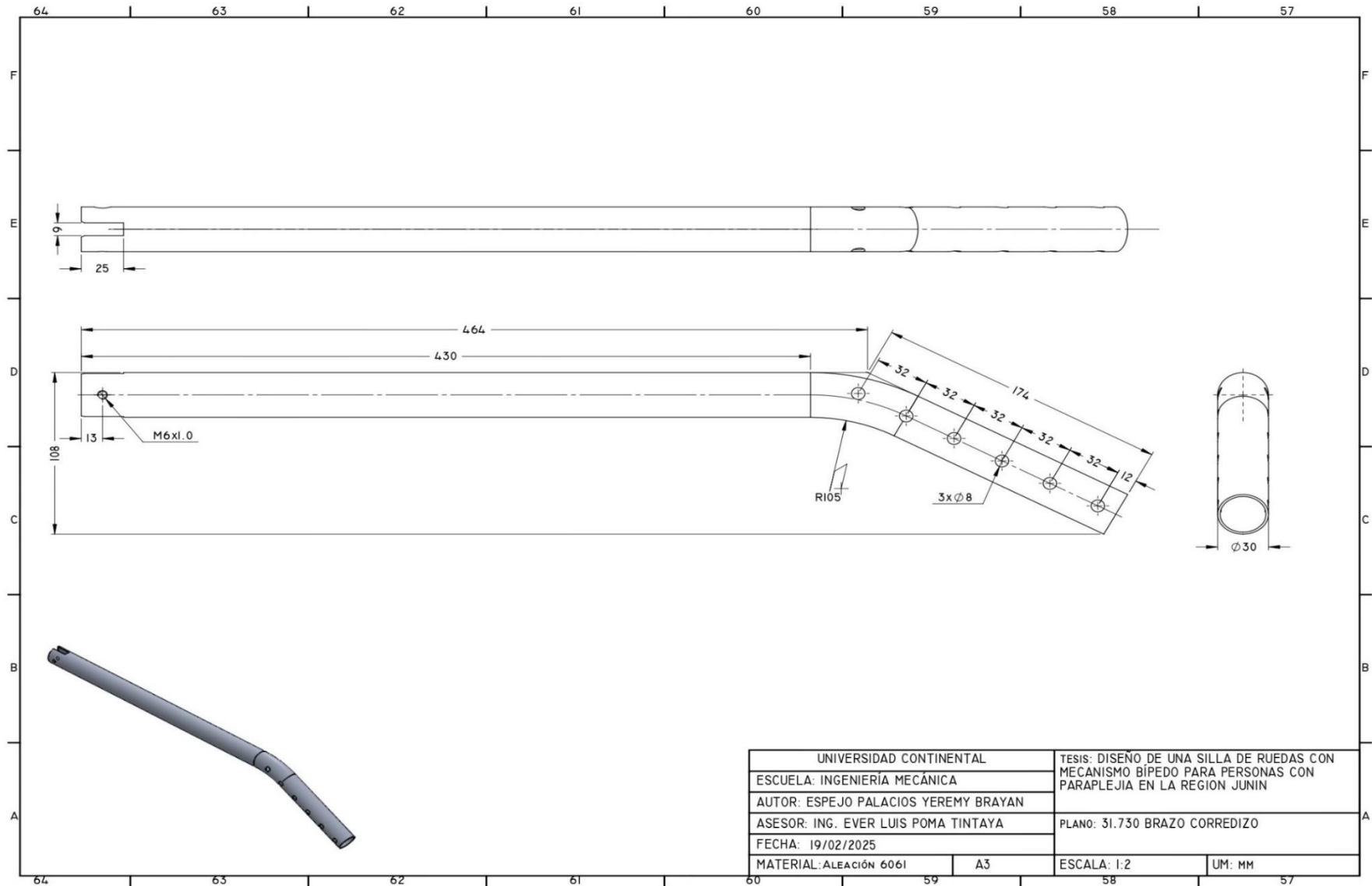


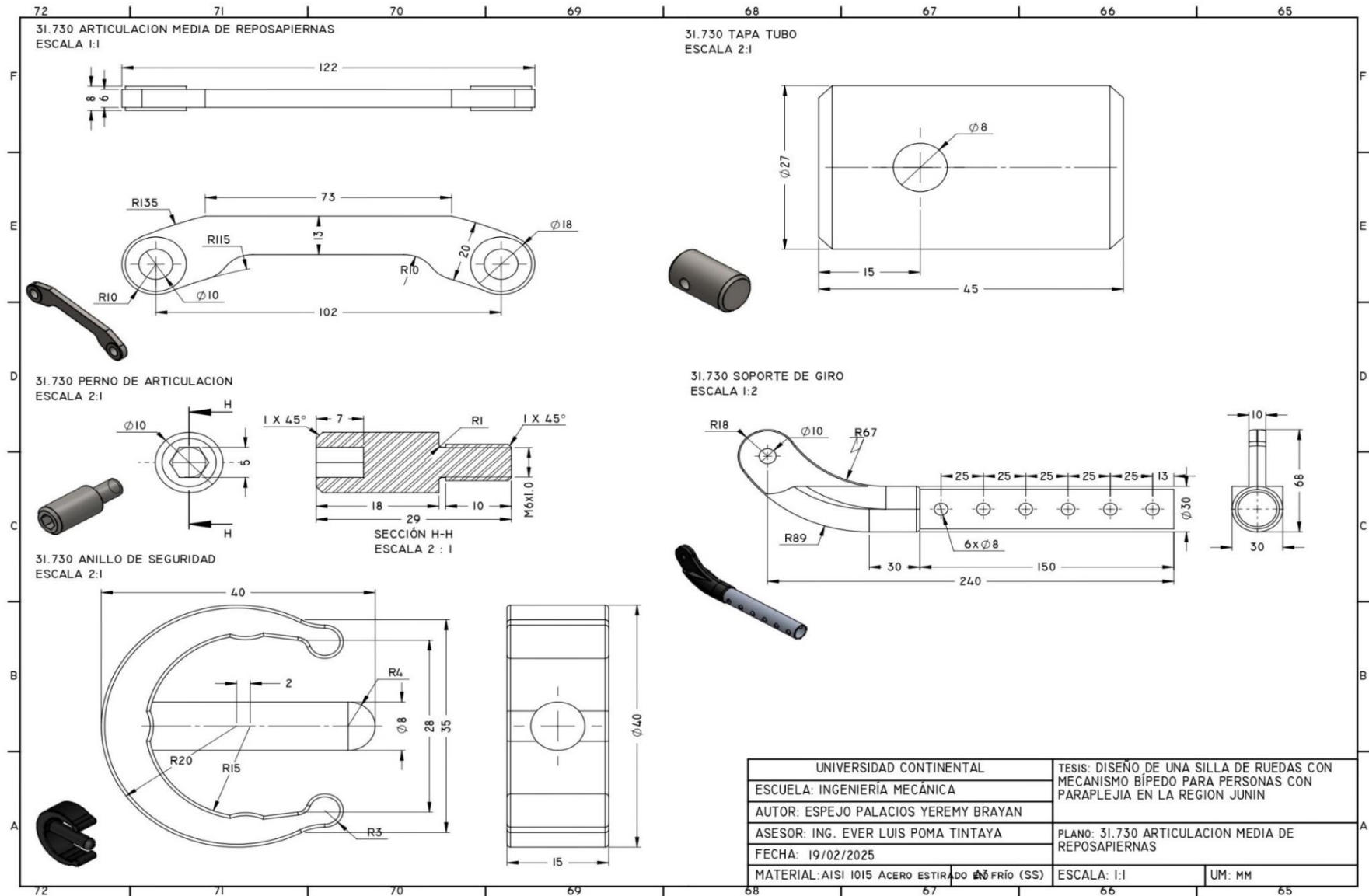




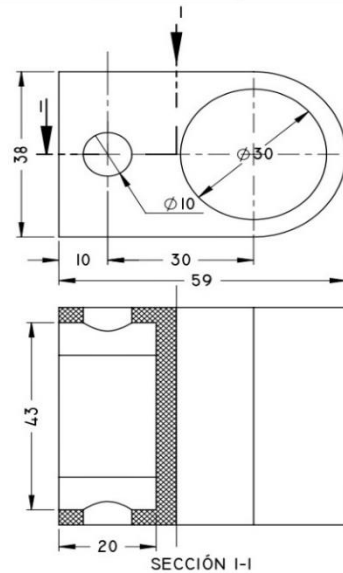
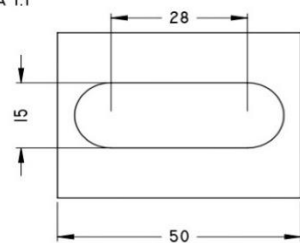






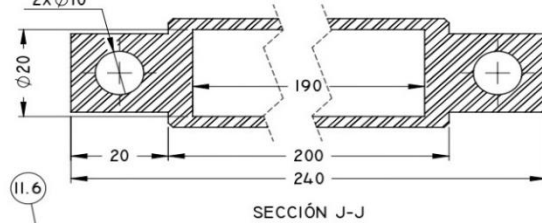
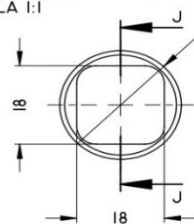


31.730 SOPORTE
ESCALA 1:1

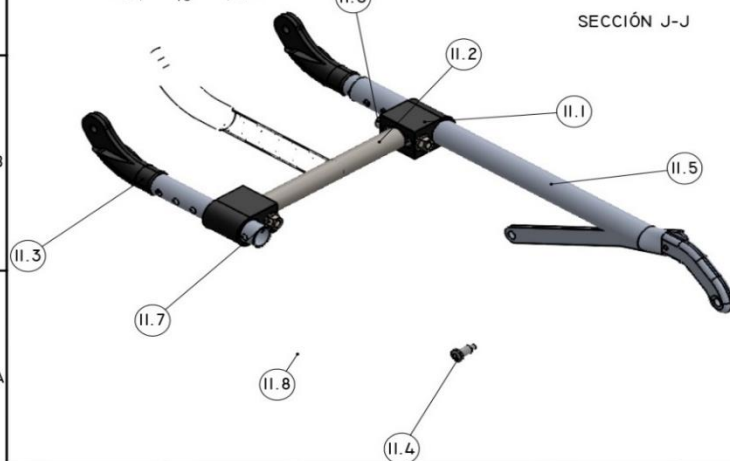


SECCIÓN I-I

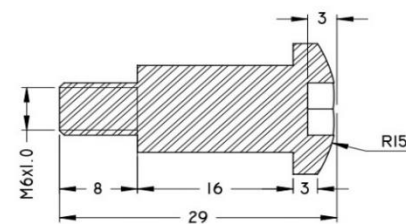
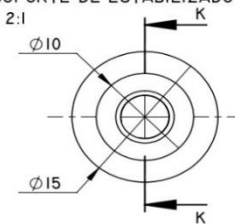
31.730 SOPORTE DE PISTON
ESCALA 1:1



SECCIÓN J-J

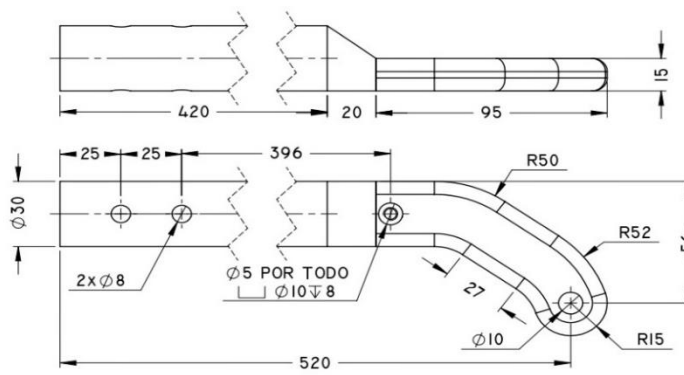


31.730 SOPORTE DE ESTABILIZADO
ESCALA 2:1

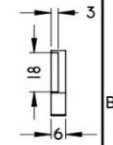
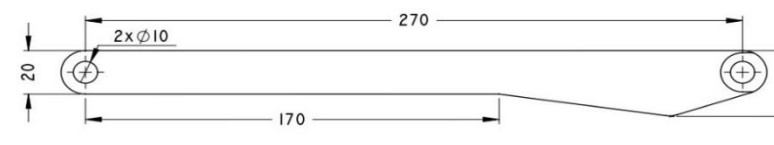


SECCIÓN K-K
ESCALA 2:1

31.730 SOPORTE DE SILLA
ESCALA 1:2



31.730 ESTABILIZADOR
ESCALA 2:1



UNIVERSIDAD CONTINENTAL		Tesis: DISEÑO DE UNA SILLA DE RUEDAS CON MECANISMO BÍPEDO PARA PERSONAS CON PARAPLEJIA EN LA REGION JUNIN	
ESCUELA: INGENIERÍA MECÁNICA			
AUTOR: ESPEJO PALACIOS YEREMY BRAYAN			
ASESOR: ING. EVER LUIS POMA TINTAYA		PLANO: 31.730 SILLA MOVIL	
FECHA: 19/02/2025			
MATERIAL:	A3	ESCALA: 1:1	UM: MM

