



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MECÁNICA

**“DISEÑO DE UNA SILLA BIPEDESTADORA PARA TERAPIAS
DE REHABILITACIÓN Y REEDUCACIÓN FÍSICA PARA
PERSONAS ADULTOS CON UN PESO MÁXIMO DE 100 Kg”**

Trabajo de integración curricular

Tipo: Proyecto técnico

Presentado para obtener el grado académico de:

INGENIERO MECÁNICO

AUTOR:

DAVID ALEJANDRO BATALLAS CONDOR

Riobamba – Ecuador

2022



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD MECÁNICA
CARRERA MECÁNICA

**“DISEÑO DE UNA SILLA BIPEDESTADORA PARA TERAPIAS
DE REHABILITACIÓN Y REEDUCACIÓN FÍSICA PARA
PERSONAS ADULTOS CON UN PESO MÁXIMO DE 100 Kg”**

Trabajo de integración curricular

Tipo: Proyecto técnico

Presentado para obtener el grado académico de:

INGENIERO MECÁNICO

AUTOR: DAVID ALEJANDRO BATALLAS CONDOR

DIRECTOR: Ing. SÓCRATES MIGUEL AQUINO ARROBA

Riobamba – Ecuador

2022

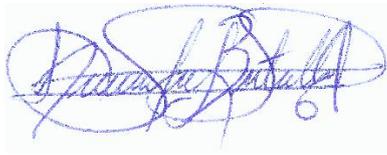
© 2022, David Alejandro Batallas Condor

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, DAVID ALEJANDRO BATALLAS CONDOR, declaro que el presente trabajo de integración curricular es de mi autoría y que los resultados de este son auténticos. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de integración curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Riobamba, 04 de febrero de 2022



David Alejandro Batallas Condor

1805025044

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA MECÁNICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto técnico, **“DISEÑO DE UNA SILLA BIPEDESTADORA PARA TERAPIAS DE REHABILITACIÓN Y REEDUCACIÓN FÍSICA PARA PERSONAS ADULTOS CON UN PESO MÁXIMO DE 100 Kg”** realizado por el señor: **DAVID ALEJANDRO BATALLAS CONDOR**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Msc. Edwin Fernando Viteri Núñez PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	_____	2022-02-04
Ing. Msc. Sócrates Miguel Aquino Arroba DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	_____	2022-02-04
Ing. Msc. Edwin Rodolfo Pozo Safla MIEMBRO DEL TRIBUNAL	_____	2022-02-04

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación primeramente a Dios que ha sido quien me ha acompañado en todo este camino llamado universidad, a las personas que de una u otra manera se han hecho presentes y han mostrado su apoyo durante esta parte de mi vida de estudios, a mis padres y hermanos quienes han sido ese pilar fundamental para poder llegar hasta este nivel de estudios.

David.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme la vida y las fuerzas para llegar hasta aquí, a mis padres quienes siempre están a mi lado dándome su apoyo incondicional, Ing. Miguel Aquino e Ing. Edwin Pozo por su asesoría y aporte en este trabajo de titulación.

David.

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiv
RESUMEN.....	xv
SUMMARY.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1.	DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA	2
1.1.	Antecedentes.....	2
1.2.	Delimitación.....	3
1.2.1.	<i>Delimitación espacial</i>	3
1.2.2.	<i>Delimitación sectorial</i>	3
1.3.	Formulación del problema	3
1.4.	Objetivos	3
1.4.1.	<i>Objetivo general</i>	3
1.4.2.	<i>Objetivos específicos</i>	3

CAPÍTULO II

2.	FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	4
2.1.	Discapacidad humana.....	4
2.2.	Antropometría.....	5
2.3.	Silla de ruedas	7
2.4.	Elementos de la silla de ruedas	7
2.4.1.	<i>Empuñadura de empuje</i>	7
2.4.2.	<i>Respaldos</i>	7
2.4.3.	<i>Apoyabrazos</i>	7
2.4.4.	<i>Asiento</i>	7
2.4.5.	<i>Piernera</i>	8
2.4.6.	<i>Apoya pies</i>	8
2.4.7.	<i>Ruedas delanteras</i>	8

2.4.8.	<i>Ruedas traseras</i>	8
2.4.9.	<i>Frenos</i>	8
2.5.	Consideraciones entre la silla de ruedas y el usuario	8
2.5.1.	<i>Centro de gravedad ubicado en la silla</i>	8
2.5.2.	<i>Propulsión de las ruedas</i>	9
2.5.3.	<i>Dimensión de las ruedas motrices</i>	9
2.5.4.	<i>Angulo de las ruedas</i>	9
2.5.5.	<i>Consideraciones para una silla de ruedas funcional</i>	10
2.5.5.1.	<i>Medidas adecuadas del asiento</i>	10
2.5.5.2.	<i>Ángulo y forma del asiento</i>	12
2.5.5.3.	<i>Ángulo de inclinación del asiento</i>	13
2.5.5.4.	<i>Soporte en los brazos</i>	14
2.6.	Silla de ruedas bipedestadora	14
2.6.1.	<i>Beneficios de las sillas de ruedas bipedestadoras</i>	15
2.6.2.	<i>Partes de una silla bipedestadora</i>	15
2.6.2.1.	<i>Elementos de sujeción</i>	16
2.6.3.	<i>Mecanismo bipedestador</i>	16
2.6.3.1.	<i>biomecánica de la bipedestación</i>	17
2.6.4.	Equipos de bipedestación	17

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	19
3.1.	Desarrollo de la solución	19
3.2.	Análisis	20
3.2.1.	<i>Dimensiones de la silla de ruedas</i>	20
3.2.1.1.	<i>Medidas antropométricas</i>	20
3.2.1.2.	<i>Ancho del asiento</i>	21
3.2.1.3.	<i>Altura del asiento</i>	22
3.2.1.4.	<i>Profundidad del asiento</i>	22
3.2.1.5.	<i>Altura del reposabrazos</i>	22
3.2.1.6.	<i>Altura del respaldar</i>	22
3.2.1.7.	<i>Longitud de los reposabrazos</i>	23
3.2.1.8.	<i>Ancho del espaldar</i>	23
3.2.1.9.	<i>Diámetro ruedas traseras</i>	23
3.2.2.	Casa de la calidad	24
3.2.2.1.	<i>Dimensiones</i>	24

3.2.2.2.	<i>Estructura</i>	25
3.2.2.3.	<i>Materiales</i>	25
3.2.2.4.	<i>Mecanismo</i>	25
3.3.	Diseño conceptual	25
3.3.1.	Alternativas de diseño	25
3.3.1.1.	<i>Selección del Material</i>	26
3.4.	Cálculos	29
3.4.1.	Análisis cinemático mecanismo bipedestador	29
3.4.1.2.	<i>Biomecánica de la bipedestación</i>	29
3.4.1.3.	<i>Análisis de posición del mecanismo</i>	32
3.4.1.4.	<i>Análisis de velocidad del mecanismo bipedestador</i>	36
3.4.1.5.	<i>Análisis de aceleración del mecanismo bipedestador</i>	39
3.4.2.	Diseño estructural	41
3.4.2.1.	<i>Carga de trabajo para el actuador lineal</i>	41
3.4.2.3.	<i>Análisis de la barra del asiento</i>	55
3.4.2.8.	Análisis de estabilidad	59
3.5.	Validación mediante SolidWorks	59
3.5.1.	Estructura del prototipo	59
3.5.2	Viga de sujeción	66
3.5.2.1.	<i>Pre proceso</i>	66
3.5.2.2.	<i>Proceso</i>	67
3.5.2.3.	<i>Post - proceso</i>	68
3.5.3.	Validación con el software MSC ADAMS	70
3.5.3.1.	<i>Mecanismo</i>	70
3.5.4.	Definición de propiedades	70
3.5.4.1	<i>Definición de conexiones</i>	71
3.5.5.	Definición de movimiento del actuador lineal	72
3.5.6.	Definición de las fuerzas externas	72
3.5.7.	Simulación	73
3.6.	Análisis de costos	74
3.6.1.	Costos directos	74
3.6.1.1.	<i>Elementos mecánicos</i>	75
3.6.1.2.	<i>Manufactura</i>	75
3.6.1.3.	<i>Mano de obra</i>	75
3.6.1.4.	<i>Componentes eléctricos</i>	76
3.6.1.5.	<i>Costos directos totales</i>	76
3.6.2.	Costos indirectos	76

3.6.3.	<i>Costo total</i>	77
--------	--------------------------	----

CAPÍTULO IV

4.	RESULTADOS	78
4.1.	Validación dinámica	78
4.1.1.	<i>Posiciones</i>	78
4.1.2.	<i>Velocidades</i>	79
4.1.3.	<i>Aceleraciones</i>	80
4.1.4.	<i>Actuador lineal</i>	80
4.2.	Validación estructural	82
4.2.1.	<i>Estructura del prototipo</i>	82
4.2.2.	<i>Eje del actuador</i>	83
	CONCLUSIONES	85
	RECOMENDACIONES	86
	GLOSARIO.	
	BIBLIOGRAFIA.	
	ANEXOS.	

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Definiciones de medidas antropométricas.....	5
Tabla 1-3:	Alternativas materiales de la silla bipedestadora.....	26
Tabla 2-3:	Propiedades mecánicas del acero estructural	29
Tabla 3-3	Dimensiones mecanismo 4 barras	31
Tabla 4-3:	Dimensiones mecanismo bipedestador.....	33
Tabla 5-3:	Porcentajes de pesos del cuerpo humano	41
Tabla 6-3:	Pesos equivalentes en base al porcentaje adquirido	42
Tabla 7-3:	Alternativas actuadores de la silla bipedestadora.....	45
Tabla 8-3:	Datos del actuador lineal	46
Tabla 9-3:	Datos del controlador del actuador.....	47
Tabla 10-3:	Datos de catálogo del perfil.....	56
Tabla 11-3:	Propiedades acero estructural	59
Tabla 12-3:	Propiedades acero estructural	60
Tabla 13-3:	Propiedades acero grado 8.8.....	61
Tabla 14-3:	Costos elementos mecánicos	75
Tabla 15-3:	Costos de manufactura	75
Tabla 16-3:	Costos de mano de obra.....	75
Tabla 18-3:	Costos directos totales	76
Tabla 19-3:	Costos indirectos	76
Tabla 20-3:	Costo total	77
Tabla 1-4:	Resultados para los diferentes tipos de mallados	82
Tabla 2-4:	Resultados para los diferentes tipos de mallados en el eje	84

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-2:	Posición de las ruedas.....	9
Figura 2-2:	Ángulo de las ruedas	10
Figura 3-2:	Postura en el asiento	11
Figura 4-2:	Longitud corta del asiento	11
Figura 5-2:	Longitud excedida del asiento	12
Figura 6-2:	Longitud óptima del asiento	12
Figura 7-2:	Asiento asimétrico y ángulo del asiento	13
Figura 8-2:	Diferentes inclinaciones del respaldo.	13
Figura 9-2:	Esfuerzo en la columna según inclinación.	14
Figura 10-2:	Reposabrazos.....	14
Figura 11-2:	Silla Bipedestadora.....	15
Figura 12-2:	Arnés tipo chaleco	16
Figura 13-2:	Arnés en Pecho y rodillas	16
Figura 14-2:	Biomecánica de la bipedestación.....	17
Figura 15-2:	Bipedestador tipo grúa.....	18
Figura 16-2:	Bipedestador tipo mecanismo paralelogramo.	18
Figura 1-3:	Desarrollo del proyecto	19
Figura 2-3:	Medidas antropométricas	20
Figura 3-3:	Universo de materiales CES EduPack.....	27
Figura 4-3:	Cambio de posición sentado a bípedo	29
Figura 5-3:	Cambio de posición sentado a bípedo	30
Figura 6-3:	Esquema para verificar condición de Grashof.....	31
Figura 7-3:	Mecanismo 4 barras de silla bipedestadora	32
Figura 8-3:	Esquema simplificado del mecanismo bipedestador	32
Figura 9-3:	Análisis vectorial de posición del mecanismo bipedestador lazo 1.....	33
Figura 10-3:	Análisis de velocidad del mecanismo bipedestador lazo 1.....	36
Figura 11-3:	Análisis vectorial de aceleraciones del mecanismo bipedestador lazo 1.....	39
Figura 12-3:	Diagrama de fuerza de levantamiento	42
Figura 13-3:	Angulo de bipedestacion	43
Figura 14-3:	Trayectoria del actuador lineal	44
Figura 15-3:	Dimensiones del actuador lineal.....	46
Figura 16-3:	Controlador Inalámbrico Eco-Worthy.....	47
Figura 17-3:	Diagrama de conexión del controlador inalámbrico Eco-Worthy.....	48
Figura 18-3:	Diagrama de cuerpo libre a un ángulo de 0°	49

Figura 19-3:	Diagrama de cuerpo libre a un ángulo de 15°	50
Figura 20-3:	Diagrama de cuerpo libre a un ángulo de 30°	51
Figura 21-3:	Diagrama de cuerpo libre a un ángulo de 45°	52
Figura 22-3:	Diagrama de cuerpo libre a un ángulo de 60°	53
Figura 23-3:	Diagrama de cuerpo libre a un ángulo de 75°	54
Figura 24-3:	Barra del asiento de la silla bipedestadora	55
Figura 25-3:	Detalle de la barra del asiento de la silla bipedestadora.....	55
Figura 26-3:	Análisis punto A.....	56
Figura 27-3:	Detalle de la barra del asiento de la silla bipedestadora.....	57
Figura 28-3:	Análisis del elemento en el punto C.....	58
Figura 29-3:	Geometría de análisis en solidworks	60
Figura 30-3:	Aplicación de fuerzas y soportes.....	61
Figura 31-3:	Diferentes calidades de malla a analizar en el prototipo	63
Figura 32-3:	Deformación de la silla bipedestadora	64
Figura 33-3:	Resultados del estado de esfuerzos en el prototipo	65
Figura 34-3:	Resultados del factor de seguridad.....	66
Figura 35-3:	Geometría del eje de movilidad del actuador	66
Figura 36-3:	Aplicación de fuerzas y soportes.....	67
Figura 37-3:	Mallado fino del elemento tipo L	68
Figura 38-3:	Resultados del estado de deformación del elemento tipo L	68
Figura 39-3:	Resultados del estado De Esfuerzos del elemento tipo L.....	69
Figura 40-3:	Resultados del factor de seguridad del elemento tipo L.....	69
Figura 41-3:	Modelo en Adams	70
Figura 42-3:	Selección del material	71
Figura 43-3:	Definición de conexiones y movimientos	71
Figura 44-3:	Definición de conexiones y movimientos	72
Figura 45-3:	Definición de conexiones y movimientos	72
Figura 46-3:	Control de la simulación.....	73
Figura 47-3:	Simulación del cambio de posición de sedestación a bipedestación	73
Figura 48-3:	Trazado de movimiento del mecanismo bipedestador	74
Figura 1-4:	Convergencia de resultados.....	82
Figura 2-4:	Convergencia de Eje que utiliza el actuador	83

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-2:	Tipos de discapacidades en el Ecuador	4
Gráfico 1-3:	Medidas antropométricas	21
Gráfico 2-3:	Casa de la calidad	24
Gráfico 3-3:	Propiedades mecánicas CES EduPack	27
Gráfico 4-3:	Resultado de la selección	28
Gráfico 5-3:	Diagrama cinemático de la posición angular en Matlab.....	35
Gráfico 6-3:	Diagrama cinemático de la traslación en Matlab.....	35
Gráfico 7-3:	Singularidad en Matlab	36
Gráfico 8-3:	Velocidad angular del mecanismo en Matlab	38
Gráfico 9-3:	Velocidad lineal del mecanismo en Matlab.....	39
Gráfico 1-4:	Comparación de posiciones de Adams y Matlab.....	78
Gráfico 2-4:	Comparación de velocidades de Adams y Matlab	79
Gráfico 3-4:	Comparación de aceleraciones de Adams y Matlab.....	80
Gráfico 4-4:	Potencia y características del actuador lineal a máxima carga	81
Gráfico 5-4:	Potencia y características del actuador lineal sin carga	81
Gráfico 6-4:	Gráfica nodos vs esfuerzos del prototipo	83
Gráfico 7-4:	Gráfica nodos vs esfuerzos en el eje.....	84

INDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** Propiedades de acero estructural
- ANEXO B:** Propiedades mecánicas de pernos
- ANEXO C:** Propiedades perfil estructural
- ANEXO D:** Código de Matlab
- ANEXO E:** Actuador lineal eléctrico
- ANEXO F:** Controlador actuador lineal
- ANEXO G:** Planos

RESUMEN

El objetivo del presente proyecto está orientado al diseño y construcción de una silla bipedestadora con capacidad de carga de 100 kg para terapias de rehabilitación y reeducación física. Esta silla bipedestadora está diseñada para personas que sufren de algún problema temporal que imposibilita la movilidad de miembros inferiores, con lo cual se busca que el usuario reciba una terapia adecuada en la misma. Para el diseño de la estructura se tomó en cuenta las medidas antropométricas de los ecuatorianos promedio y por medio de SolidWorks se obtuvo un diseño de la estructura base de la silla, el mecanismo de bipedestación denominado cuatro barras se lo obtuvo analizando la condición de Grashof, simulando y validando sus diferentes propiedades en Matlab y Adams, el cual garantiza una correcta funcionalidad y sobre todo seguridad para el usuario. Con el software CES EduPack se obtuvo el material que se ajusta mejor a las necesidades del prototipo, con la ayuda del análisis de elementos finitos se obtuvo el dimensionamiento de los elementos que componen la silla de ruedas bipedestadora. El actuador lineal es seleccionado de acuerdo con las necesidades de uso y haciendo referencia a que va a ser usado por personas con discapacidad temporal. Finalmente, la silla de ruedas bipedestadora cuenta con medidas estándares de sillas de ruedas comerciales, el mecanismo de bipedestación tiene un diseño bastante eficiente y seguro lo que permite que la bipedestación del usuario sea lo bastante cómoda y confiable para realizar terapias de rehabilitación y reeducación física. Se recomienda realizar un estudio de mallado previo en SolidWorks para poder validar los datos obtenidos.

Palabras claves: <SILLA BIPEDESTADORA> <TERAPIA DE REHABILITACIÓN>
<REEDUCACIÓN FÍSICA> <MECANISMO DE BIPEDESTACIÓN>
<ANTROPOMETRÍA>.



Firmado electrónicamente por:
**HOLGER GERMAN
RAMOS UVIDIA**

0550-DBRA-UPT-2022

2022-03-30

SUMMARY

The objective of this project is oriented to the design and construction of a standing chair with a load capacity of 100 kg for physical rehabilitation and re-education therapies. This standing chair is designed for people who suffer from a temporary problem that makes mobility of the lower limbs impossible, with which it is sought that the user receives adequate therapy in it. For the design of the structure, the anthropometric measurements of the average Ecuadorians were considered and through SolidWorks a design of the base structure of the chair was obtained, the standing mechanism called four bars was obtained by analyzing the Grashof condition, simulating and validating its different properties in Matlab and Adams, which guarantees correct functionality and, above all, security for the user. With the CES EduPack software, the material that best fits the needs of the prototype was obtained, with the help of finite element analysis, the dimensioning of the elements that make up the standing wheelchair was obtained. The linear actuator is selected according to the needs of use and referring to the fact that it will be used by people with temporary disabilities. Finally, the standing wheelchair has standard measurements of commercial wheelchairs, the standing mechanism has a quite efficient and safe design, which allows the user's standing position to be comfortable and reliable enough to carry out physical rehabilitation and re-education therapies. It is recommended to carry out a previous meshing study in SolidWorks to validate the data obtained.

Keywords: <STANDING CHAIR> <REHABILITATION THERAPY> <PHYSICAL RE-EDUCATION> <STANDING MECHANISM> <ANTHROPOMETRY>.

LUIS
FRANCISCO
O
MANTILLA
CABRERA

Firmado
digitalmente por
LUIS FRANCISCO
MANTILLA
CABRERA
Fecha: 2022.04.05
14:06:31 -05'00'

INTRODUCCIÓN

El cuerpo humano es propenso a sufrir innumerables lesiones, por diversas causas, de las cuales la discapacidad física es uno de los problemas más sobresalientes por lo que la sociedad juntamente con las diferentes áreas de conocimiento en el tema se ve en la necesidad de crear instrumentos y mecanismos que ayude a su movilidad y tratamiento.

De esta manera, la silla de ruedas ofrece una solución bastante eficiente para las personas que sufren de discapacidad en sus extremidades inferiores.

El diseño de las diferentes sillas de locomoción que existen se realiza de acuerdo con el requerimiento de los pacientes, en esta parte se analiza las aplicaciones y el tipo de discapacidad del paciente.

La presencia de sillas bipedestadoras en el país es limitada, con este proyecto se busca solucionar uno de los principales problemas que se presentan en los pacientes con discapacidad física en extremidades inferiores que es el poder realizar una rehabilitación adecuada y reeducar su cuerpo para de esta manera poder reintegrarse a sus actividades en el menor tiempo posible, la silla bipedestadora aportará de manera significativa a la recuperación completa del paciente, dando así un aporte positivo a la sociedad y reintegrando a los individuos después de una rehabilitación y reeducación física a sus labores normales.

La silla bipedestadora propuesta en esta investigación funciona mediante un mecanismo de cuatro barras el cual ha sido diseñado específicamente para cumplir con los requerimientos de seguridad y estabilidad al momento de darle uso, la terapia en esta silla se trata de cambiar de estado de sedeste a bípedo en reiteradas ocasiones con una velocidad baja y alta estabilidad, lo cual beneficiará al usuario en poder mantener en movimiento las zonas que por incapacidad física se imposibilita el poder mantenerlas en un movimiento habitual.

La bipedestación se da gracias al conjunto que conforma el mecanismo de cuatro barras y un actuador lineal eléctrico, lo cual garantiza que el movimiento de bipedestación será estable y no tendrá sobre aceleraciones o movimientos repentinos no deseados.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

El desarrollo global obliga a las naciones en vías de desarrollo a mejorar la calidad de vida de las personas con ciertas limitaciones de movilidad, para ello es necesario entender las necesidades que requieren como individuos.

Por lo tanto observando la necesidad en los individuos con limitada movilidad y problemas para realizar la bipedestación, con el objetivo de ofrecer una rehabilitación y reeducación física, se propone el diseño de una silla bipedestadora para rehabilitación y reeducación física lo que implica un diseño ergonómico y eficiente para la bipedestación de la persona, la cual es de mucha importancia para poder dar movilidad a la persona para una futura rehabilitación de su condición, es necesario un buen diseño para que el paciente pueda gozar de ciertas bondades que brinda la silla como son, medula ósea mejorada, al estar en posición bípeda se mantiene la salud y la fuerza de los huesos.

La fisionomía y en si el cuerpo humano está en constante peligro de sufrir limitaciones de movilidad, siendo la minusvalía uno de los principales problemas a resolver en la condición del ser humano, por lo cual la ingeniería es parte vital para resolver dichos problemas, creando instrumentos y mecanismos para facilitar una pronta rehabilitación en la persona.

Es de vital importancia el tener una condición física óptima para poder desenvolverse en el diario vivir, los accidentes llegan sin que la persona se lo espere y pueden afectar de forma drástica a la movilidad de la misma, siendo las fracturas en la columna una de las más peligrosas por afectar a la completa movilidad de la persona afectada, el individuo que ha sufrido este tipo de accidentes o su columna ha sido afectada, con seguridad necesitará de una rehabilitación física para poder reincorporarse y volver a su vida cotidiana, ya que por la condición que tiene en el momento del accidente no va a tener la posibilidad de ponerse en pie o hacer movimientos bruscos.

GIEBI, grupo de investigación en bioingeniería, perteneciente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, se especializan en realizar investigaciones en la cual se combinan la ingeniería y la calidad de vida de los seres humanos, preocupados por la calidad de vida de las personas se incursiona en el diseño de una silla bipedestadora la cual ayudará en gran manera a la pronta rehabilitación y a mejorar la calidad de vida del individuo que la use.

1.2. Delimitación

1.2.1. Delimitación espacial.

El presente trabajo se desarrollará en la ciudad de Riobamba, provincia de Chimborazo del territorio nacional del Ecuador.

1.2.2. Delimitación sectorial

El estudio y desarrollo de este trabajo se acoge al Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021, en base al objetivo 1 el cual indica; Garantizar una vida digna con iguales oportunidades para todas las personas.

1.3. Formulación del problema

El grupo de investigación GIEBI perteneciente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica realiza estudios para mejorar el nivel de vida de las personas, por lo que nos enfocamos en este caso a las personas que sufren una discapacidad de sus miembros inferiores lo cual imposibilita el movimiento de estos.

Las personas con limitación de movimiento o discapacidad no pueden realizar movimientos como ponerse de pie o hacer fuerza con sus extremidades, en general para poder realizar terapias de rehabilitación física es necesario realizar el movimiento de bipedestación para que sus partes vuelvan a tener el funcionamiento normal, por lo cual surge la necesidad de una silla de bipedestación para poder hacer posibles la rehabilitación física de la persona.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Diseñar una silla bipedestadora para rehabilitación y reeducación física para personas adultas con un peso máximo de 100 Kg.

1.4.2. Objetivos específicos

- Analizar del estado del arte sobre el uso de sillas bipedestadoras en el área médica.
- Diseñar los elementos que constituyen la silla bipedestadora mediante la mecánica computacional.
- Realizar la simulación y validación mediante la mecánica computacional.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Discapacidad humana

Se entiende por discapacidad humana a la limitación temporal o indefinida de poder realizar movimientos por voluntad propia que en el ser humano se consideran normales, esto debido a una anomalía física en el individuo.

Según la Encuesta Mundial de Salud, alrededor de 785 millones de personas (15,6%) de 15 años en adelante viven con una discapacidad, mientras que el proyecto sobre la Carga Mundial de Morbilidad estima una cifra próxima a los 975 millones (19,4%). La Encuesta Mundial de Salud señala que, del total estimado de personas con discapacidad, 110 millones (2,2%) tienen dificultades significativas de funcionamiento. (OMS 2011)

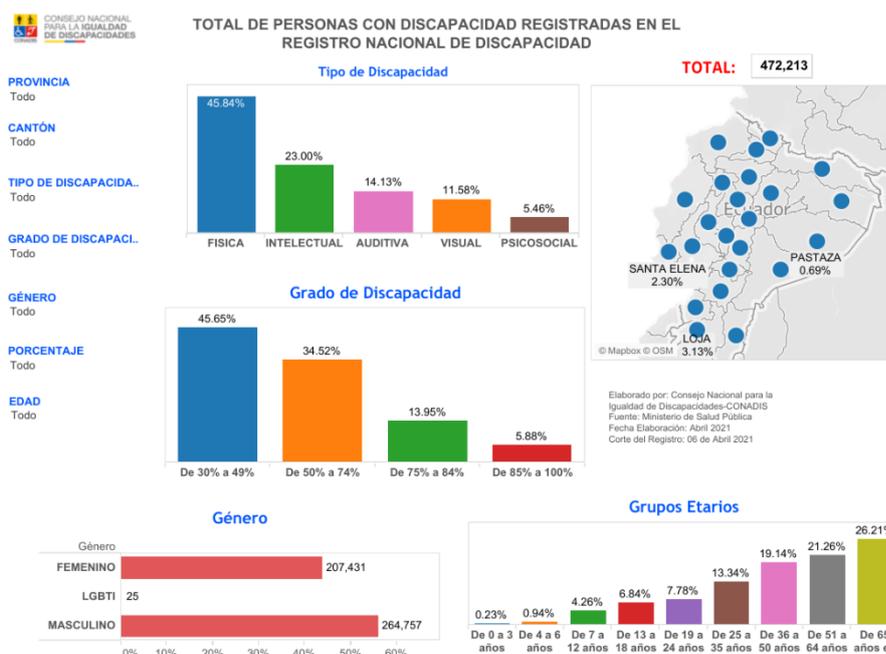


Gráfico 1-2: Tipos de discapacidades en el Ecuador

Fuente: (Conadis 2020)

Como se puede evidenciar con respecto a los datos obtenidos por el Consejo Nacional para la igualdad de Discapacidades, el mayor porcentaje reflejado es por discapacidad física se obtiene el 45,84% de personas que tienen imposibilidad para realizar algún tipo de movimiento con el cuerpo. (Conadis 2020)

Con lo mencionado anteriormente y las evidencias obtenidas por parte del CONADIS, es de vital importancia el poder contar con una silla de ruedas para la movilidad de la persona en caso de que su discapacidad física corresponda a sus extremidades inferiores.

El tipo de silla de ruedas en la cual se menciona en este trabajo hace referencia a la bipedestación para rehabilitación y reeducación física, la cual posibilita a la persona a una futura y pronta recuperación mediante el movimiento de bipedestación lo que al mismo tiempo ayuda a la persona a poder sentirse mejor anímicamente ya que puede realizar movimientos medianamente normales con su cuerpo.

2.2. Antropometría

Mediante la antropometría se evidencia por datos estadísticos las dimensiones para un grupo determinado de la población en general. Se deben tomar las medidas más relevantes para el usuario en cuestión e implementar una ergonomía adecuada para la condición de discapacidad, es decir una consideración biomecánica ajustada a las necesidades planteadas, esto asegura un correcto acceso, fácil operación y buen funcionamiento.

Las medidas antropométricas necesarias para un buen diseño de la silla bipedestadora están estrechamente relacionadas con la estatura del usuario. Se puede relacionar lo antes dicho en la siguiente ecuación.

$$W = h - 100 \text{ Kg}$$

Tabla 1-2: Definiciones de medidas antropométricas

Abreviatura	Medida	Postura	Definición
AP	Altura poplítea	Sentado	Distancia vertical desde el suelo hasta la depresión poplítea
SP	Distancia Sacro-Poplítea	Sentado	Distancia horizontal desde la depresión poplítea hasta el plano vertical de la espalda
SR	Distancia Sacro-Rótula	Sentado	Distancia horizontal desde la rótula hasta el plano vertical de la espalda
MS	Altura muslo-suelo	Sentado	Distancia vertical desde el suelo hasta la parte más alta del muslo
RS	Altura rodilla-suelo	Sentado	Distancia vertical desde el suelo hasta el punto más alto de la rodilla
CS	Altura codo-suelo	Sentado	Distancia vertical desde el suelo hasta la parte más saliente del codo
AmínBa	Alcance mínimo del brazo	Sentado	Distancia horizontal desde el respaldo del asiento hasta el plano vertical que se produce en la mano.

CM	Distancia codo-mano	Sentado	Distancia horizontal desde el codo hasta la punta de los dedos con la mano extendida
AmáxBa	Alcance máximo del brazo	Sentado	Distancia horizontal desde el plano vertical que pasa por las escapulas hasta el eje vertical que se produjo con el puño.
HS	Altura hombros-suelo	Sentado	Distancia vertical desde el suelo hasta el punto equidistante del cuello y el acromion
CdCd	Ancho de las caderas	Sentado	Distancia horizontal entre los muslos
RRs	Ancho rodillas	Sentado	Distancia horizontal entre los puntos exteriores de las rodillas
AS	Altura sobre escapular	Sentado	Distancia vertical desde el suelo hasta el ángulo inferior de la escapula
CC	Ancho codo-codo	Sentado	Distancia horizontal entre la parte externa de los codos
PP	Profundidad del pecho	Sentado	Distancia horizontal mediada desde la escapula hasta el punto más alejado del pecho
HH	Anchura de los hombros	Sentado	Distancia horizontal entre los músculos deltoides
AT	Ancho tórax	Sentado	Distancia medida en el tórax en las zonas externas del pecho
PeMus	Perímetro Muslo	Sentado	Medida que rodea la parte más saliente del muslo
PePan	Perímetro pantorrilla	Sentado	Medida que rodea la parte más saliente de la pantorrilla
Atro	Altura trocánter	Parado	Distancia desde el suelo hasta el abultamiento del muslo trocánter
AG	Altura Glúteo	Parado	Distancia vertical desde el suelo hasta la parte más saliente del glúteo
PeAb	Perímetro abdomen	Parado	Medida que rodea el abdomen

Fuente: (Barbero y Ortega 2015)

Realizado por: Batallas Condor, D, 2021.

2.3. Silla de ruedas

Una silla de ruedas es aquella que facilita la movilidad o locomoción de la persona que ha sufrido una lesión o enfermedad física.

Las discapacidades que puede llegar a sufrir el ser humano son diferentes lo que conlleva a fabricar diferentes tipos de sillas de ruedas de acuerdo con la necesidad de la persona afectada.

2.4. Elementos de la silla de ruedas

Diversos son los elementos que complementan a las sillas de ruedas y los encontramos de diferentes formas y tamaños, existen elementos que son esenciales para la silla de ruedas y otros que vendrían a ser complementarios según la necesidad del usuario. (Senadis 2015)

Si bien existen distintas características de acuerdo con el modelo de silla de ruedas, hay elementos más generales que las sillas de ruedas debieran incorporar en su estructura.

2.4.1. Empuñadura de empuje

Manillas que se encuentra en la parte posterior superior de la silla de ruedas y que sirve para ayudar a trasladar a la persona mediante un empuje de otro individuo.

2.4.2. Respaldos

Componente que aporta a la correcta posición. Se puede encontrar múltiples tipos de respaldos como son: (butaca, estándar, flexibles, extraíbles, fijos, entre otros) la elección de estos, dependen del control de tronco del usuario/a y de sus necesidades particulares. (Castanier Muñoz y Mendía Idrovo 2018)

2.4.3. Apoyabrazos

componente que permite colocar de manera correcta los brazos, a manera de evitar posturas incorrectas. (Barbero y Ortega 2015)

2.4.4. Asiento

Elemento base de las sillas de ruedas, la cual permite ubicar la pelvis con el tronco, ayudando así la distribución del peso. Existen de diversas medidas y materiales, dependiendo del tipo de silla que se solicite. (Barbero y Ortega 2015)

2.4.5. Pienera

Elemento que favorece la alineación entre el tronco y miembros inferiores. Estas pueden ser abatibles, desmontables y fijas, lo que dependerá de la utilidad que le vaya a dar de cada usuario. (Barbero y Ortega 2015)

2.4.6. Apoya pies

Permite apoyar los pies en bases incorporadas en la parte de las piernas. Estos favorecen el alineamiento entre las caderas y rodillas. (Castanier Muñoz y Mendía Idrovo 2018)

2.4.7. Ruedas delanteras

Elemento que permite mayor facilidad de giro y movilidad de la silla de ruedas. Hay ruedas con cámara y sin ella, características que dependen del tipo de silla que se requiera. (Barbero y Ortega 2015)

2.4.8. Ruedas traseras

Componente que le proporciona estabilidad a la silla y también regula la fuerza de propulsión, esto dependiendo del tamaño de la rueda. (Barbero y Ortega 2015)

2.4.9. Frenos

Son los encargados de detener el movimiento de la silla, las podemos encontrar de distintos materiales y diseños según el uso que le vaya a dar el individuo. (Barbero y Ortega 2015)

2.5. Consideraciones entre la silla de ruedas y el usuario

La silla de ruedas aporta una solución a los problemas de movilidad que tienen los seres humanos con discapacidades físicas. Para las personas que usan la silla de ruedas, les ayuda en gran manera a su movilidad diaria por lo cual pasan la mayor parte del día en ella. Es el elemento que permitirá a la persona que lo usa reintegrarse a su vida cotidiana. La silla de ruedas debe cumplir, principalmente con lo siguiente: debe ser estable y confortable; y debe permitir un fácil desplazamiento (Anchez et al. 2007).

2.5.1. Centro de gravedad ubicado en la silla

Para poder ubicar de una manera adecuada el centro de gravedad en la silla de ruedas se deben tomar ciertas consideraciones, la primera, si el centro de gravedad es ubicado en la parte posterior de la silla se aumenta el peso sobre las ruedas traseras, esto ayuda a una mejor maniobrabilidad,

pero con una menor estabilidad. Si ubicamos el centro de gravedad en la parte delantera y hacia abajo la silla aumenta en estabilidad, pero ahora es más complicado de maniobrar (Tambaco 2017).

2.5.2. Propulsión de las ruedas

Para lograr una óptima propulsión en la silla es necesario considerar que las ruedas traseras deben tener una altura adecuada tal que el usuario con los hombros relajados y el brazo estirado, toque con el extremo de los dedos el eje de la rueda trasera (Tambaco 2017).

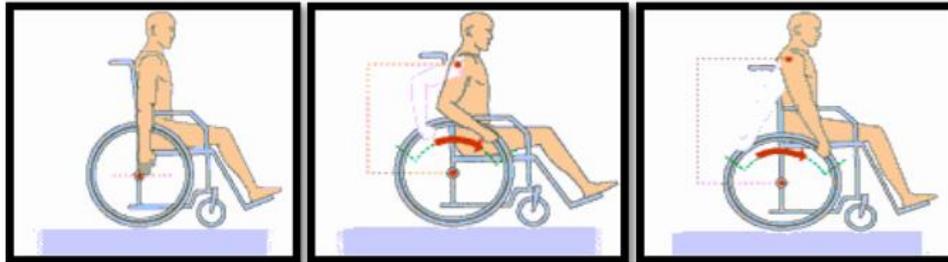


Figura 1-2: Posición de las ruedas.

Fuente: (Tambaco 2017)

Si la rueda queda muy alta, la persona debería flexionar el brazo demasiado para poder propulsarse y esto desencadena en un cansancio excesivo para el usuario.

Si la rueda queda muy abajo, la persona debería estirar demasiado los brazos y no se puede aplicar la fuerza necesaria para realizar una propulsión adecuada.

De la misma manera la rueda debe estar ubicada en su posición correcta de manera horizontal respecto al usuario. Si por una parte la rueda se encuentra adelantada, la persona iniciaría la propulsión demasiado atrás y no podría completar adecuadamente el recorrido (Tambaco 2017).

2.5.3. Dimensión de las ruedas motrices

El tamaño de las ruedas se debe considerar la más pequeña ya que permite aplicar menor esfuerzo para propulsarlas, pero adicional realiza un recorrido más corto. Se suelen utilizar ruedas con medidas inferiores a 24" en personas que tienen limitada movilidad en sus hombros. Para los niños se suelen utilizar ruedas con menor diámetro, para que sus brazos queden en una postura adecuada para propulsar de manera adecuada la silla (Aguilar 2020).

2.5.4. Angulo de las ruedas

Para realizar una correcta configuración en el ángulo de inclinación es necesario considerar lo siguiente:

Si la distancia entre ruedas a la base es mayor, los brazos quedan más cerca al cuerpo lo que ayuda a una mayor estabilidad y movilidad en la silla.

Si la distancia en la base disminuye, los brazos quedarán más lejos del cuerpo lo cual dificulta al momento de aplicar la fuerza para realizar la propulsión de la silla, con esto la silla tiene una menor estabilidad.

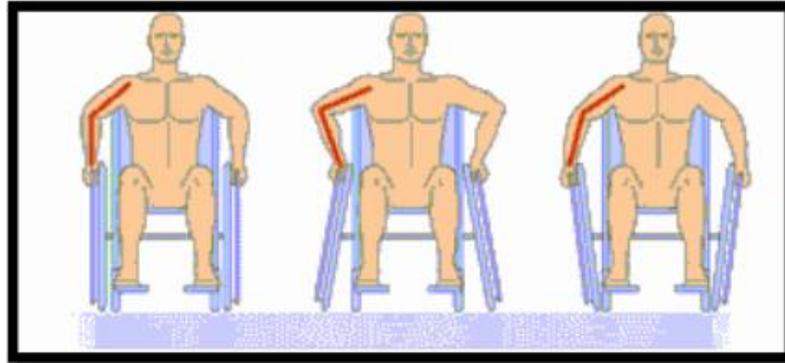


Figura 2-2: Ángulo de las ruedas

Fuente: (Tambaco 2017)

2.5.5. Consideraciones para una silla de ruedas funcional

Para que una silla de ruedas se considere útil o funcional debe dar al usuario comodidad en todo aspecto, así como sentirse confortable en el asiento permitiendo lo siguiente:

- Permanecer sentado de forma erguida en posición simétrica
- Con el mínimo esfuerzo del usuario conseguir la máxima funcionalidad
- Conseguir la mínima presión en glúteos y muslos

2.5.5.1. Medidas adecuadas del asiento

Es necesario realizar el asiento de una manera en la que el usuario tenga el mayor confort posible para lo cual se debe tener en cuenta que el asiento tenga la mayor superficie posible para que el peso del usuario se distribuya de manera adecuada para darle la mayor comodidad posible. Por una parte, si el asiento es demasiado estrecho se pueden producir escaras en la piel por exceso de presión puntual, por otro lado, si el asiento es muy estrecho la persona tendrá problemas al intentar sentarse simétricamente.

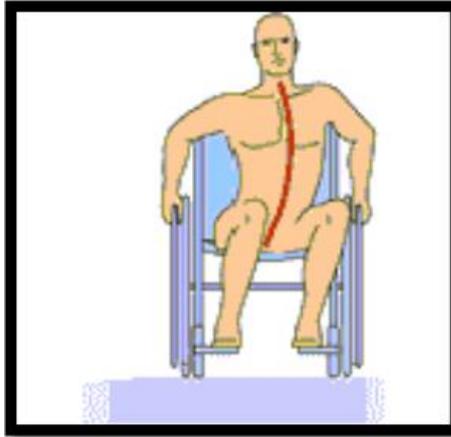


Figura 3-2: Postura en el asiento

Fuente: (Tambaco 2017)

si la longitud es muy corta los muslos del usuario no se apoyan correctamente sobre el asiento lo que ocasiona una mayor presión sobre los glúteos.

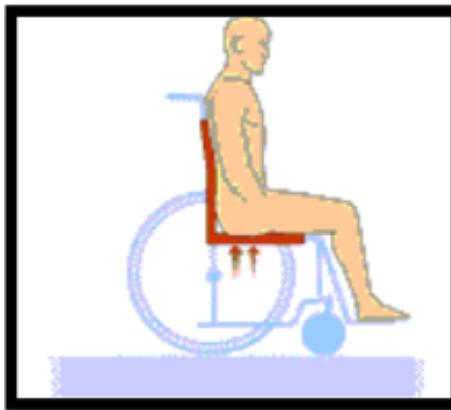


Figura 4-2: Longitud corta del asiento

Fuente: (Tambaco 2017)

Si es muy larga, tiende a producir tensión en la parte posterior de la rodilla, también se dificulta en la correcta postura ocasionando que no tenga el soporte adecuado en el respaldo de la silla, ya que tiende a deslizarse sobre el asiento para evitar la tensión en la parte afectada.

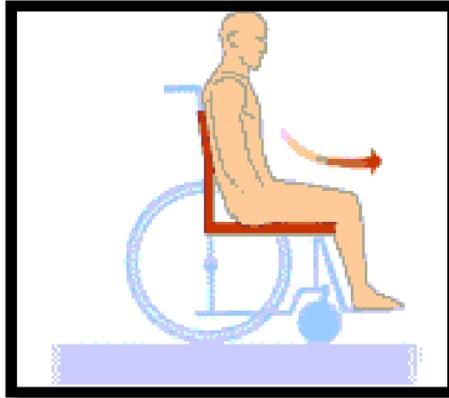


Figura 5-2: Longitud excedida del asiento

Fuente: (Tambaco 2017)

La longitud adecuada del asiento es aquella que estando el usuario de forma erguida deje una distancia recomendada de 3 cm. de espacio entre el extremo del asiento y la parte interna de las rodillas de la persona.

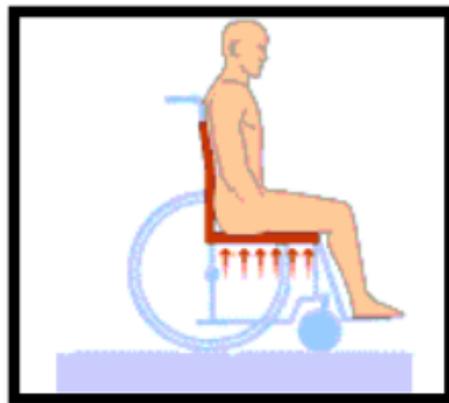


Figura 6-2. Longitud óptima del asiento

Fuente: (Tambaco 2017)

2.5.5.2. *Ángulo y forma del asiento*

Debe estar a un nivel adecuado y ser estable. Si las rodillas y muslos se deslizan por la asimetría de la persona, por una discontinuidad en la tapicería de un asiento hundido. Que produce rozamiento y demasiada presión. Para determinar la estabilidad de la pelvis es necesario la posición que adquieren los muslos y el tronco, esto se logra manteniendo una buena postura. (Aguilar 2020)

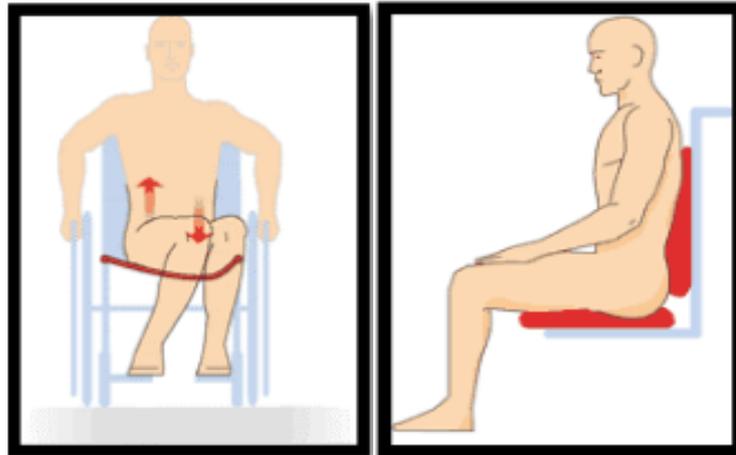


Figura 7-2: Asiento asimétrico y ángulo del asiento

Fuente: (Tambaco 2017)

2.5.5.3. Ángulo de inclinación del asiento

El asiento debe tener una ligera inclinación para que así la fuerza de gravedad recaiga sobre el pecho, posibilitando que la parte superior del cuerpo se encuentre estabilizada y así lograr también que la zona lumbar del usuario repose de manera adecuada.

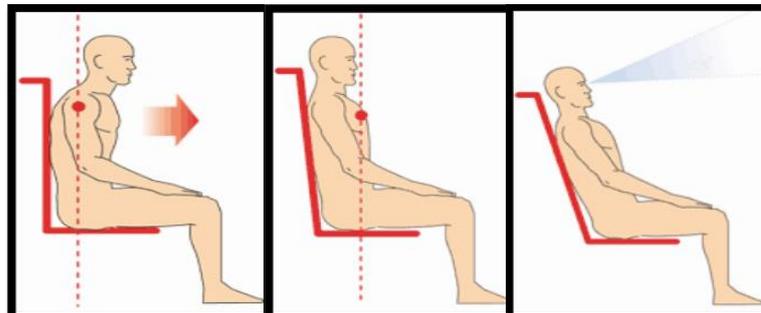


Figura 8-2: _ Diferentes inclinaciones del respaldo.

Fuente: (Aguilar 2020)

En la figura del lado izquierdo podemos observar que un respaldo totalmente vertical causa que la fuerza de gravedad recaiga sobre los hombros de la persona lo que causa que este se incline hacia adelante para compensarla (Tambaco 2017).

Un respaldo muy inclinado hacia atrás resulta ineficiente e incómodo pues el campo visual se ve reducido para el usuario.

Investigaciones consideran que la posición óptima es de 93° a 97° ya que es la mejor posición para reducir la carga en la columna (Aguilar 2020).

En la siguiente figura podemos apreciar el porcentaje de esfuerzo en la columna según la posición de alineamiento del cuerpo.

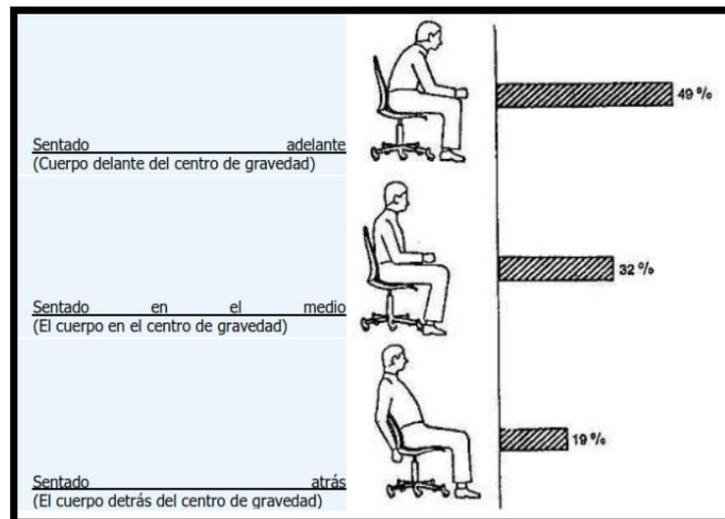


Figura 9-2: Esfuerzo en la columna según inclinación.

Fuente: (Aguilar 2020)

2.5.5.4. Soporte en los brazos

El apoyo en los brazos es importante ya que proporciona el descanso adecuado en los brazos, la correcta posición de estos se evidencia cuando los antebrazos del usuario quedan apoyados a 90° con respecto al codo.

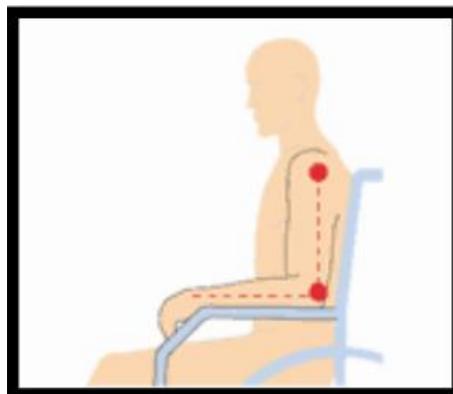


Figura 10-2: Reposabrazos

Fuente: (Aguilar 2020)

Si los apoyabrazos quedan muy altos, los hombros son forzados hacia la parte superior, ocasionando así dolores musculares en la zona lumbar. Si los apoyabrazos quedan muy bajos, la persona tiende a inclinarse hacia un lado cuando los utilice (Aguilar 2020).

2.6. Silla de ruedas bipedestadora

Este tipo de silla de ruedas permite al paciente ponerse en forma de bipedestación.

Se entiende por bipedestación a la acción en la cual una persona logra ponerse en forma vertical o erguido, en nuestro contexto ayudado por correas un respaldo y demás elementos que hacen posible la bipedestación del individuo.



Figura 11-2: Silla Bipedestadora

Fuente: (Medical 2020)

2.6.1. Beneficios de las sillas de ruedas bipedestadoras

Investigaciones afirman el uso de sillas bipedestadoras, aunque haya pasado ya mucho tiempo después de la incapacidad. Podemos encontrar los siguientes beneficios:

Sistema pulmonar, sistema digestivo, el sistema urinario, salud ósea, tonificación muscular, mantener el movimiento en articulaciones.

Todo esto apoya en su totalidad a la vitalidad y salud de la persona ya que el peso se distribuye y se evita mantener una postura fija durante todo el día.

Investigaciones demuestran que también ayuda a un mejor estilo de vida en actividades académicas, y también beneficios en torno a su diario convivir con la sociedad (Perry 2014).

2.6.2. Partes de una silla bipedestadora

Las partes que componen una silla bipedestadora son esencialmente los mismo que en una silla de ruedas, las cuales nombramos ya anteriormente, se diferencian simplemente en ciertos detalles como lo veremos a continuación.

El asiento debe ser regulable en la inclinación para asegurar que la bipedestación sea adecuada.

Por lo demás cumple con las mismas características en cuestión de elementos necesarios que una silla de ruedas convencional.

2.6.2.1. Elementos de sujeción

Para la silla bipedestadora es necesario tener arnés los cuales cumplirán la tarea de mantener al ocupante seguro y de esta manera evitar caídas o accidentes (Tambaco 2017).



Figura 12-2: Arnés tipo chaleco

Fuente: (Lopez 2018)

Este arnés ayudará a sostener los miembros superiores, también es necesario aplicar sujeciones en la parte de la pelvis y rodillas, para asegurar la estabilidad al momento de la bipedestación del usuario



Figura 13-2: Arnés en Pecho y rodillas

Fuente: (Lopez 2018)

2.6.3. Mecanismo bipedestador

Existen varios mecanismos bipedestadores los cuales han sido implementados en el mercado, los hay mecánicos, neumáticos, eléctricos, hidráulicos, con distintos accionamientos para lograr la

bipedestación, para nuestro caso nos guiaremos en diferentes tipos de mecanismos para realizar uno propio.

2.6.3.1. *biomecánica de la bipedestación*

Para el estudio y análisis del movimiento de las personas se aplican los principios de la mecánica y biomecánica al cuerpo humano, la mecánica se utiliza en el estudio de fuerzas y los efectos que causa, mientras que la biomecánica se basa en la aplicación de los principios de la mecánica, la anatomía, la antropometría, y la fisiología para estudiar al individuo tanto en movimiento como en estado de reposo. (Saavedra, García y San Antonio 2013).

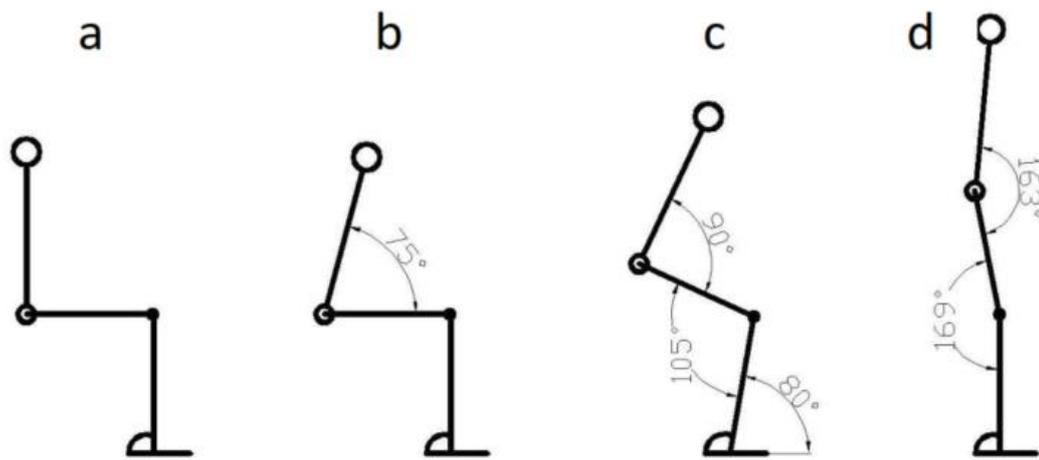


Figura 14-2: Biomecánica de la bipedestación.

Fuente: (Saavedra, García y San Antonio 2013)

2.6.4. Equipos de bipedestación

Diferentes referencias existen para sillas de ruedas bipedestadoras las cuales han servido de referencia para el equipo diseñado en esta investigación

En el año 1999 Liljedahl Gunnar, presentó un sistema de ayuda a las personas con discapacidad para ponerse en posición de bipedestación. Esta invención se compone de una grúa de elevación móvil que levanta al paciente desde su silla hasta quedar en pie con un arnés tipo onda que se coloca a la altura de las axilas (Saavedra, García y San Antonio 2013).

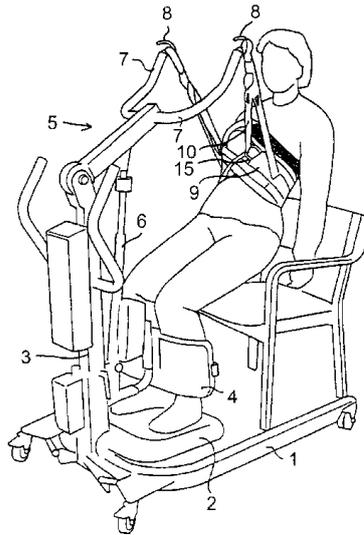


Figura 15-2: Bipedestador tipo grúa.

Fuente: (Gunnar 2002).

En 2009 Hunzikier Kurt, propone el diseño de un prototipo de silla bipedestadora para terapias de rehabilitación y reeducación física de acción hidráulica y mecanismo de paralelogramo, que permite llevar al paciente de sentado a estar de pie (HUNZIKER 2009).

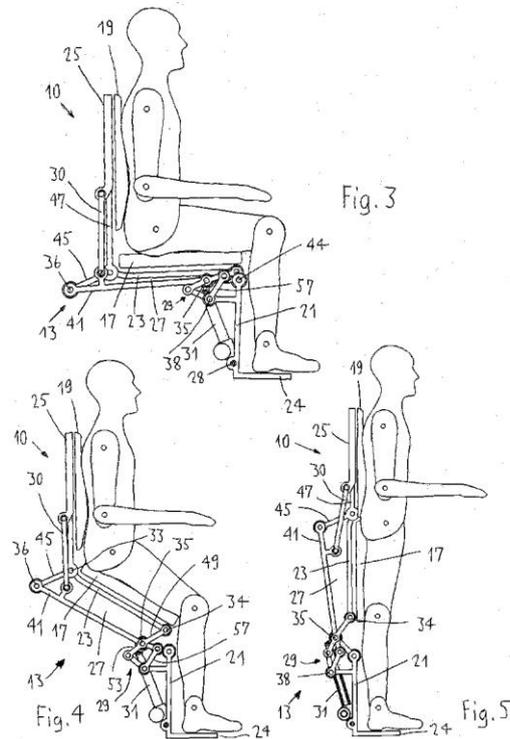


Figura 16-2: Bipedestador tipo mecanismo paralelogramo.

Fuente: (HUNZIKER 2009).

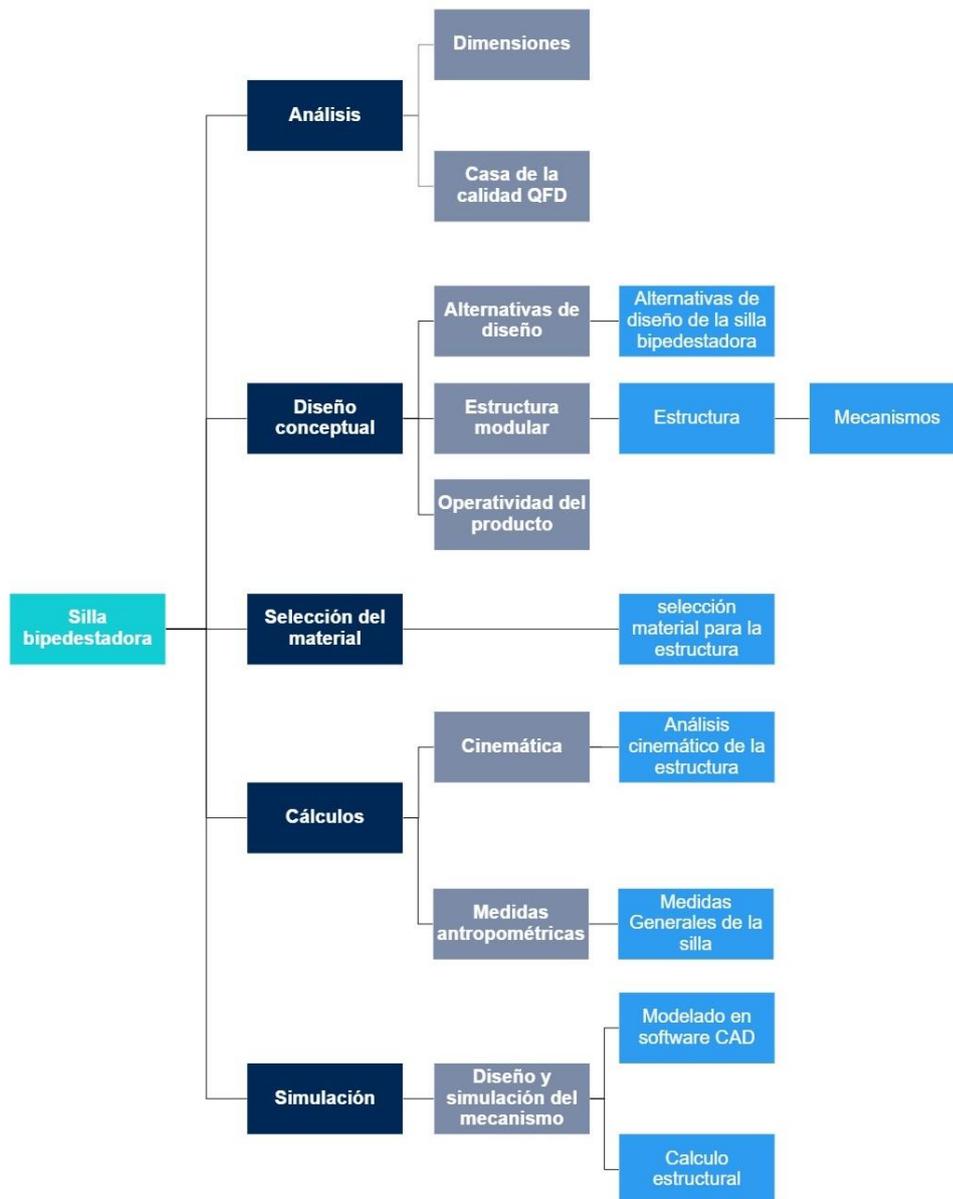
Se puede observar dos de los más importantes diseños en sillas bipedestadoras los cuales servirán de guía para nuestro tema estudio.

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Desarrollo de la solución

Para el desarrollo del diseño dispuesto en nuestra investigación lo dividiremos en ciertas etapas las cuales las mostraremos a continuación mediante un cuadro conceptual donde se evidenciará las diferentes actividades y tareas necesarias, las cuales atraviesan diferentes etapas desde el análisis hasta la validación de nuestra silla de ruedas bipedestadora.



miro

Figura 1-3: Desarrollo del proyecto

Realizado por: (Batallas, David, 2021)

3.2. Análisis

Se procede a analizar las dimensiones adecuadas de acuerdo con la norma vigente, se realizará además tablas de ponderación en la cual se podrá evidenciar las medidas adecuada de la silla para que se adapte de la mejor manera para el fin que va a ser utilizada, para esto nos basaremos en medidas antropométricas de personas adultas, también con datos del CONADIS y demás departamentos encargados en personas con discapacidades.

3.2.1. Dimensiones de la silla de ruedas

Antes de realizar el diseño mecánico en un software CAD se deberá tener en cuenta las normas técnicas las cuales rigen a las sillas de ruedas, en cuanto a su peso y medidas de una silla de ruedas común.

3.2.1.1. Medidas antropométricas

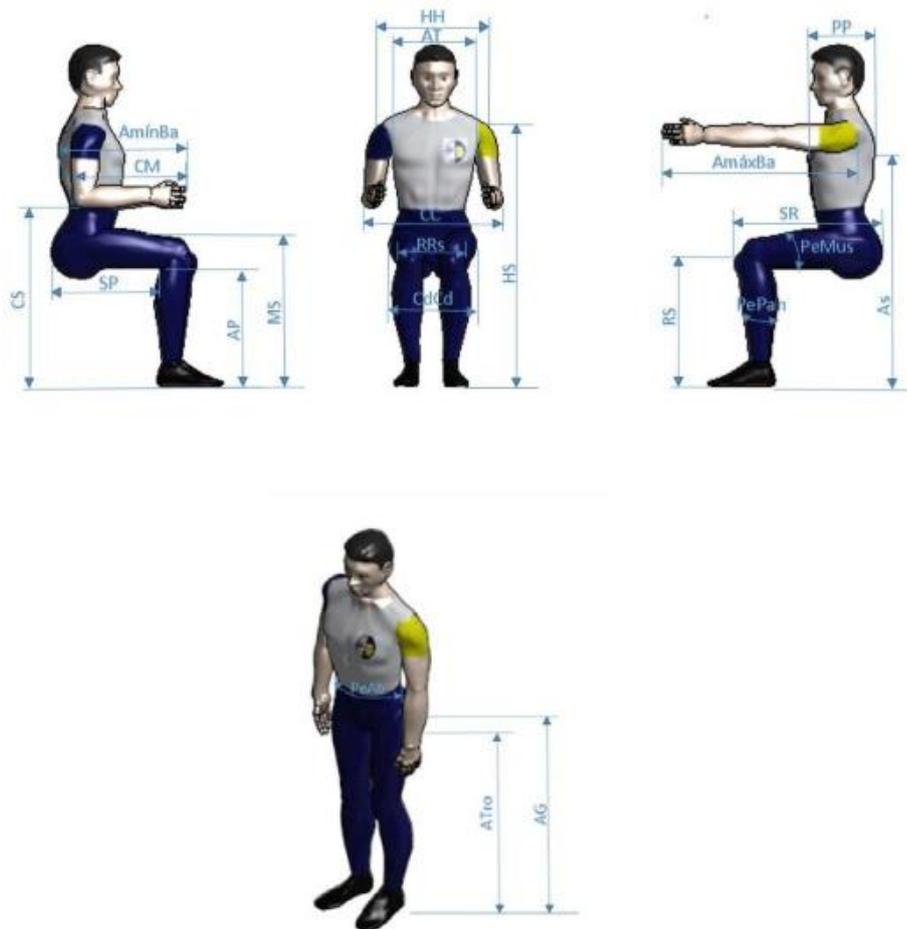


Figura 2-3: Medidas antropométricas

Fuente: (Tambaco 2017)

Código	Nombre: Jaime Molina Edad: 52 Patología: Paraplejia	Nombre: Carlos Fernández Edad: Patología: Paraplejia	Nombre: Joaquín Segundo Edad: Patología: Paraplejia	Nombre: Alejandro Flores Edad: Patología: Paraplejia	Media aritmética	Varianza	Desviación estándar	Percentil 5	Percentil 95
AP	46	43	40	48	44.3	12.3	3.5	40.5	47.7
SP	43	46	45	45	44.8	1.6	1.3	43.3	45.9
SR	51	52	51	53	51.8	0.9	1.0	51.0	52.9
MS	58	54	50	60	55.5	19.7	4.4	50.6	59.7
RS	49	47	43	51	47.5	11.7	3.4	43.6	50.7
CS	70	67	64	76	69.3	26.3	5.1	64.5	75.1
AminBa	49	56	54	54	53.3	8.9	3.0	49.8	55.7
CM	45	48	45	47	46.3	2.3	1.5	45.0	47.9
AmáxBa	70	70	71	77	72.0	11.3	3.4	70.0	76.1
HS	101	96	90	113	100.0	95.3	9.8	90.9	111.2
CdCd	35	44	37	42	39.5	17.7	4.2	35.3	43.7
RRs	35	39	36	34	36.0	4.7	2.2	34.2	38.6
AS	83	84	75	92	83.5	48.3	7.0	76.2	90.8
CC	63	61	54	57	58.8	16.3	4.0	54.5	62.7
PP	28	27	28	25	27.0	2.0	1.4	25.3	28.0
HH	49	44	43	44	45.0	7.3	2.7	43.2	48.3
AT	35	41	38	35	37.3	8.3	2.9	35.0	40.6
PeMus	47	45	33	35	40.0	49.3	7.0	33.3	46.7
PePan	35	33	32	31	32.8	2.9	1.7	31.2	34.7
Atro	80	83	76	92	82.8	46.3	6.8	76.6	90.7
AG	94	96	86	99	93.8	30.9	5.6	87.2	98.6
PeAb	107	116	100	113	109.0	50.0	7.1	101.1	115.6
Altura	167	171	166	175	169.8	16.9	4.1	166.2	174.4

Gráfico 1-3: Medidas antropométricas

Fuente: (Tambaco 2017)

El gráfico 1-3 nos muestra las medidas antropométricas tomadas a diferentes personas adultas en Ecuador esto nos ayudará a determinar las medidas adecuadas para nuestra silla de ruedas.

3.2.1.2. Ancho del asiento

Esta medida hace referencia al ancho de la cadera (CdCd), se toma el valor mayor que es el percentil 95, así se garantiza que el asiento sea cómodo para la mayoría de la población, teniendo este valor como referencia es necesario dejar una holgura de 2.5 cm a cada lado. (Tambaco 2017)

Ancho del asiento: CdCd + Holgura = 43.7 cm + 5 cm = 48.7 cm

3.2.1.3. *Altura del asiento*

Observando en el gráfico 1-3 la altura del asiento corresponde a (AP) que se refiere a la altura poplíteo, esta altura la podemos evidenciar de mejor manera en la figura 2-3.

Para la altura del asiento consideramos el percentil 5, de esta manera aseguramos que personas de menor tamaño puedan sentarse apoyándose en el reposapiés sin problema, se debe considerar además la altura del material que va a llevar el asiento, 10 cm. (Tambaco 2017)

$$\text{Altura del asiento} = AP + 10 \text{ cm} = 40.5 \text{ cm} + 10 \text{ cm} = 50.5 \text{ cm}$$

3.2.1.4. *Profundidad del asiento*

Para poder definir la profundidad del asiento, en el gráfico 1-3 la profundidad del asiento corresponde a (Sp), esta distancia se puede evidenciar de mejor manera en la figura 2-3.

Para la profundidad del asiento consideramos en percentil 95, con esto aseguramos que las personas con mayor altura reposen adecuadamente en el asiento. Se considera además que debe existir una holgura de 3 cm entre el borde del asiento y la parte interna de la rodilla o punto poplíteo.

$$\text{Profundidad del asiento} = SP - 3 \text{ cm} = 45.9 \text{ cm} - 3 \text{ cm} = 42.9 \text{ cm}$$

Este valor podemos aproximararlo a 43 cm por motivos de construcción y disponibilidad en el mercado.

3.2.1.5. *Altura del reposabrazos*

Observando en el gráfico 1-3 la altura del reposabrazos corresponde a (CS), esta altura la podemos evidenciar de mejor manera en la figura 2-3.

Para la altura del asiento consideramos el percentil 5, de esta manera aseguramos que personas de menor tamaño puedan reposar sus extremidades superiores, se debe considerar además una holgura de 2cm. (Tambaco 2017)

$$\text{Altura del reposabrazos} = CS + 2 \text{ cm} = 64,5 \text{ cm} + 2 \text{ cm} = 66,5 \text{ cm}$$

3.2.1.6. *Altura del respaldar*

Observando en el gráfico 1-3 la altura del respaldar corresponde a (AS), esta altura la podemos evidenciar de mejor manera en la figura 2-3.

Para la altura del respaldar consideramos el percentil 95, de esta manera aseguramos que personas de mayor tamaño puedan reposar adecuadamente, se debe considerar además 2cm menos. (Tambaco 2017)

$$\text{Altura del respaldar} = AS - 2 \text{ cm} = 90,8 \text{ cm} - 2 \text{ cm}$$

3.2.1.7. Longitud de los reposabrazos

Observando en el gráfico 1-3 la longitud del reposabrazos corresponde a (CM), esta longitud la podemos evidenciar de mejor manera en la figura 2-3.

Para esto consideramos el percentil 95, de esta manera aseguramos que en su mayoría todas las personas puedan reposar adecuadamente los brazos. (Tambaco 2017)

$$\text{Longitud reposabrazos} = CM = 47,9 \text{ cm}$$

3.2.1.8. Ancho del espaldar

Observando en el grafico 1-3 la distancia entre hombros a (HH), esta distancia la podemos evidenciar de mejor manera en la figura 2-3.

Para esto consideramos el percentil 95, de esta manera aseguramos que personas de mayor tamaño puedan reposar adecuadamente. (Tambaco 2017)

$$\text{Ancho del espaldar} = HH = 48,3 \text{ cm}$$

3.2.1.9. Diámetro ruedas traseras

El diámetro de ruedas traseras, se la calcula en base a la distancia que va desde el piso hasta los hombros (HS), añadiendo la medida desde el piso hasta el reposapiés y restando (AmaxBa) por ultimo multiplicamos el valor obtenido por 2, estas distancias la podemos evidenciar de mejor manera en la figura 2-3.(Tambaco 2017)

$$\text{Diámetro de ruedas} = (HS + 6 \text{ cm} - AmaxBa) * 2 = (90,9 + 6 - 70) * 2 = 53,8 \text{ cm}$$

Se recomienda una medida estándar de ruedas traseras entre 50 cm a 60 cm, nuestro resultado nos sugiere un diámetro de 54 cm, pero basándonos en artículos y normas de construcción de silla de ruedas podemos adoptar el diámetro de 60 cm de ruedas traseras.

3.2.2. Casa de la calidad

La casa de la calidad posibilita una conexión entre la voz del ingeniero y la voz del usuario, se analiza las necesidades ocupacionales de la persona que hará uso de este producto.



Gráfico 2-3: Casa de la calidad

Realizado por: (Batallas, David, 2020)

Como resultados obtenidos de la casa de la calidad, podemos identificar los parámetros de mayor enfoque en los cuales nos tenemos centrar para el diseño de la silla bipedestadora, los cuales son los siguientes:

3.2.2.1. Dimensiones

Las cuáles serán establecidas de acuerdo con la norma vigente la misma que especifica las condiciones adecuadas para transporte de personas con discapacidad.

3.2.2.2. Estructura

Se realizará un diseño adecuado para que la estructura se acomode de la mejor manera al usuario y no traiga ninguna complicación por su geometría.

3.2.2.3. Materiales

Estos serán seleccionados con visión en su precio y durabilidad, con el objetivo de dar una mayor vida útil a la máquina, en el mercado nacional podemos encontrar acero estructural la cual es la primera opción para nuestro diseño.

3.2.2.4. Mecanismo

Tenemos las opciones de un mecanismo hidráulico o eléctrico, el cual debemos seleccionarlo con respecto a sus medidas y costo, basándonos en las mejores cualidades para el funcionamiento óptimo de la silla bipedestadora.

Con los detalles ya obtenidos de la casa de la calidad, podemos regirnos a detalles más específicos los cuales nos ayudarán a enfocarnos con más ímpetu en las áreas que pudimos desglosar de la casa de la calidad.

3.3. Diseño conceptual

Alternativas para selección de soluciones para la silla bipedestadora, se especifica los módulos pertinentes para el modelo, además de seleccionar la mejor alternativa.

3.3.1. Alternativas de diseño

Para la alternativa de diseño nos basaremos en diferentes aspectos los cuales los iremos correlacionando entre sí para poder escoger la mejor opción en cuanto concierne a la parte mecánica de la silla bipedestadora, a continuación, se analizan ventajas y desventajas, para poder tener la mejor alternativa.

3.3.1.1. Selección del Material

Tabla 1-3: Alternativas materiales de la silla bipedestadora

Materiales	Acero pesado	Ventajas	Gran resistencia Tenacidad Reciclable
		Desventajas	Pesado Fácil corrosión
	Acero estructural	Ventajas	Flexible Reciclable Tenacidad
		Desventajas	Vulnerable a impactos Fácil corrosión
	Aluminio	Ventajas	Reciclable Resistente Estético Ligero
		Desventajas	Costoso

Realizado por: (Batallas David, 2021)

Para la elección adecuada del material que conformará la estructura de la silla bipedestadora debemos tomar en cuenta las ventajas y desventajas de cada uno de los materiales más probables, correlacionando también sus propiedades físicas químicas, mecánicas y por supuesto el costo.

Para justificar nuestra elección también hemos ocupado el software CES EduPack, para esto establecemos ciertos límites necesarios para hacer una elección acorde a las necesidades deseadas:

- Precio

De acuerdo con las necesidades del usuario y del diseñador el precio es de vital importancia ya que debemos escoger un material con las propiedades que satisfagan el trabajo que va a realizar la silla y a su vez que sea lo más económico posible y así sea accesible para su compra.

- Elongación

En la mayoría de las aplicaciones para diseño estructural se selecciona un material que sea dúctil por las propiedades que ofrece, por lo cual se busca tener un material con un valor mayor al 5%, ya que un porcentaje elevado de alargamiento indica que es un material dúctil (Mott 2009).

Con el software CES EduPack podemos iniciar seleccionando el nivel 1 y en el universo de materiales seleccionar la opción de metales y aleaciones ya que nos vamos a limitar a este grupo de materiales.

1. Selecciona una tabla



2. Filtra por subconjunto



Figura 3-3: Universo de materiales CES EduPack

Realizado por: (Batallas, David, 2021)

En etapas de selección existe una ventana llamada límite y dentro de esto se encuentran las propiedades mecánicas, en donde colocaremos nuestra propiedad de elongación y precio.

▼ Propiedades generales			
	Mínimo	Máximo	
Densidad	<input type="text"/>	<input type="text"/>	kg/m ³
Precio	<input type="text"/>	0,8	USD/kg
▼ Propiedades mecánicas			
	Mínimo	Máximo	
Módulo de Young	<input type="text"/>	<input type="text"/>	GPa
Límite elástico	<input type="text"/>	<input type="text"/>	MPa
Resistencia a tracción	<input type="text"/>	<input type="text"/>	MPa
Elongación	<input type="text" value="5"/>	<input type="text"/>	% strain
Dureza-Vickers	<input type="text"/>	<input type="text"/>	HV
Resistencia a fatiga para 10 ⁷ ciclos	<input type="text"/>	<input type="text"/>	MPa
Tenacidad a fractura	<input type="text"/>	<input type="text"/>	MPa.m ^{0.5}

Gráfico 3-3: Propiedades mecánicas CES EduPack

Realizado por: (Batallas, David, 2021)

En la etapa 1 establecimos ya nuestros límites en cuantos, a propiedades generales y mecánicas, a continuación, se establecerá una segunda etapa la cual consiste en un gráfico en el que se coloca sobre el eje (Y) las propiedades mecánicas, en este caso la elongación, mientras que en el

eje (X) hemos colocado el precio, de esta manera limitamos la selección del material, eliminando los materiales que no cumplan con los parámetros establecidos.

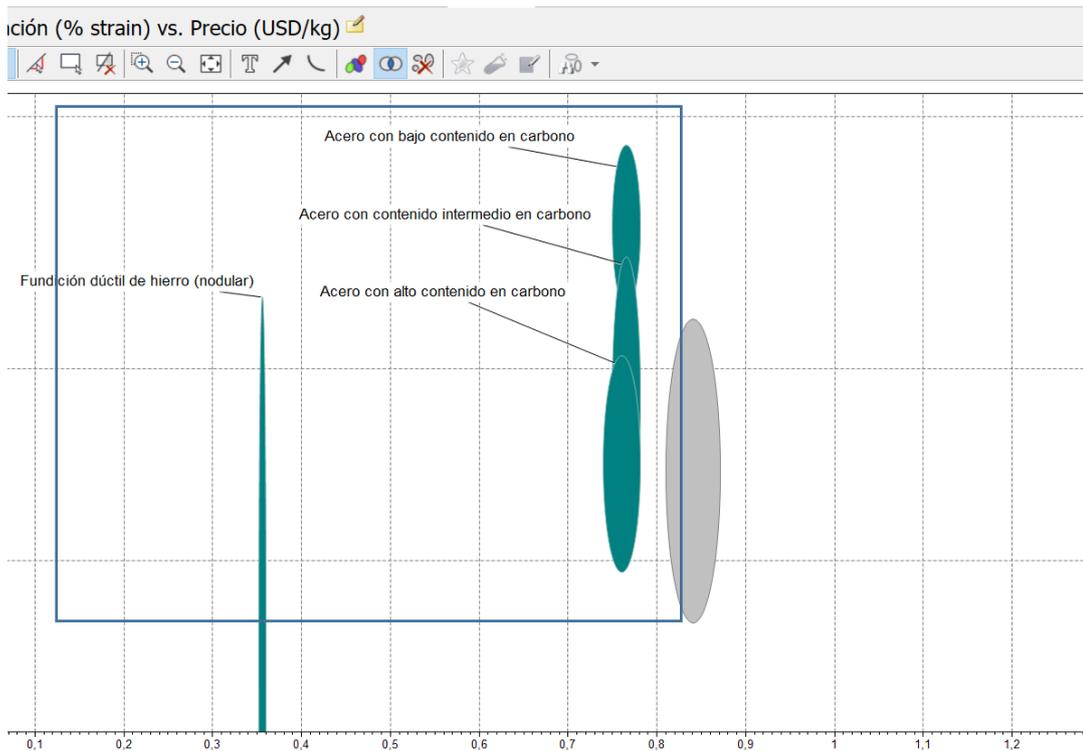


Gráfico 4-3: Resultado de la selección

Realizado por: (Batallas, David, 2021)

De acuerdo con la figura 3-3, podemos observar la delimitación, observando de esta manera los materiales con porcentaje de elongación mayor al 5% y con un costo inferior a los 0,8 dólares. Para nuestro caso necesitamos que el material sea lo más dúctil posible, por lo que el acero con bajo contenido en carbono es ideal por sus usos en la industria de la construcción, estructuras e ingeniería mecánica en general.

El acero ASTM A36 pertenece al grupo de aceros con bajo contenido en carbono, por lo cual será el material en específico que usaremos, su fácil corrosión es una desventaja clara, esto lo podemos solucionar con recubrimientos de pintura para mejorar su resistencia a las condiciones ambientales a las cuales se la va a exponer, con esto solucionado tenemos muchas ventajas en cuanto a costo y resistencia lo cual es fundamental para que este proyecto sea viable.

A continuación, se muestra las propiedades del acero ASTM A36, también llamado acero estructural.

Tabla 2-3: Propiedades mecánicas del acero estructural

Material	ASTM A36
Densidad (Kg.m ³)	7860
Módulo de Young (MPa)	200000
Poisson (MPa)	0,26
Resistencia a la tracción (MPa)	400
Límite de fluencia (MPa)	220

Realizado por: (Batallas David, 2021)

3.4. Cálculos

3.4.1. Análisis cinemático mecanismo bipedestador

Para la bipedestación de la silla, se propone un mecanismo de cuatro barras accionado por un actuador eléctrico lineal de grado médico, el cual permitirá el cambio de posición de sentado a erguido con una gran precisión, a continuación, se analiza sus traslaciones, que intervendrá en el sistema al momento de realizar la bipedestación.

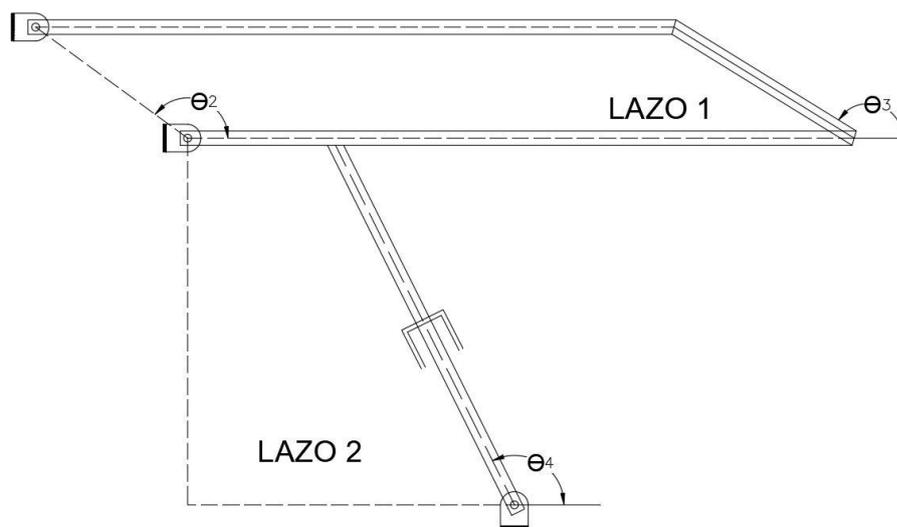


Figura 4-3: Cambio de posición sentado a bípedo

Realizado por: (Batallas David, 2021)

3.4.1.2. Biomecánica de la bipedestación

Para poder realizar una terapia de rehabilitación y reeducación física es necesario realizar el movimiento de bipedestación por lo cual es necesario considerar como se realiza el mismo, a continuación, se muestra el movimiento común para bipedestación.

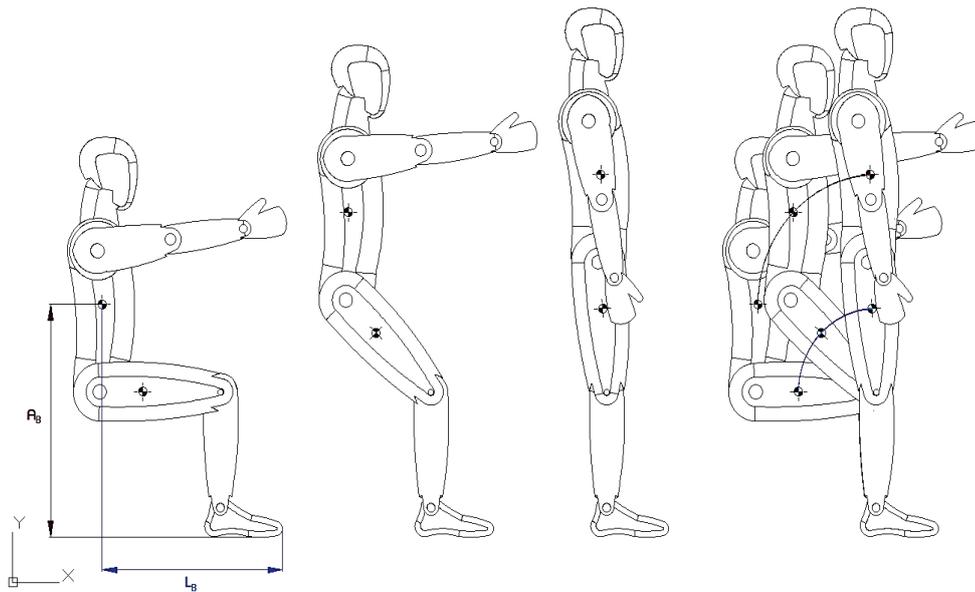


Figura 5-3: Cambio de posición sentado a bípido

Fuente: (Herrera Mario, 2020)

Se debe analizar las trayectorias generadas de los diferentes puntos como son: cadera, rodillas, zona abdominal, como podemos apreciar a la figura 4-3 a la derecha la trayectoria que sigue la persona para realizar la bipedestación es un recorrido curvilíneo el cual se evidencia tanto en el abdomen como en la región de la cadera hasta las rodillas.

– **Condición de Grashof**

La condición de Grashof es una relación que pronostica el comportamiento de rotación y sus inversiones de un eslabonamiento de cuatro barras basándose en las longitudes de este. (Norton 2009)

$$S + L \leq P + Q$$

Si no se satisface esta condición, ningún eslabón realizará un giro completo con respecto al otro. A continuación, se referencia la letra que corresponde a cada eslabón:

S = longitud del eslabón más corto

L = longitud del eslabón más largo

P = longitud de un eslabón restante

Q = longitud de otro eslabón restante

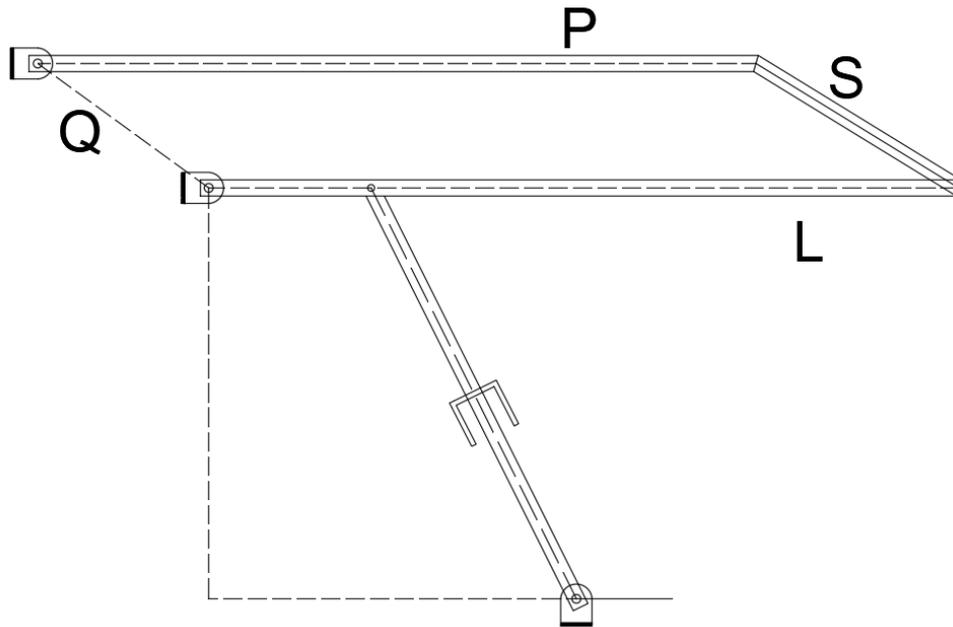


Figura 6-3: Esquema para verificar condición de Grashof

Realizado por: (Batallas David, 2021)

Tabla 3-3 Dimensiones mecanismo 4 barras

MECANISMO 4 BARRAS	
S	130
L	440
P	440
Q	130

Realizado por: (Batallas David, 2021)

$$130 \text{ mm} + 440 \text{ mm} \leq 440 \text{ mm} + 130 \text{ mm}$$

$$570 \text{ mm} = 570 \text{ mm}$$

Tenemos la siguiente condición:

$$S + L = P + Q$$

Conocida como el caso especial de Grashof, todas las inversiones serán dobles-manivelas, pero tendrán puntos de cambio, lo cual hace referencia al movimiento que realizará guiado del actuador lineal. (Norton 2009)

3.4.1.3. Análisis de posición del mecanismo

Referente a las medidas antropométricas que se obtuvo, tenemos la configuración del mecanismo bipedestador.

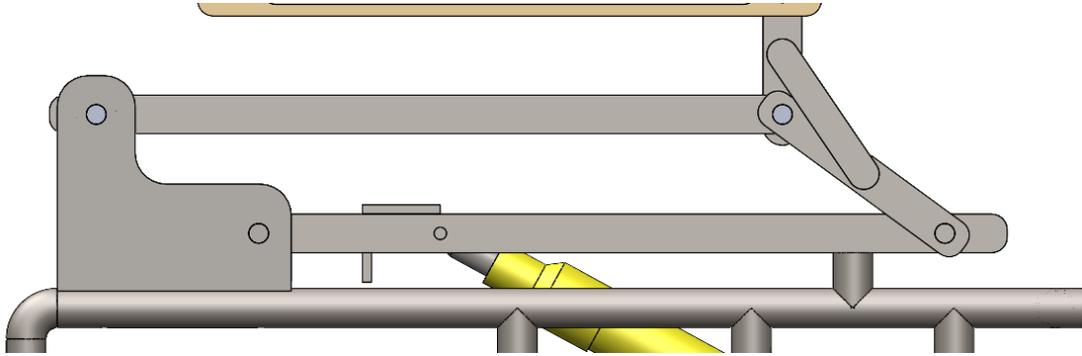


Figura 7-3: Mecanismo 4 barras de silla bipedestadora

Realizado por: (Batallas David, 2021)

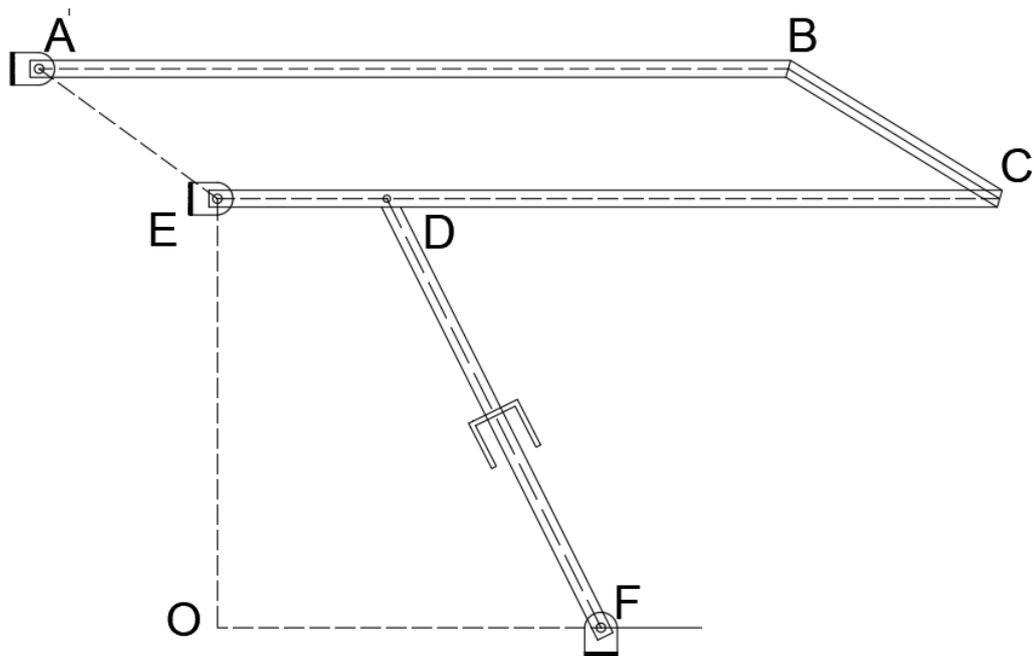


Figura 8-3: Esquema simplificado del mecanismo bipedestador

Realizado por: (Batallas David, 2021)

Tabla 4-3: Dimensiones mecanismo bipedestador

Eslabón	Longitud (mm)
AB	440
BC	130
CD	340
DE	100
EA	130
EO	254
OF	226

Realizado por: (Batallas David, 2021)

Se realizará un análisis vectorial del mecanismo así:

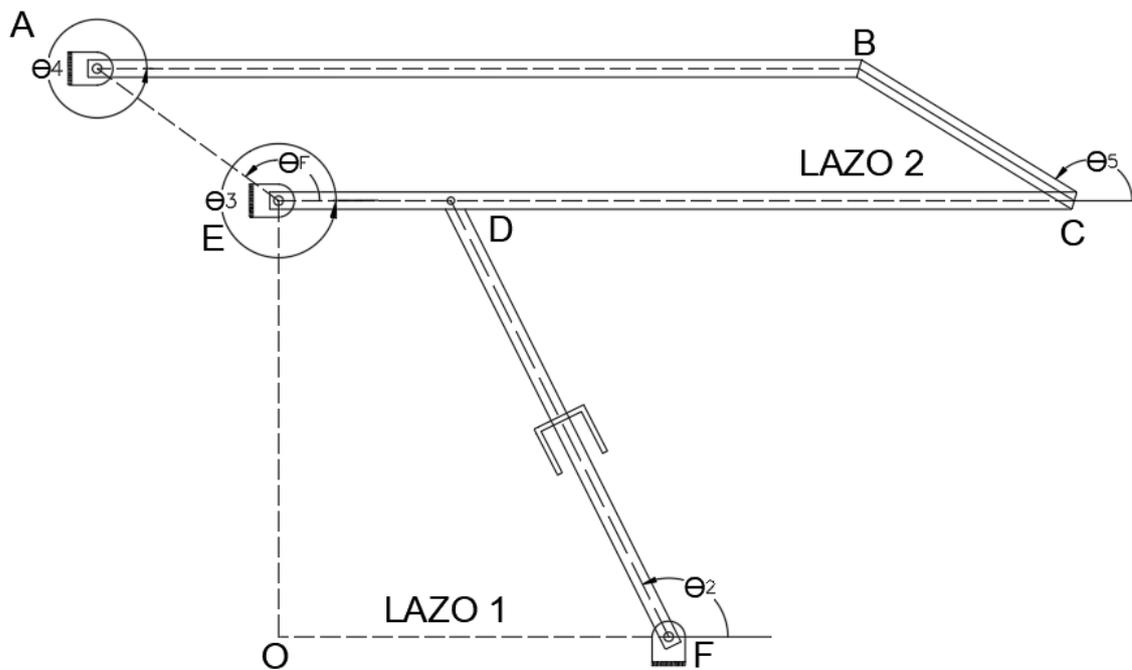


Figura 9-3: Análisis vectorial de posición del mecanismo bipedestador lazo 1

Realizado por: (Batallas David, 2021)

LAZO 1

$$\vec{OF} + \vec{FD} = \vec{OE} + \vec{ED}$$

Sustituyendo la ecuación de cierre por su notación compleja:

$$\vec{OF}e^{i\theta_0} + \vec{FD}e^{i\theta_2} = \vec{OE}e^{i\theta_{90}} + \vec{ED}e^{i\theta_3}$$

La ecuación vectorial en notación compleja de Euler la expresaremos en función de los componentes real e imaginario así:

$$OF \cos 0 + FD \cos \theta_2 - OE \cos 90 - ED \cos \theta_3 = 0$$

$$OF \sin 0 + FD \sin \theta_2 - OE \sin 90 - ED \sin \theta_3 = 0$$

Con estas dos ecuaciones, podemos identificar los parámetros que están determinados por longitudes constantes o aquellos que dependen del recorrido del cilindro actuador, definimos así las siguientes variables:

$$\theta_2, \theta_3, s$$

Siendo $FD = S$, esta variable se refiere al recorrido del actuador lineal.

Posición ED

El parámetro de control principal está basado en el ángulo θ_3

$$ED_x = ED \cos \theta_3$$

$$DE_y = 254 + ED \sin \theta_3$$

Posición EC

El parámetro de control principal está basado en el ángulo θ_2

$$EC = EC \cos \theta_3$$

$$EC = 254 + EC \sin \theta_3$$

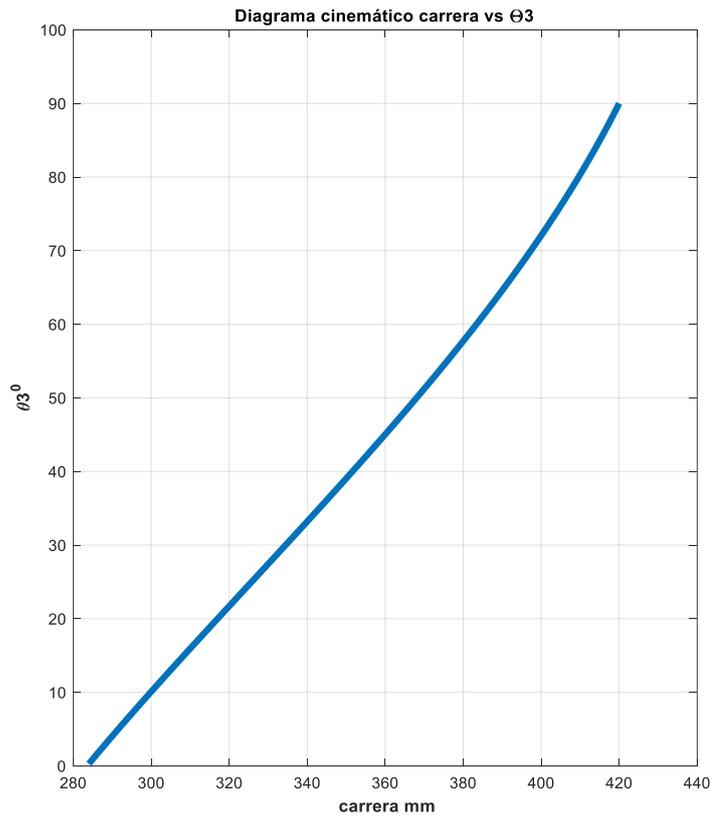


Gráfico 5-3. Diagrama cinemático de la posición angular en Matlab

Realizado por: (Batallas David, 2021)

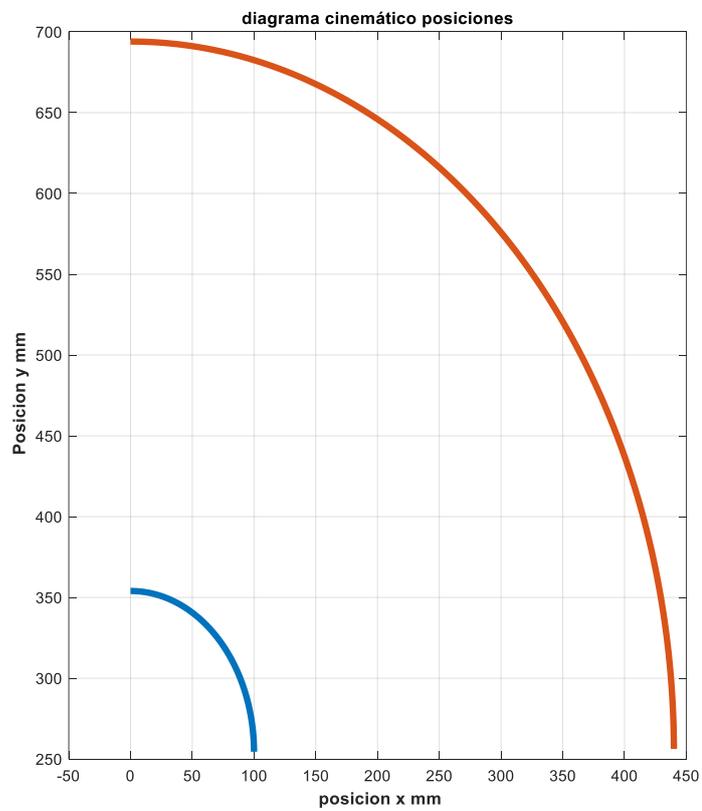


Gráfico 6-3. Diagrama cinemático de la traslación en Matlab

Realizado por: (Batallas David, 2021)

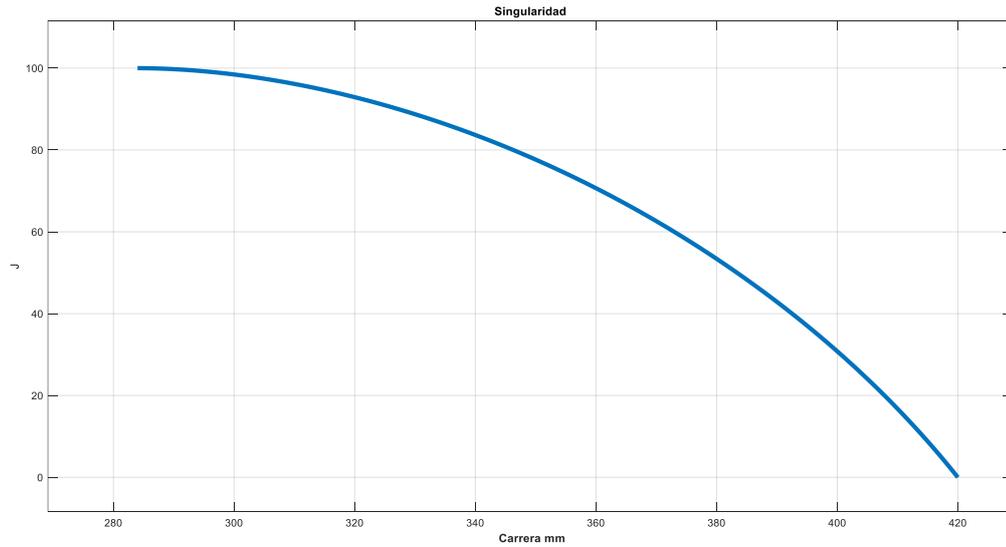


Gráfico 7-3. Singularidad en Matlab

Realizado por: (Batallas David, 2021)

3.4.1.4 Análisis de velocidad del mecanismo bipedestador

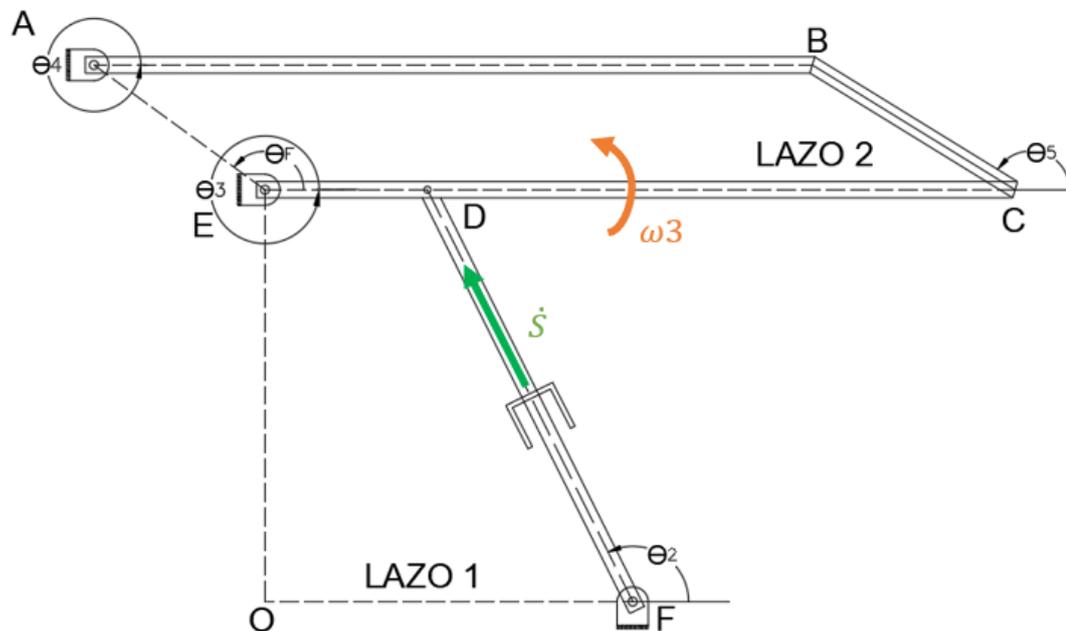


Figura 10-3: Análisis de velocidad del mecanismo bipedestador lazo 1

Realizado por: (Batallas David, 2021)

$$OF + FD = OE + ED$$

Sustituyendo la ecuación de cierre por su notación compleja:

$$OF e^{i\theta_0} + FDe^{i\theta_2} = OE e^{i\theta_90} + ED e^{i\theta_3}$$

La ecuación vectorial en notación compleja de Euler la expresaremos en función de los componentes real e imaginario así:

$$OF\cos 0 + FD\cos\theta_2 - OE\cos 90 - ED\cos\theta_3 = 0$$

$$OF\sin 0 + FD\sin\theta_2 - OE\sin 90 - ED\sin\theta_3 = 0$$

Reemplazamos la carrera del actuador, $FD = S$.

Sistemas de ecuaciones de la posición:

$$F1 = OF \cos 0 + S \cos \theta_2 - OE \cos 90 - ED \cos \theta_3$$

$$F2 = OF \sin 0 + S \sin \theta_2 - OE \sin 90 - ED \sin \theta_3$$

Derivando las funciones:

$$F1' = \dot{S} \cos \theta_2 - S \sin \theta_2 \dot{\theta}_2 + ED \sin \theta_3 \dot{\theta}_3$$

$$F2' = \dot{S} \sin \theta_2 + S \cos \theta_2 \dot{\theta}_2 - ED \cos \theta_3 \dot{\theta}_3$$

$$\begin{bmatrix} ED \sin \theta_3 & -s \sin \theta_2 \\ -ED \cos \theta_3 & s \cos \theta_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta}_3 \\ \dot{\theta}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\dot{s} \cos \theta_2 \\ -\dot{s} \sin \theta_2 \end{bmatrix}$$

Variables:

$$\theta_2, \theta_3, s, \dot{s}$$

Velocidad EC

El parámetro de control principal está basado en el ángulo θ_3 y la velocidad de s que es el actuador lineal de 10 mm/s.

$$vx = -EC \sin \theta_3 \dot{\theta}_3$$

$$vy = EC \cos \theta_3 \dot{\theta}_3$$

$$v = \sqrt{vx^2 + vy^2}$$

Con el software Matlab se puede observar las gráficas de las velocidades angular y lineal, limitando todas estas curvas al lazo 1 del mecanismo bipedestador.

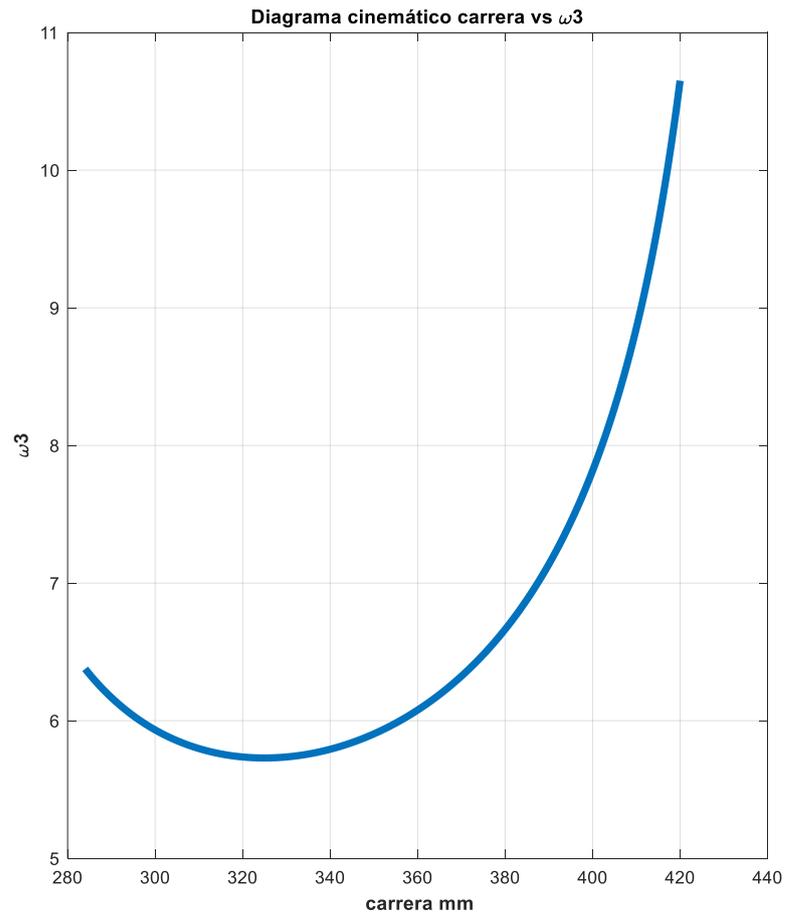


Gráfico 8-3: Velocidad angular del mecanismo en Matlab

Realizado por: (Batallas David, 2021)

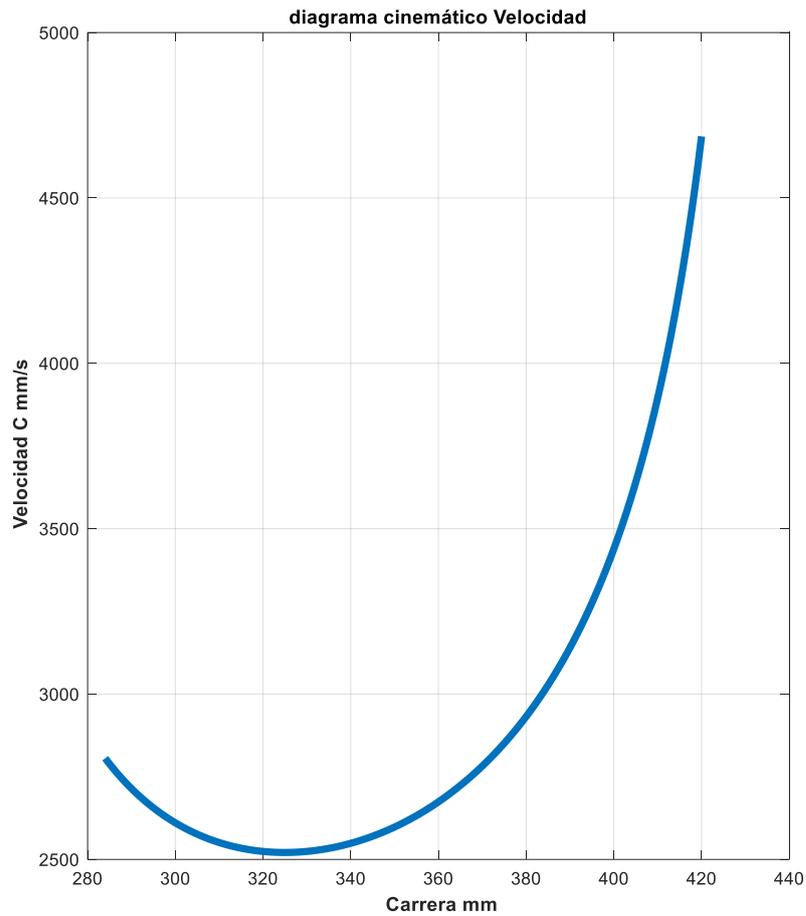


Gráfico 9-3: Velocidad lineal del mecanismo en Matlab

Realizado por: (Batallas David, 2021)

3.4.1.5. Análisis de aceleración del mecanismo bipedestador

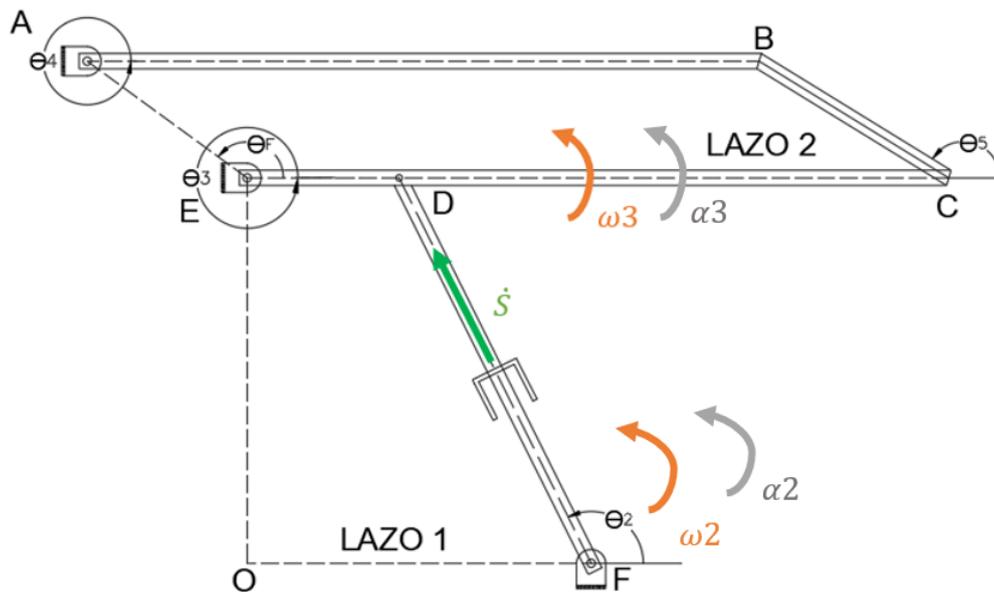


Figura 11-3: Análisis vectorial de aceleraciones del mecanismo bipedestador lazo 1

Realizado por: (Batallas David, 2021)

Para analizar las aceleraciones del mecanismo tomamos las funciones obtenidas en el análisis de velocidades realizado anteriormente.

Sistema de ecuaciones de la velocidad

$$F1' = \dot{S} \cos \theta_2 - S \sin \theta_2 \dot{\theta}_2 + ED \sin \theta_3 \dot{\theta}_3$$

$$F2' = \dot{S} \sin \theta_2 + S \cos \theta_2 \dot{\theta}_2 - ED \cos \theta_3$$

Derivando las funciones obtenemos:

$$F1'' = \ddot{S} \cos \theta_2 - \dot{S} \sin \theta_2 \dot{\theta}_2 - \dot{S} \sin \theta_2 \dot{\theta}_2 - s \cos \theta_2 \dot{\theta}_2^2 - s \sin \theta_2 \ddot{\theta}_2 + ED \cos \theta_3 \dot{\theta}_3^2 + ED \sin \theta_3 \ddot{\theta}_3$$

$$F2'' = \ddot{S} \sin \theta_2 + \dot{S} \cos \theta_2 \dot{\theta}_2 + \dot{S} \cos \theta_2 \dot{\theta}_2 - s \sin \theta_2 \dot{\theta}_2^2 + s \cos \theta_2 \ddot{\theta}_2 + ED \sin \theta_3 \dot{\theta}_3^2 - ED \cos \theta_3 \ddot{\theta}_3$$

$$F1'' = -2\dot{S} \sin \theta_2 \dot{\theta}_2 - s \cos \theta_2 \dot{\theta}_2^2 - s \sin \theta_2 \ddot{\theta}_2 + ED \cos \theta_3 \dot{\theta}_3^2 + ED \sin \theta_3 \ddot{\theta}_3$$

$$F2'' = 2\dot{S} \cos \theta_2 \dot{\theta}_2 - s \sin \theta_2 \dot{\theta}_2^2 + s \cos \theta_2 \ddot{\theta}_2 + ED \sin \theta_3 \dot{\theta}_3^2 - DE \cos \theta_3 \ddot{\theta}_3$$

$$\begin{bmatrix} ED \sin \theta_3 & -s \sin \theta_2 \\ -ED \cos \theta_3 & s \cos \theta_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{\theta}_3 \\ \ddot{\theta}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2\dot{S} \sin \theta_2 \dot{\theta}_2 + s \cos \theta_2 \dot{\theta}_2^2 - ED \cos \theta_3 \dot{\theta}_3^2 \\ -2\dot{S} \cos \theta_2 \dot{\theta}_2 + s \sin \theta_2 \dot{\theta}_2^2 - ED \sin \theta_3 \dot{\theta}_3^2 \end{bmatrix}$$

Aceleración EC

$$ax = -EC \cos \theta_3 \dot{\theta}_3^2 - EC \sin \theta_3 \ddot{\theta}_3$$

$$ay = -EC \sin \theta_3 \dot{\theta}_3^2 + EC \cos \theta_3 \ddot{\theta}_3$$

$$aEC = \sqrt{ax^2 + ay^2}$$

3.4.2. *Diseño estructural*

3.4.2.1. *Carga de trabajo para el actuador lineal*

Con base en la sumatoria de fuerzas en los centros de gravedad del tronco y los muslos cuando la persona se encuentra en posición de sedestación, con sus pesos segmentados respectivamente, los cuales son las partes del cuerpo humano expresado en porcentajes de la siguiente manera:

Tabla 5-3: Porcentajes de pesos del cuerpo humano

Fuente	Porcentaje %
Cabeza	7,3
Tronco	50,7
Brazo	2,6
Antebrazo	1,6
Mano	0,7
Extremidad superior	4,9
Antebrazo y mano	2,3
Muslo	10,3
Pierna	4,3
Pie	1,5
Extremidad inferior	16,1
Pierna y pie	5,8

Fuente: (Barbero y Ortega 2015)

De esta manera teniendo los porcentajes de cada parte del cuerpo y tomando en cuenta que para nuestro análisis utilizaremos el máximo peso admisible que es de 100 Kg.

Cargas de interés:

- F1: Peso segmentado en el centro de gravedad del tronco.
- F2: Peso segmentado en el centro de gravedad del muslo.
- F3: Fuerza de levantamiento.

Tabla 6-3: Pesos equivalentes en base al porcentaje adquirido

Parte del cuerpo	Peso total (N)	% en peso	Peso (N)
Tronco	980	50,7%	496,86
Muslo		10,3%	100,94

Realizado por: (Batallas David, 2021)

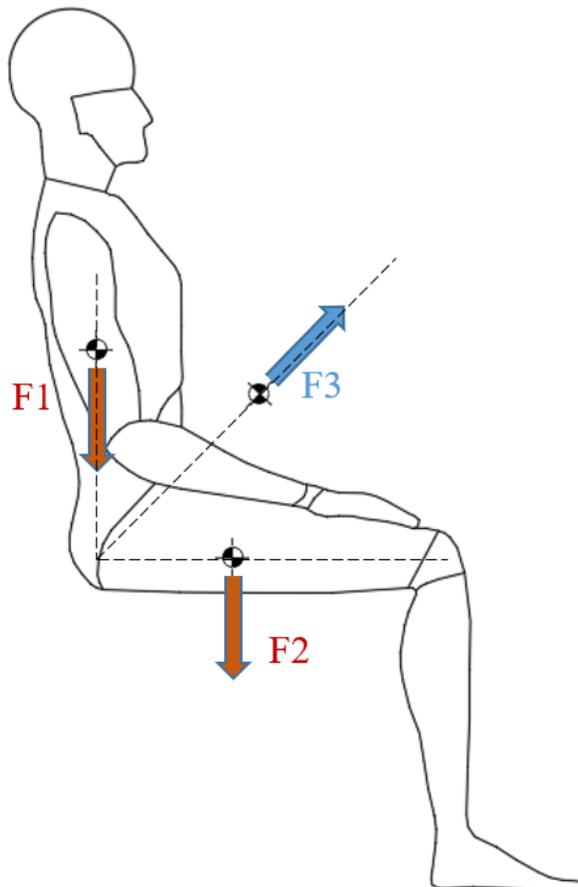


Figura 12-3: Diagrama de fuerza de levantamiento

Realizado por: (Batallas David, 2021)

Cálculo de fuerza de levantamiento

$$\sum F_y = 0$$

$$(F_3 * \sin \alpha) - F_1 - F_2 = 0$$

$$F_3 = \frac{F_1 + F_2}{\sin \alpha}$$

El ángulo para obtener la fuerza de levantamiento es de 50°.

$$F_3 = \frac{F_1 + F_2}{\sin \alpha}$$

$$F_3 = \frac{496,86 \text{ N} + 110,94 \text{ N}}{\sin 50}$$

$$F_3 = 793,42 \text{ N}$$

Obtenemos como resultado una Fuerza de levantamiento de 793,43 N, el cual es el valor que tendrá que levantar el vástago, esta es la carga mínima que el actuador debe satisfacer para el sistema.

– Recorrido del actuador lineal

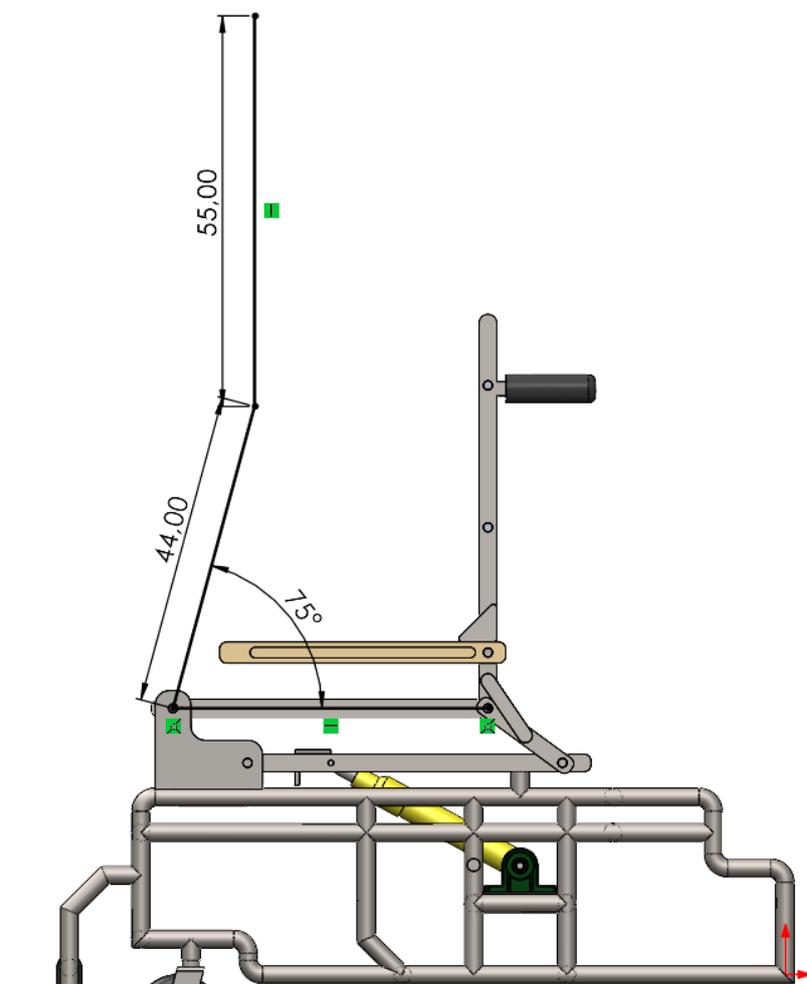


Figura 13-3: Angulo de bipedestación

Realizado por: (Batallas David, 2021)

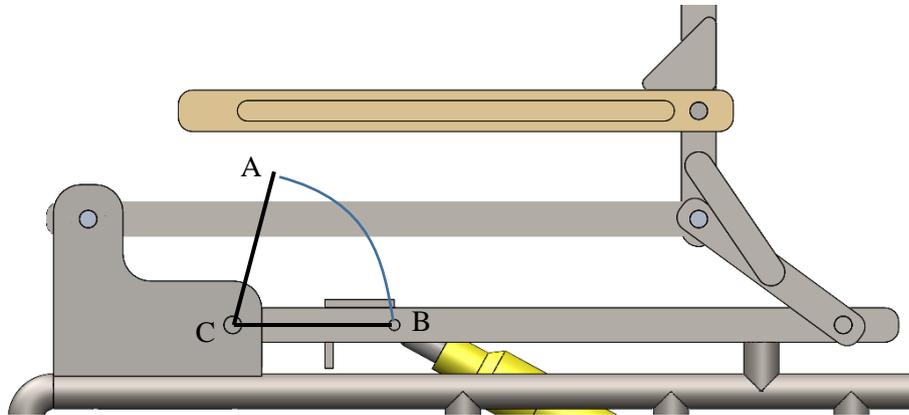


Figura 14-3: Trayectoria del actuador lineal

Realizado por: (Batallas David, 2021)

Se muestra las coordenadas de la punta del vástago del actuador que en este caso lo referenciaremos como B, este punto se encuentra en la barra paralela a la que se encuentra el actuador, los resultados serán equivalentes ya que lo importante es el ángulo de desplazamiento.

Posición del punto B con respecto a C:

$$\gamma_{BC} = [0, 0, -100]mm$$

posición del punto A con respecto a C, posición final del vástago con un ángulo de rotación de 81° , necesario para realizar la bipedestación:

$$\gamma_{AC} = [0, 99, -11.7]mm$$

posición del punto A con respecto a B:

$$\gamma_{AB} = [0, 99.3, 88.7]mm$$

Distancia de recorrido para el actuador:

$$D = \sqrt{99.3^2 + 88.7^2}$$

$$D = 122.14 \text{ mm}$$

Tabla 7-3: Alternativas actuadores de la silla bipedestadora

Actuador	Neumático	Ventajas	Pequeño. Económico Alta seguridad.
		Desventajas	Preparación de fuente de energía (aire). Poca estabilidad
	Hidráulico	Ventajas	Gran empuje Control preciso
		Desventajas	Costoso Deposito extra para fuente de energía
	Eléctrico	Ventajas	Gran empuje Buena estabilidad Control preciso
		Desventajas	Mayor complejidad Mantenimiento

Realizado por: (Batallas David, 2021)

Para el actuador necesitaremos un actuador lineal de grado médico, los cuales en su mayoría para elevar camas en los hospitales y demás son eléctricos por su excelente control y estabilidad, un actuador lineal eléctrico de grado medico nos permite tener un control sobre la velocidad y aceleración, lo cual es un punto muy importante ya que de esto depende para que el mecanismo bipedestador funcione correctamente y con la mayor seguridad posible para evitar sobre aceleraciones o movimientos involuntarios al momento de realizar la bipedestación, nuestra elección será del actuador Eco Worthy 150.



Figura 15-3: Dimensiones del actuador lineal

Fuente: (EcoWorthy 2021)

Tabla 8-3: Datos del actuador lineal

Actuador lineal Eco Worthy	
Empuje máximo	1500 N
Voltaje	12 V
Velocidad	5,7 mm/s
Longitud de carrera	150 mm
Corriente mínima	0.8 A
Corriente máxima	3 A
Protección	IP65

Realizado por: (Batallas David, 2021)

La velocidad del actuador lineal es de 5,7 mm/s, la cual es relativamente baja por lo que a los elementos se los considera como estáticos y no se realizará un análisis a fatiga, la silla

bipedestadora posee partes móviles lo cual posibilita a la misma a cambiar su configuración, por lo que en distintas posiciones los elementos soportaran distintos esfuerzos.

- Módulo de control del actuador lineal



Figura 16-3: Controlador Inalámbrico Eco-Worthy.

Fuente: (EcoWorthy 2021)

Tabla 9-3: Datos del controlador del actuador

Actuador lineal Eco Worthy	
Voltaje de entrada	8 - 35 V
Voltaje de salida	8 – 35 V
Distancia de control remoto	< 100 m

Realizado por: (Batallas David, 2021)

- Diagrama de conexión del controlador inalámbrico Eco-Worthy

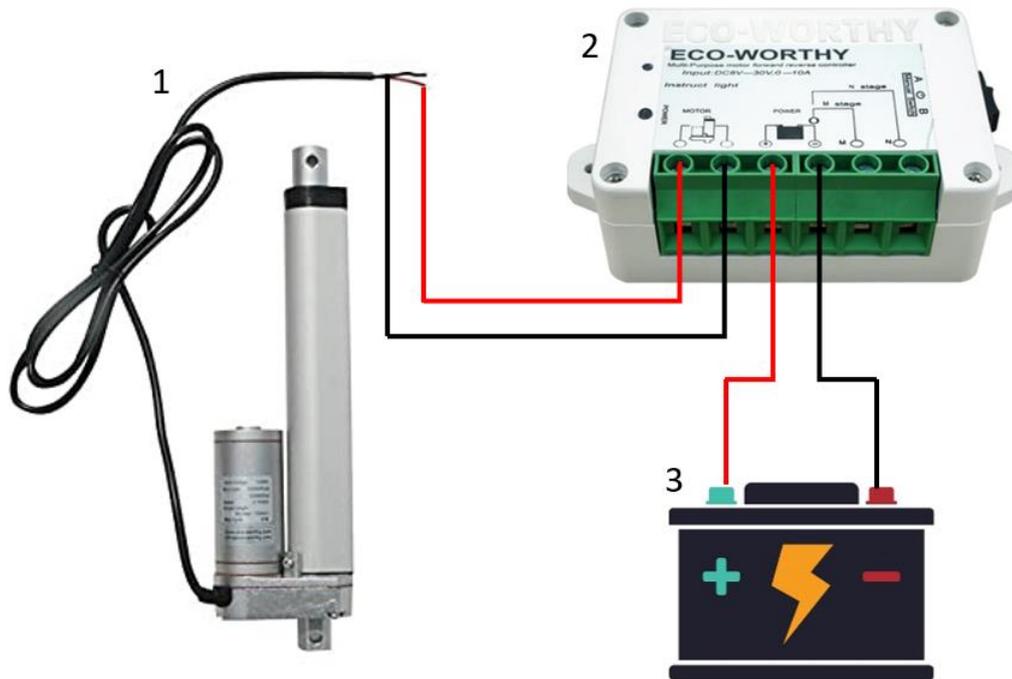


Figura 17-3: Diagrama de conexión del controlador inalámbrico Eco-Worthy

Realizado por: (Batallas David, 2021)

La figura 21-3 consta de los siguientes elementos:

1. Actuador lineal
2. Controlador Inalámbrico Eco-Worthy
3. Batería 12 V

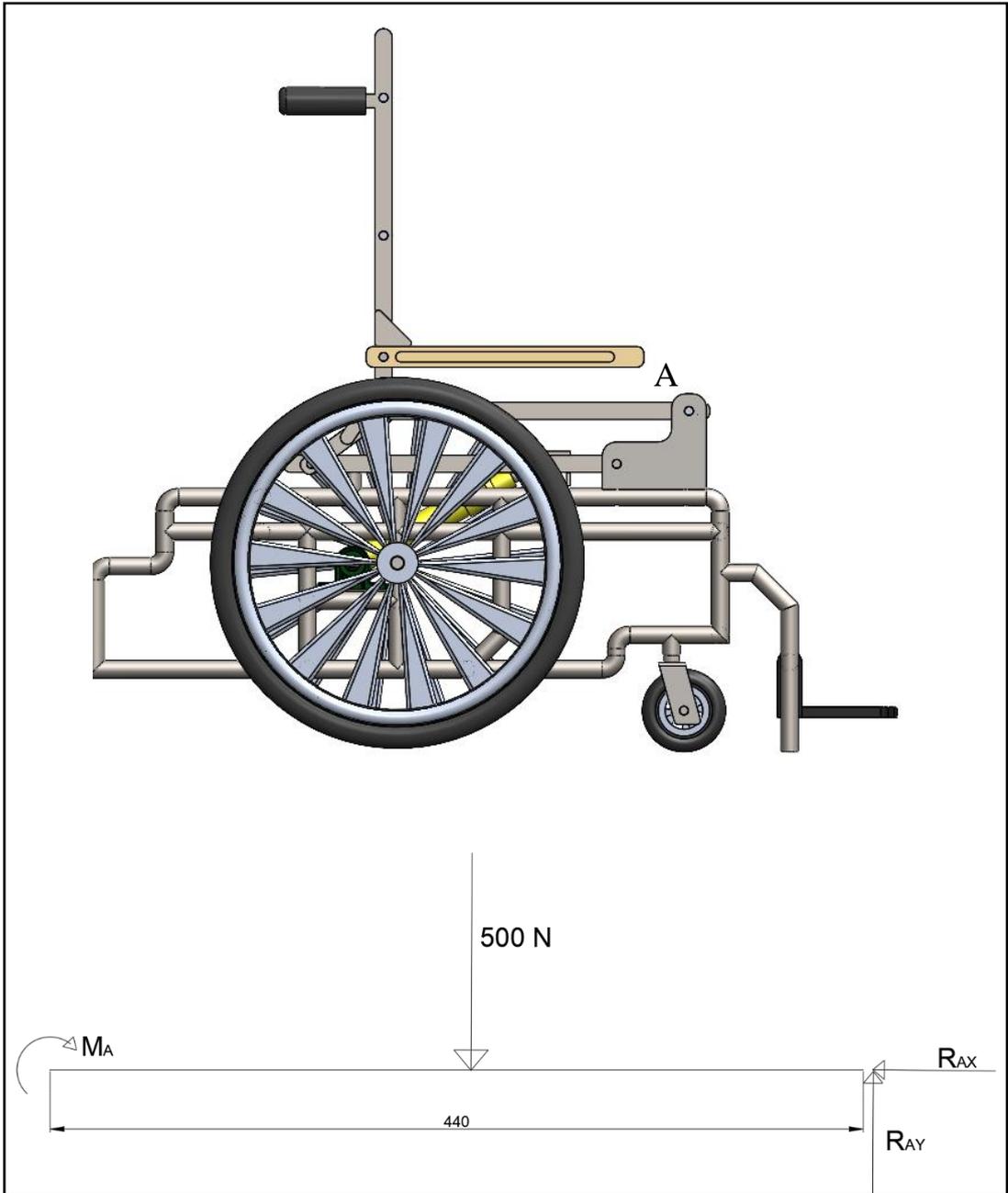


Figura 18-3: Diagrama de cuerpo libre a un ángulo de 0°

Realizado por: (Batallas David, 2021)

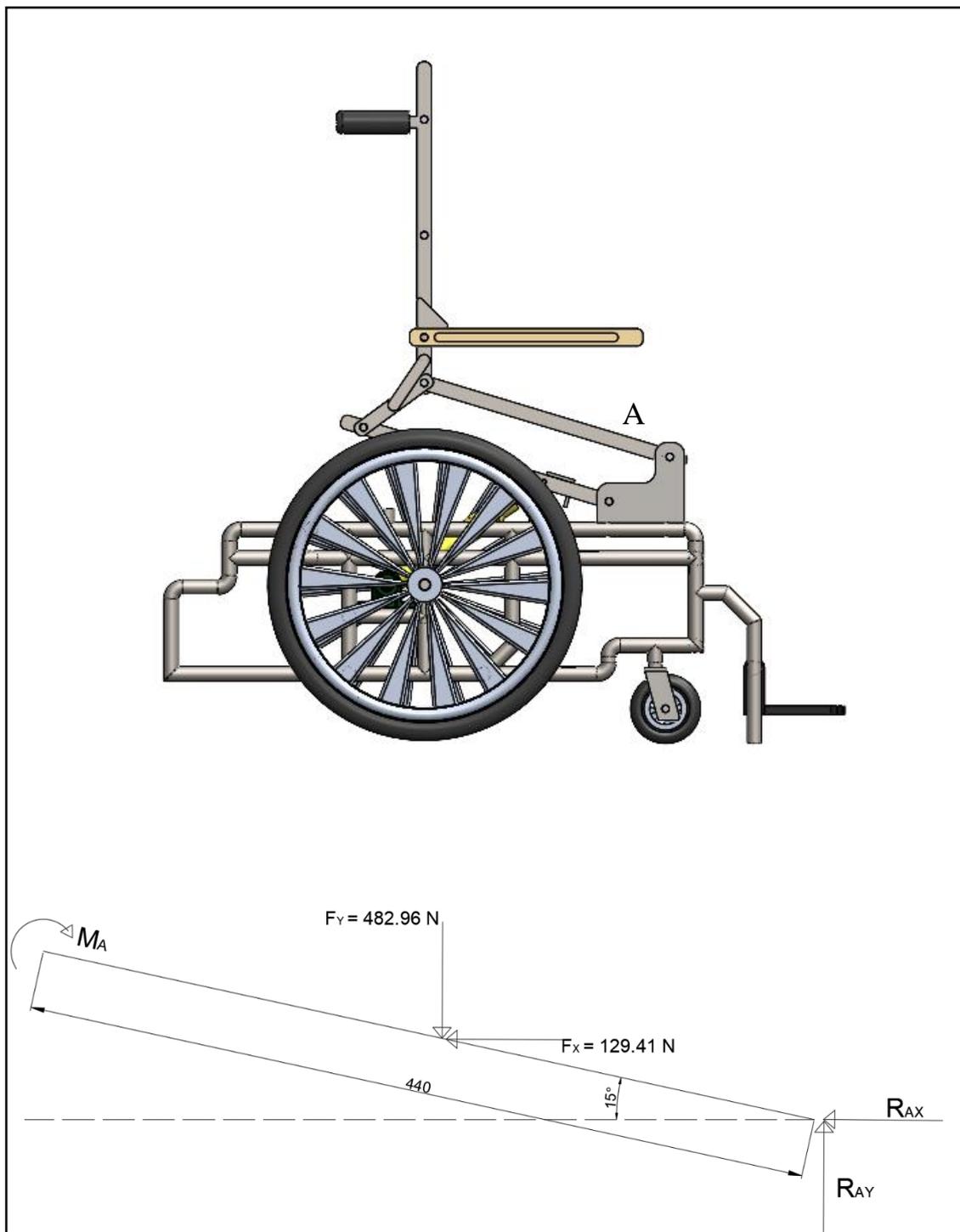


Figura 19-3: Diagrama de cuerpo libre a un ángulo de 15°

Realizado por: (Batallas David, 2021)

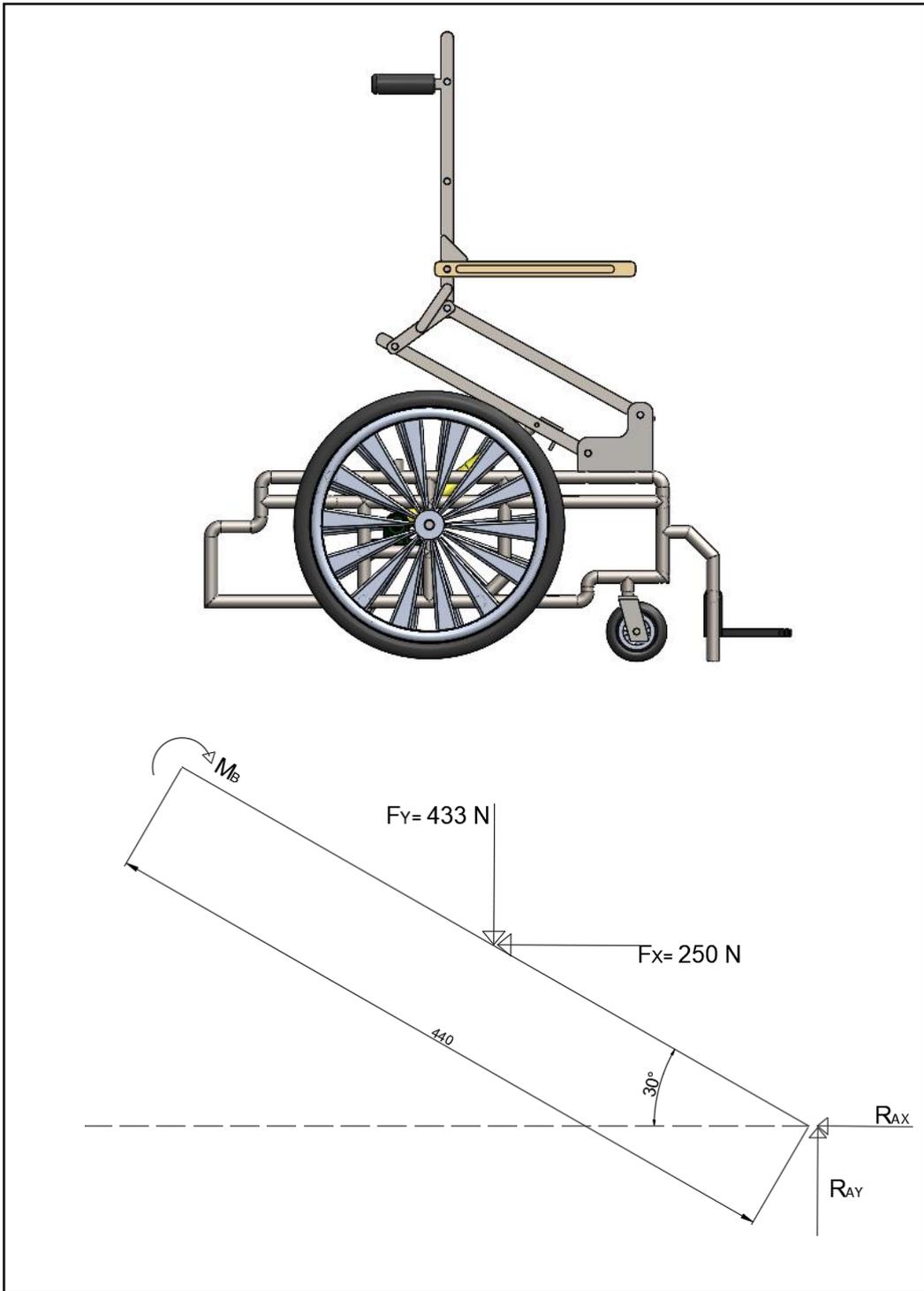


Figura 20-3: Diagrama de cuerpo libre a un ángulo de 30°

Realizado por: (Batallas David, 2021)

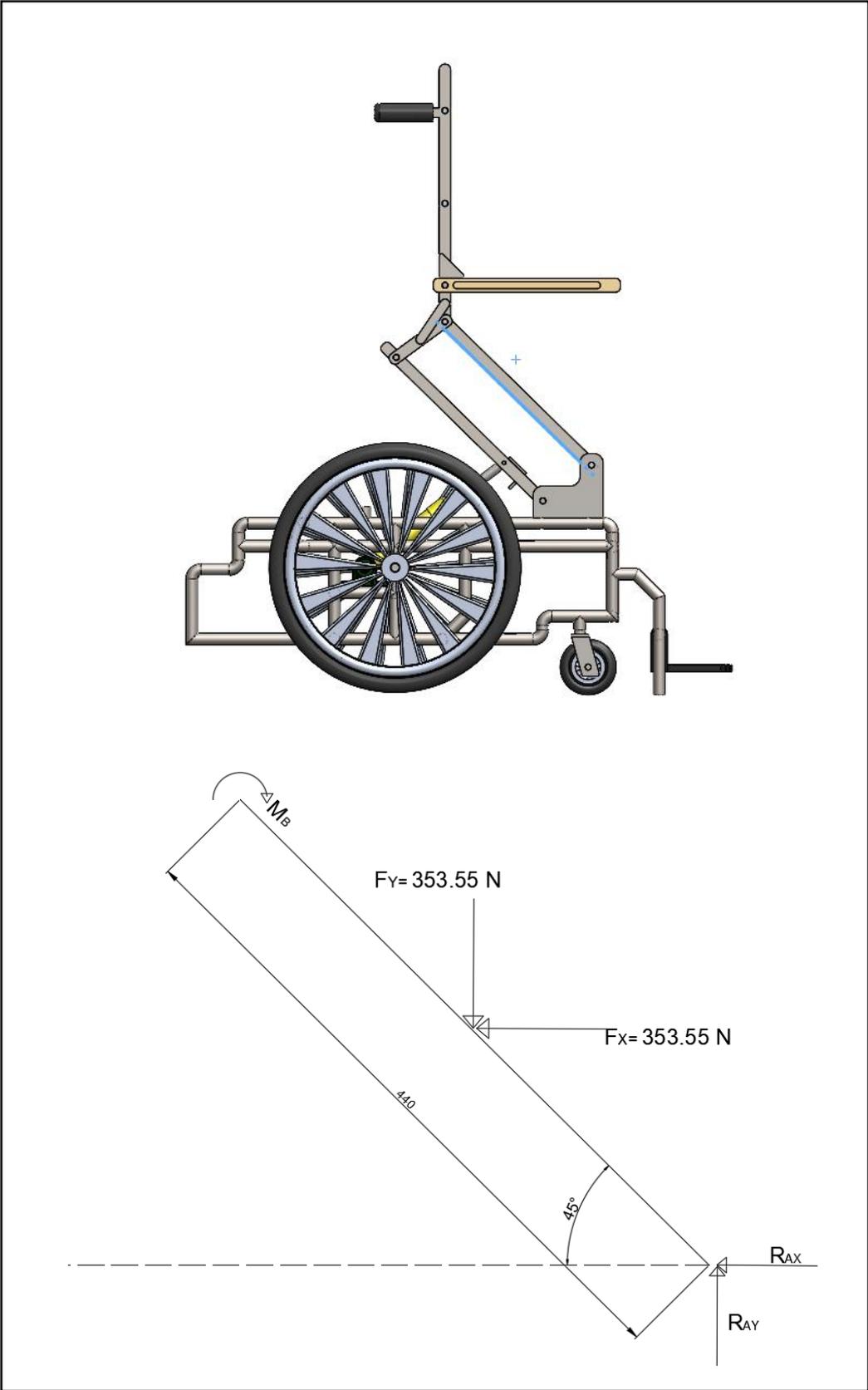


Figura 21-3: Diagrama de cuerpo libre a un ángulo de 45°

Realizado por: (Batallas David, 2021)

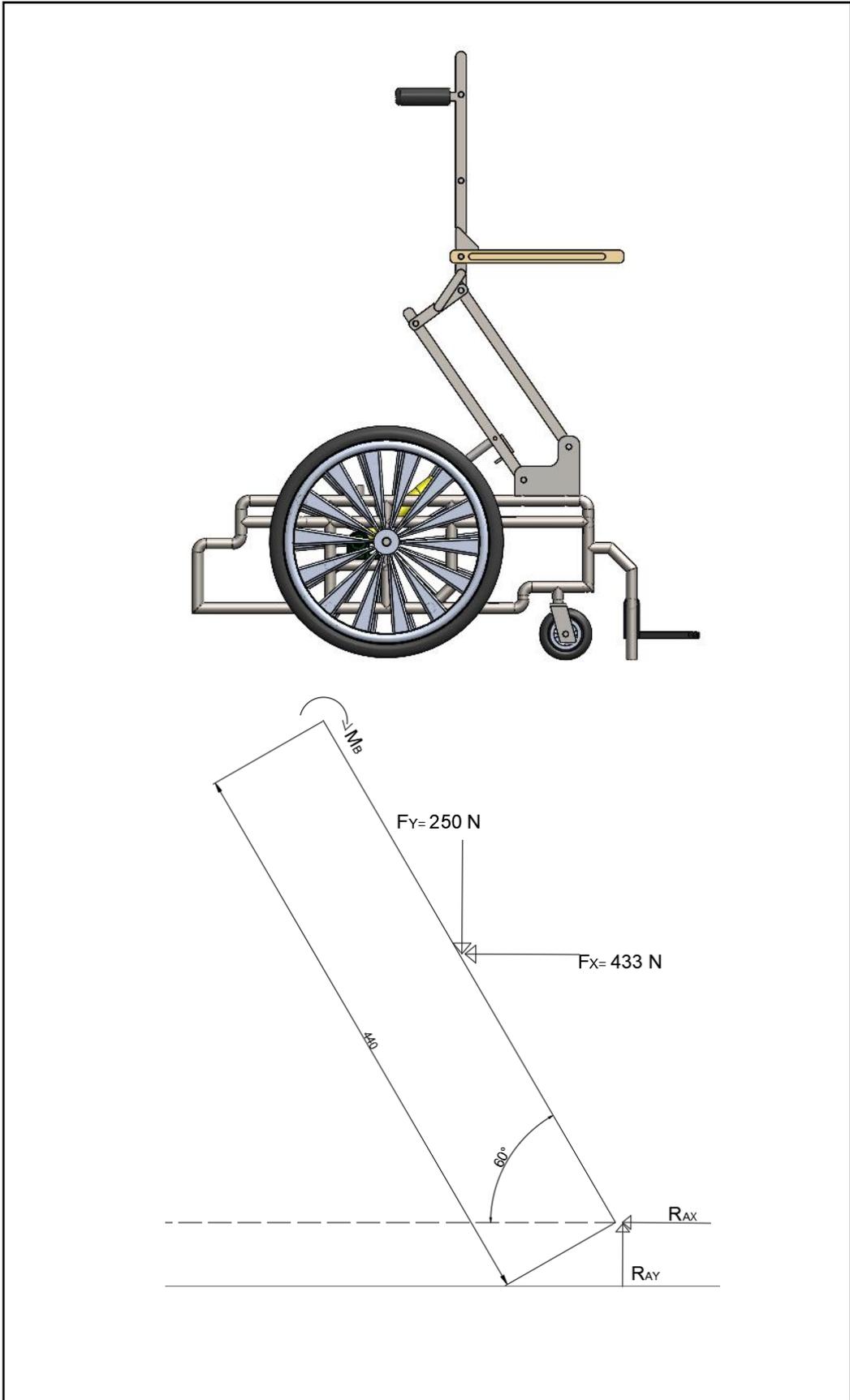


Figura 22-3: Diagrama de cuerpo libre a un ángulo de 60°

Realizado por: (Batallas David, 2021)

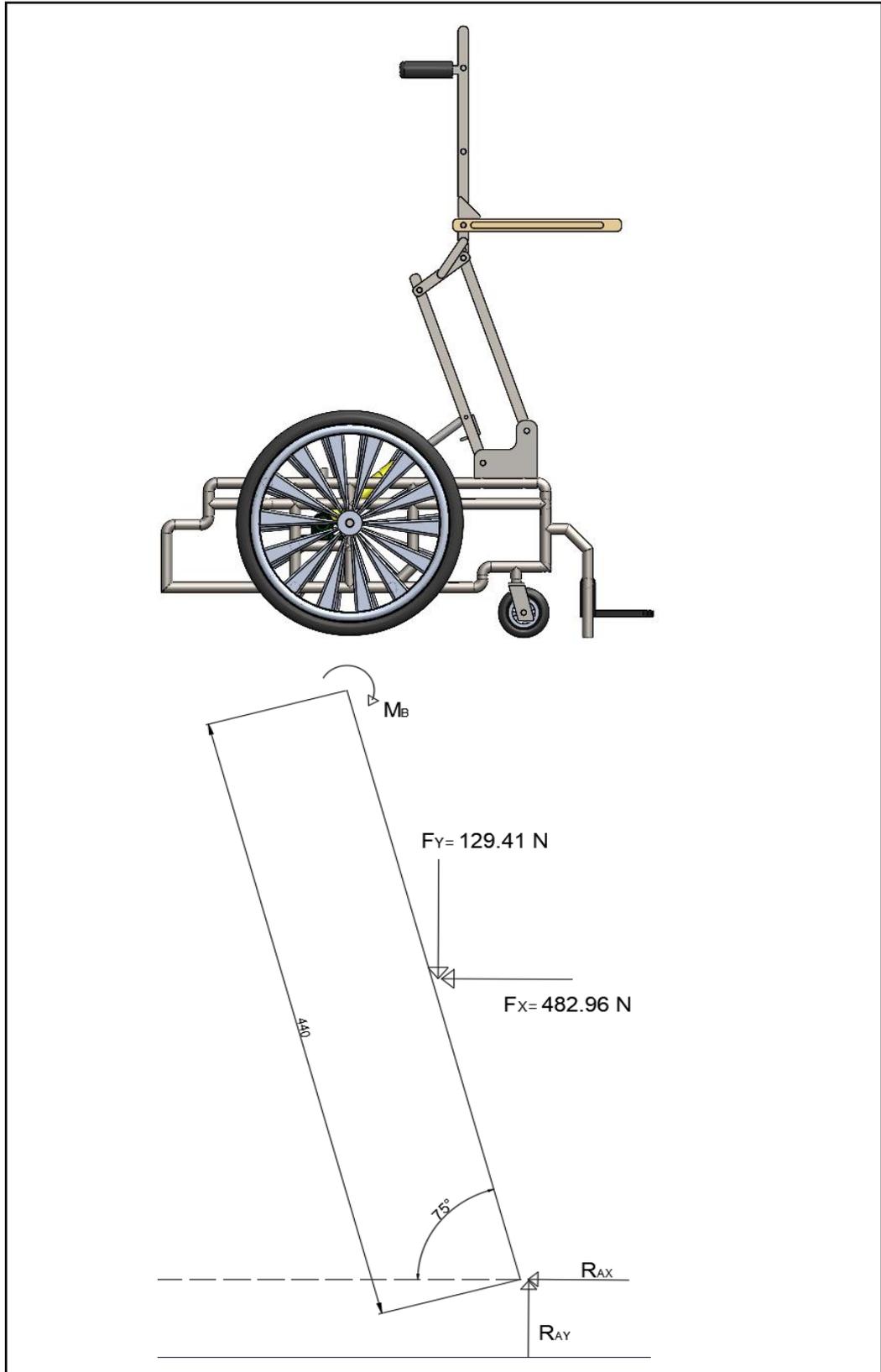


Figura 23-3: Diagrama de cuerpo libre a un ángulo de 75°

Realizado por: (Batallas David, 2021)

3.4.2.3. Análisis de la barra del asiento

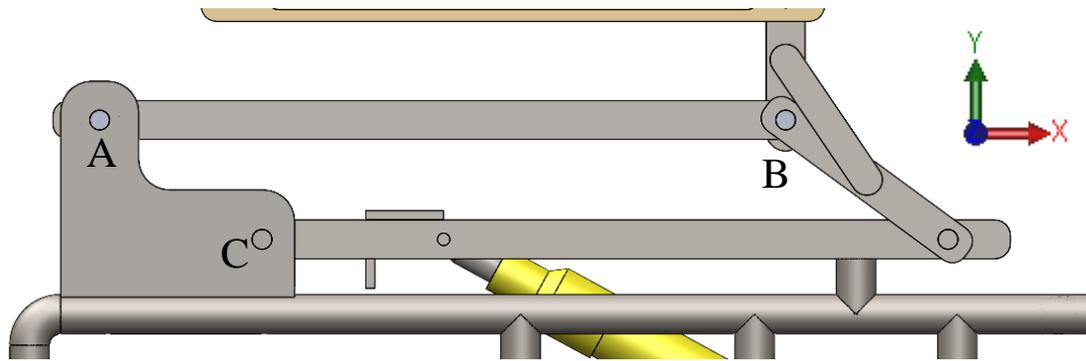


Figura 24-3: Barra del asiento de la silla bipedestadora

Realizado por: (Batallas David, 2021)

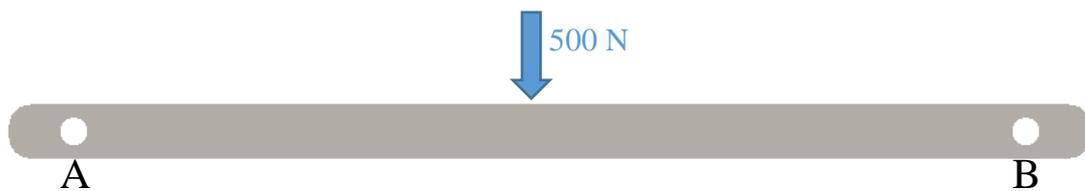


Figura 25-3: Detalle de la barra del asiento de la silla bipedestadora

Realizado por: (Batallas David, 2021)

Se realiza el diseño estático con las siguientes ecuaciones necesarias para el análisis.

La fuerza neta que soportara nuestra estructura para el caso más crítico es de 100kg o 981 N, redondearemos esta fuerza a los 1000 N para los cálculos pertinentes de resistencia.

En primera instancia analizaremos la barra mostrada en la figura 20 – 3 en el punto A.

Punto A

$$F_y = F_L = - 500 \text{ N}$$

Momento flector

$$\vec{M}_x = -F_y * \frac{\overline{AB}}{2}$$

$$\vec{M}_x = -55000 \text{ Nmm}$$

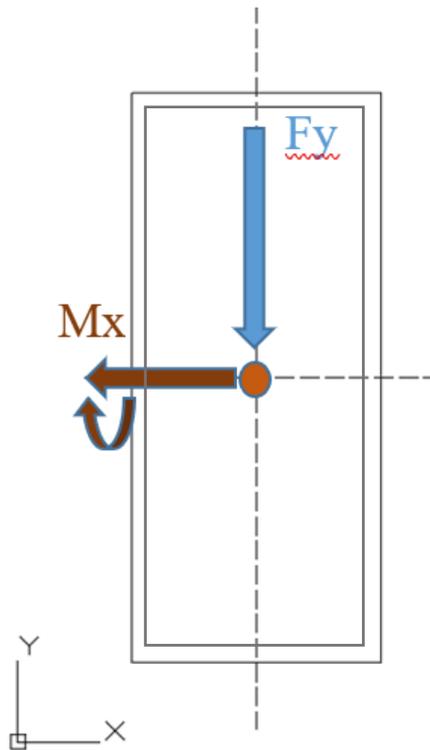


Figura 26-3: Análisis punto A

Realizado por: (Batallas David, 2021)

Se realiza un análisis iterativo y se selecciona un perfil estructural rectangular con las siguientes medidas

Tabla 10-3: Datos de catálogo del perfil

Área	100	mm ²
Cy	2	mm
Cx	12.5	mm
Iy	133,33	mm ⁴
Ix	5208,33	mm ⁴
Sy	320	MPa

Realizado por: (Batallas David, 2021)

Esfuerzos en el perfil:

$$\text{Corte} \rightarrow \tau_c = \frac{F_y}{A} = 5 \frac{N}{mm^2}$$

$$\text{Flexion } x \rightarrow \sigma_x = \frac{M_x C_x}{I_x} = 132 \frac{N}{mm^2}$$

Aplicamos el teorema de Von mises

$$V_m = \sqrt{(\sigma_T^2 + 3\tau_T^2)} = \sqrt{132^2 + 3(5)^2} = 132,28 \frac{N}{mm^2}$$

Y se determina el factor de seguridad

$$n = \frac{S_y}{V_m} = \frac{250}{132,28}$$

$$n = 1.889$$

Punto C

En esta barra aparece la fuerza del actuador la que debe ser tomada en cuenta para los cálculos.



Figura 27-3: Detalle de la barra del asiento de la silla bipedestadora

Realizado por: (Batallas David, 2021)

$$F_y = F_L * \sin(\alpha)$$

$$F_y = 896.099 N$$

$$F_z = F_L * \cos(\alpha)$$

$$F_z = 443.853$$

$$\vec{F} = \vec{F}_y j \times \vec{F}_z k$$

Momento flector

$$\vec{M}_x = F_y * \overline{CD}$$

$$\vec{M}_x = 89609.9 Nmm$$

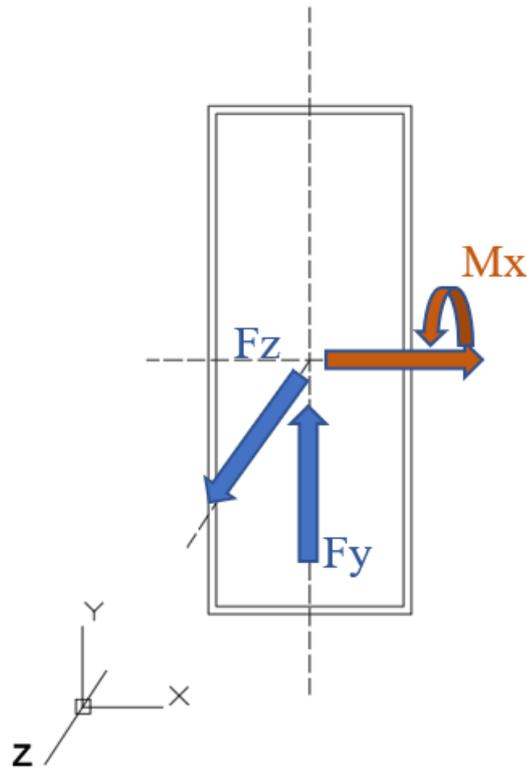


Figura 28-3: Análisis del elemento en el punto C

Realizado por: (Batallas David, 2021)

Se calcula los esfuerzos con los datos del perfil.

$$\text{Tracción} \rightarrow \sigma_T = \frac{F_z}{A} = 2.690 \frac{N}{mm^2}$$

$$\text{Corte} \rightarrow \tau_c = \frac{F_y}{A} = 5.434 \frac{N}{mm^2}$$

$$\text{Flexion } x \rightarrow \sigma_x = \frac{M_x C_x}{I_x} = 264.42 \frac{N}{mm^2}$$

Aplicamos el teorema de Von mises

$$V_m = \sqrt{(\sigma_T^2 + 3\tau_T^2)} = \sqrt{267.11^2 + 3(5.434)^2} = 267.27 \frac{N}{mm^2}$$

Y determinamos el factor de seguridad.

$$n = \frac{S_y}{V_m} = \frac{400}{267.27}$$

$$\mathbf{n = 1.49}$$

3.4.2.8. Análisis de estabilidad

Tabla 11-3: Propiedades acero estructural

Elemento	Peso (kg)	Distancia (mm)
Actuador lineal	2,5	317,2
Batería	3,2	437,2
Estructura inferior	11	325
Estructura superior	11,5	70
Pie	1,5	253,4
Pantorrilla	5,8	150
Extremidad superior	60	7
muslos	18	54,4

Realizado por: (Batallas David, 2021)

$$\sum M_H = 0$$

$$H_1 \cdot d_1 + H_2 \cdot d_2 + H_3 \cdot d_3 + H_4 \cdot d_4 + H_5 \cdot d_5 + H_6 \cdot d_6 + H_7 \cdot d_7 = (H_8 \cdot d_8 + H \cdot d_9 + H_{10} \cdot d_{10})R$$

Se cumplirá la condición de equilibrio si R es mayor que uno

$$R > 1$$

$$R = \frac{H_1 \cdot d_1 + H_2 \cdot d_2 + H_3 \cdot d_3 + H_4 \cdot d_4 + H_5 \cdot d_5 + H_6 \cdot d_6 + H_7 \cdot d_7}{(H_8 \cdot d_8 + H \cdot d_9 + H_{10} \cdot d_{10})}$$

$$R = 2.63$$

3.5. Validación mediante SolidWorks

3.5.1. Estructura del prototipo

– Geometría

Realizamos la geometría de la silla bipedestadora en SolidWorks, el cual nos permite realizar los elementos por separado y después incluirlos en un ensamblaje como se muestra a continuación:



Figura 29-3: Geometría de análisis en SolidWorks

Realizado por: (Batallas David, 2021)

– **Materiales**

Se establece el material que vamos a ocupar en su totalidad en cada elemento que compone la silla bipedestadora

Tabla 22-3: Propiedades acero estructural

Material	Acero estructural	
Densidad	7850	Kg.m ³
Módulo de Young	200000	MPa
Poisson	0,3	
Resistencia ultima a la tracción	400	MPa
Resistencia a la compresión	250	MPa

Realizado por: (Batallas David, 2021)

Tabla 133-3: Propiedades acero grado 8.8

Material	Acero pernos grado 8,8	
Densidad	7850	Kg.m ³
Módulo de Young	200000	MPa
Poisson	0,3	
Tensile Yield Strength	600	MPa
Compressive Yield Strength	830	MPa
Tensile Ultimate Strength	830	MPa

Realizado por: (Batallas David, 2021)

– **Fuerzas**

Como se detalla anteriormente la carga aplicada por el usuario corresponde a los 980 N, la acción generada por el actuador lineal corresponde a los 20000 N de acción y reacción en los ejes superior e inferior y los soportes fijos.

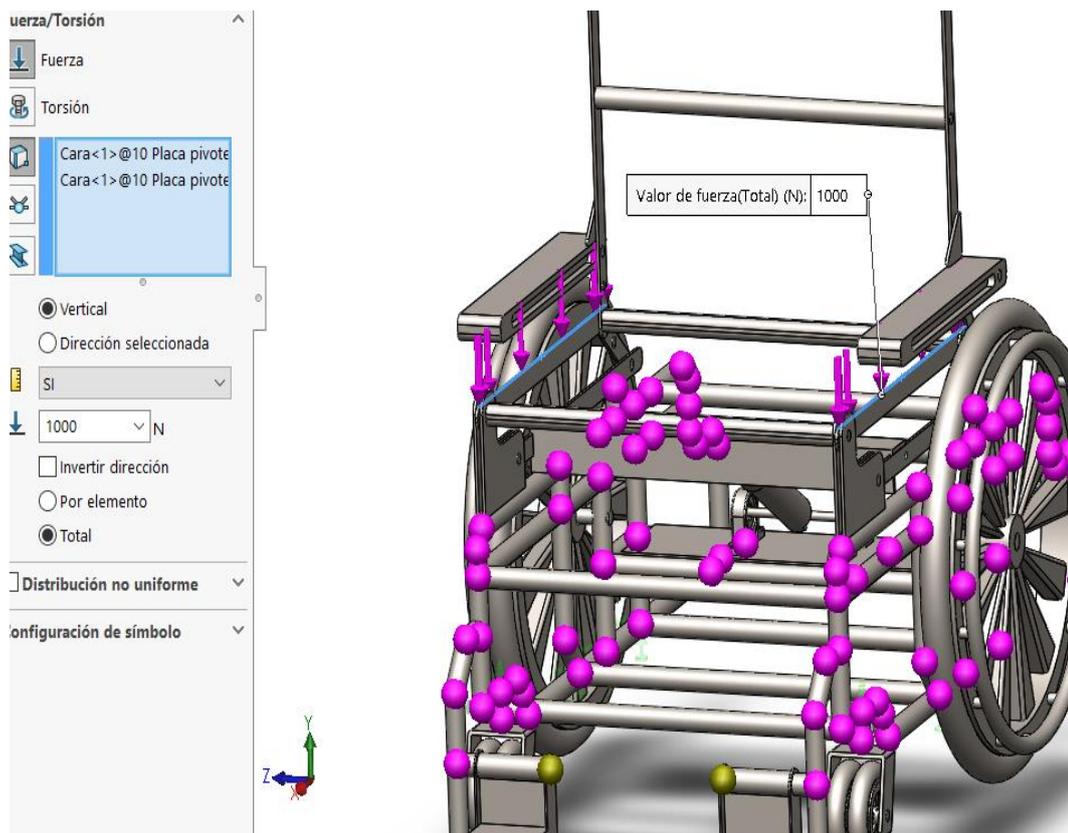
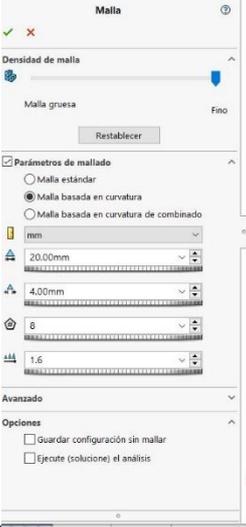
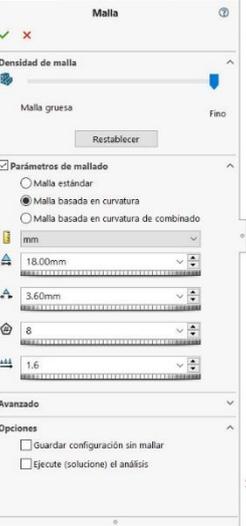
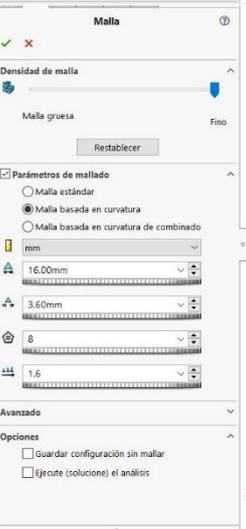


Figura 30-3. Aplicación de fuerzas y soportes

Realizado por: (Batallas David, 2021)

Proceso

Mallado

Calidad	Mallado	
20 mm		
18 mm		
16 mm		

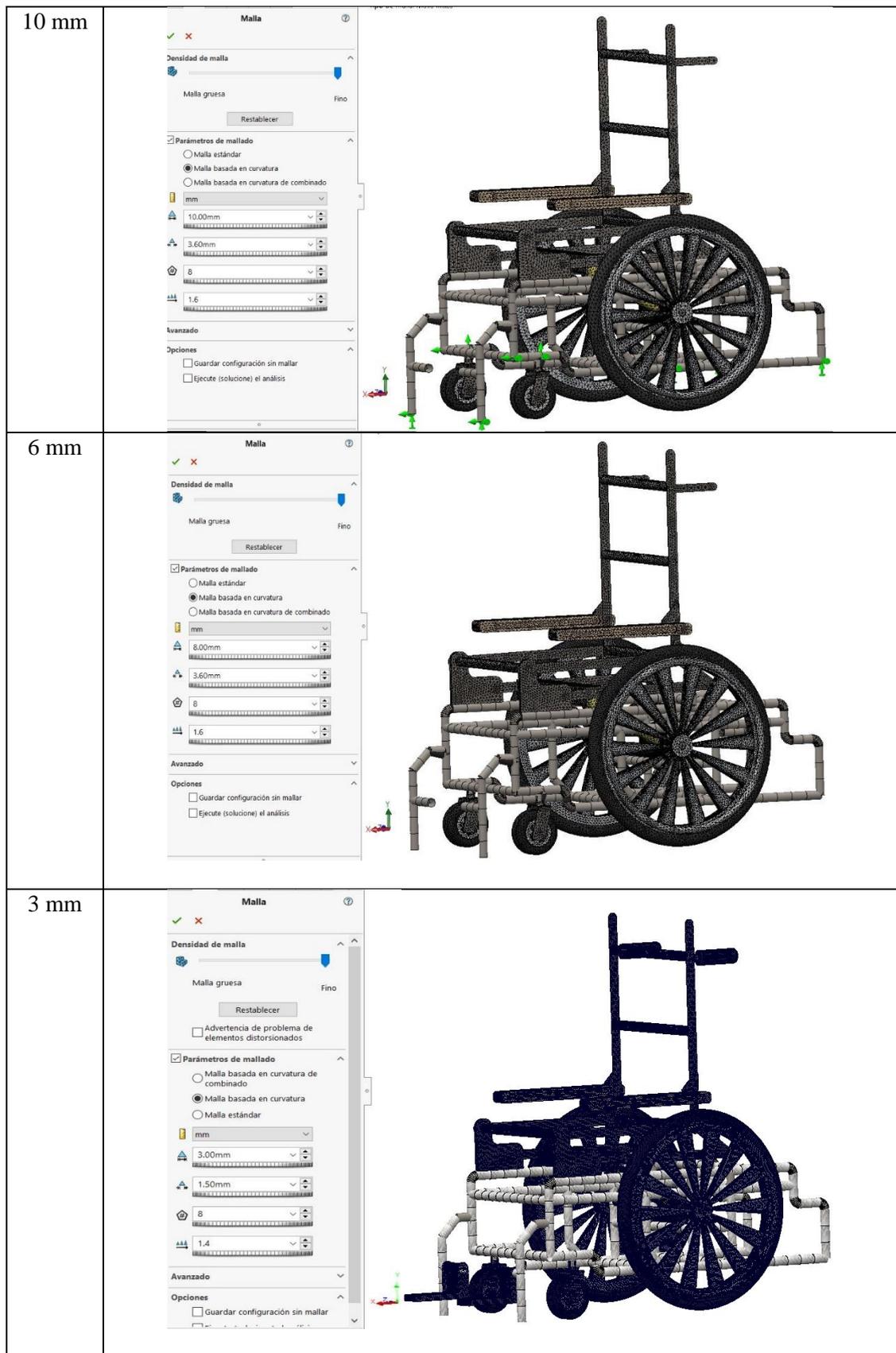


Figura 31-3: Diferentes calidades de malla a analizar en el prototipo

Realizado por: (Batallas David, 2021)

Como se puede observar en la figura 37-3 se tiene una deformación máxima de 0,1524 mm lo cual es aceptables para el prototipo

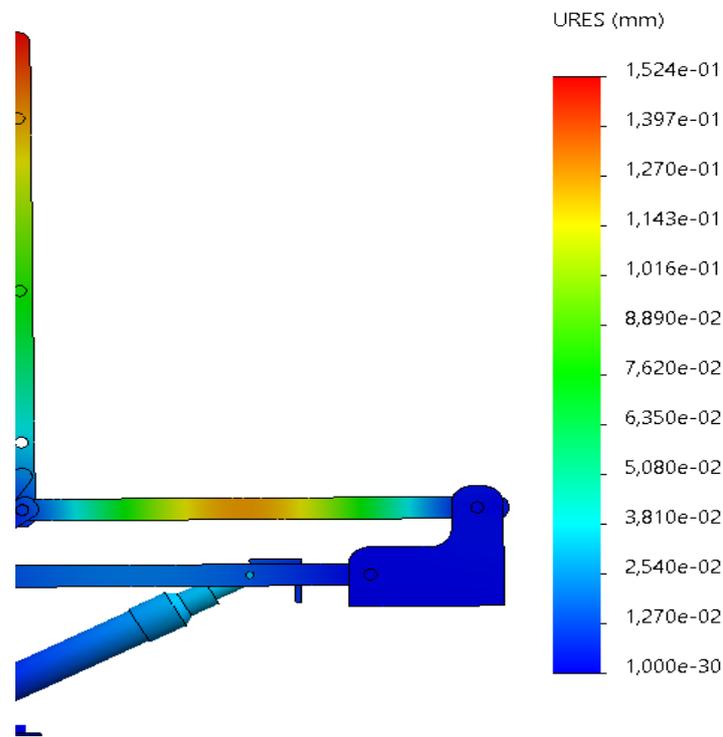


Figura 32-3: Deformación de la silla bipedestadora

Realizado por: (Batallas David, 2021)

Se muestra el estado de deformación del prototipo el cual tiene un valor máximo de 133 MPa, el cual se muestra en la conexión de la viga principal del mecanismo de cuatro barras, este dato es cercano al conseguido anteriormente en el cálculo manual, por lo cual aseveramos los resultados del software

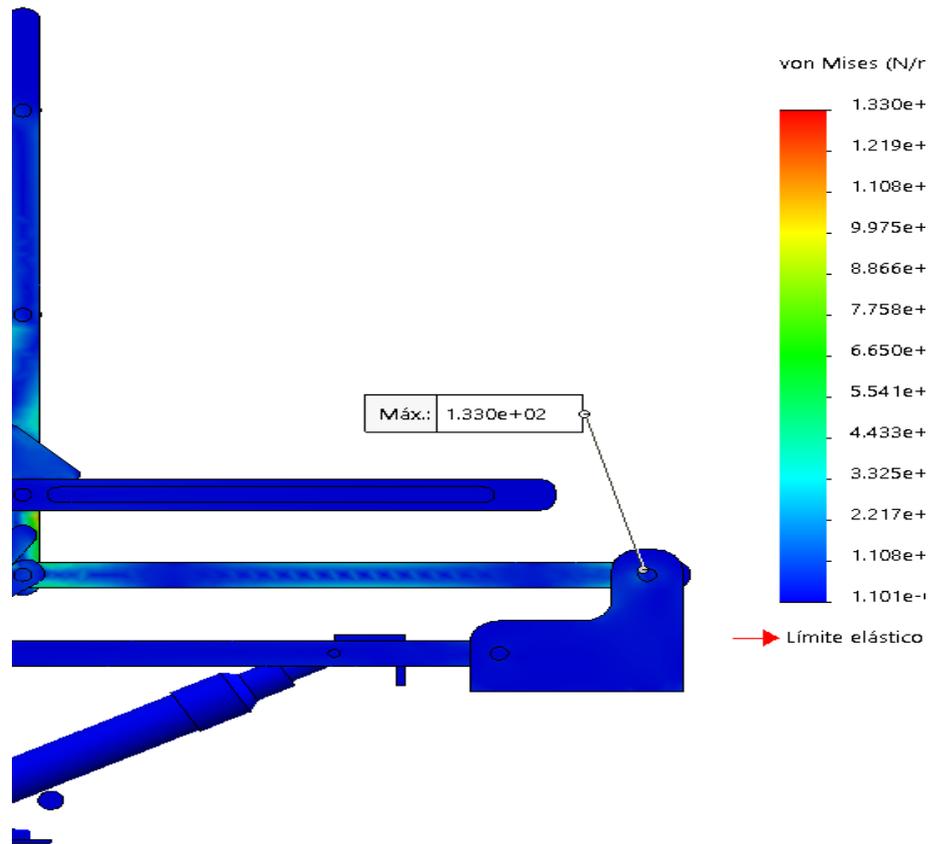


Figura 33-3: Resultados del estado de esfuerzos en el prototipo

Realizado por: (Batallas David, 2021)

Por lo tanto, se muestra el factor de seguridad para la silla bipedestadora con un factor mínimo de 1,88 en determinadas secciones, principalmente en los elementos de unión donde se dan los estados de esfuerzos críticos.

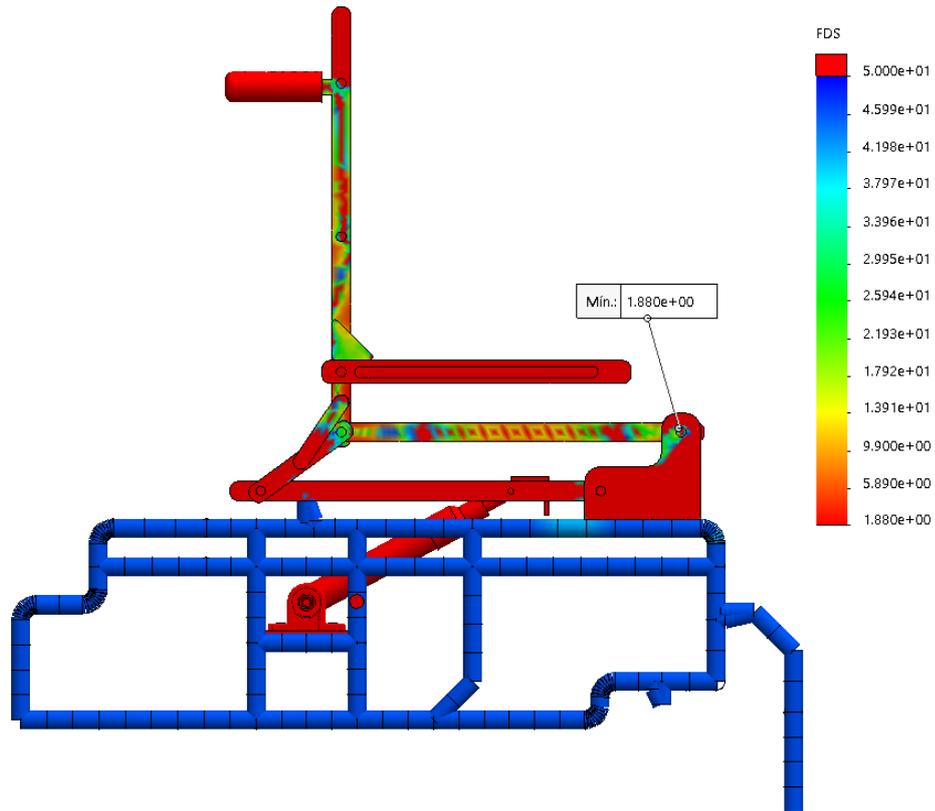


Figura 34-3: Resultados del factor de seguridad

Realizado por: (Batallas David, 2021)

3.5.2 *Viga de sujeción*

3.5.2.1 *Pre proceso*

– Geometría

Procedemos a alistar la geometría para el análisis.

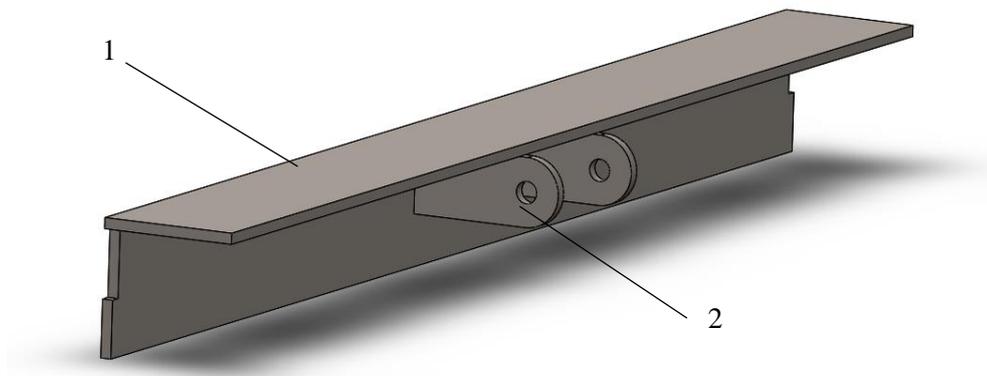


Figura 35-3: Geometría del eje de movilidad del actuador

Realizado por: (Batallas David, 2021)

Esta viga está acoplada con un pasador para la sujeción del actuador lineal y está conformado de la siguiente manera:

1. Viga con perfil en forma de L
2. Acople para pasador del actuador lineal

– Fuerzas

Se realiza el análisis estático de la viga de soporte aplicando la fuerza de 1500 N que en un caso extremo será lo que soportará este elemento.

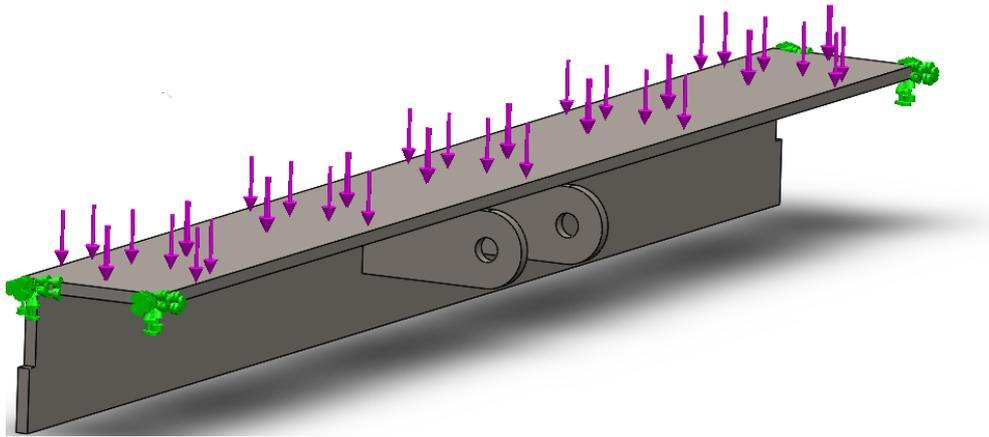


Figura 36-3: Aplicación de fuerzas y soportes

Realizado por: (Batallas David, 2021)

La figura 30-3 nos muestra las siguientes características:

Las flechas moradas indican la aplicación de la fuerza total, distribuida a través del elemento.

Las flechas verdes nos indican los puntos de empotramiento del elemento.

3.5.2.2. *Proceso*

– Mallado

Para el mallado se selecciono tipo fino para mejorar los resultados.

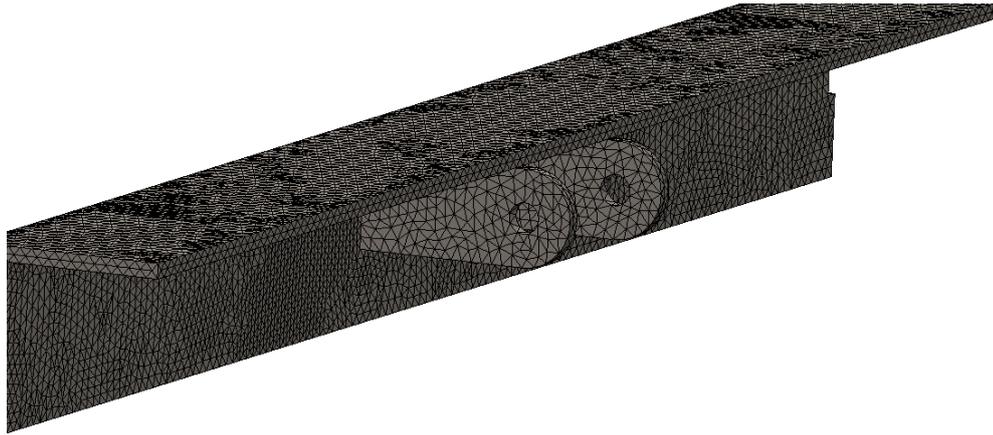


Figura 37-3: Mallado fino del elemento tipo L

Realizado por: (Batallas David, 2021)

3.5.2.3 *Post - proceso*

Para el estado de deformaciones desarrollados en el eje elemento tipo L hacia el mecanismo de cuatro barras bajo la carga de trabajo máxima se presenta valores aceptables con un máximo de 0.1324 mm, al trabajar el mecanismo de cuatro barras como una viga en voladizo por la carga del usuario, analizando esta simulación en el estado crítico de funcionamiento que corresponde a la posición de sedestación.

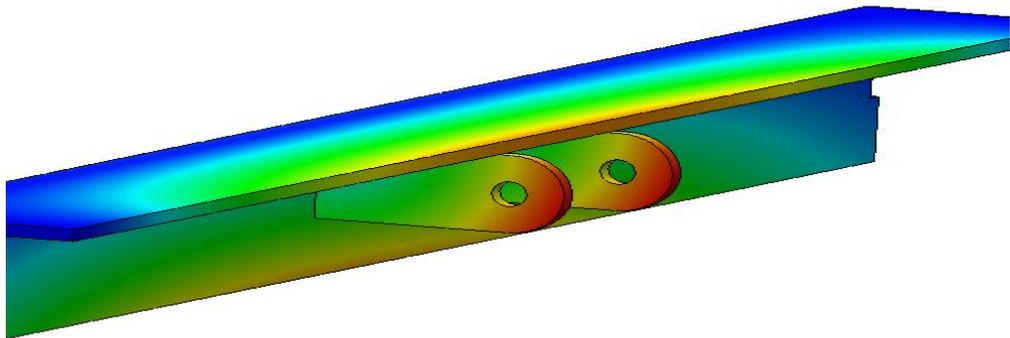


Figura 38-3: Resultados del estado de deformación del elemento tipo L

Realizado por: (Batallas David, 2021)

Para el estado de esfuerzos desarrollados en el elemento tipo L se presenta valores con un máximo de 64,17 MPa, bajo las condiciones críticas de trabajo.

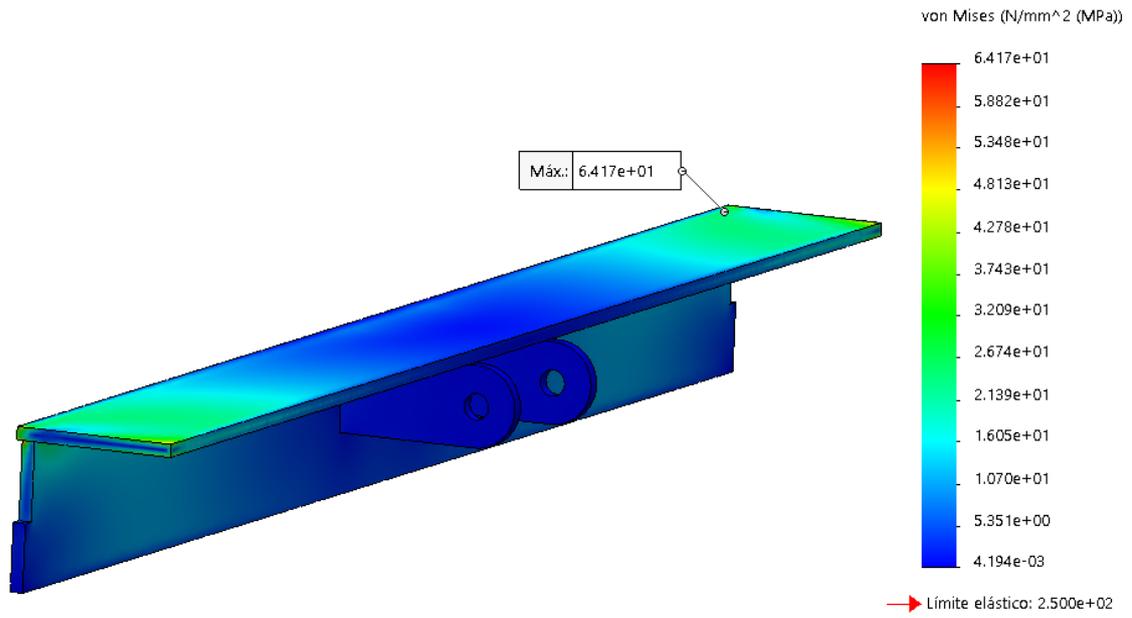


Figura 39-3: Resultados del estado De Esfuerzos del elemento tipo L

Realizado por: (Batallas David, 2021)

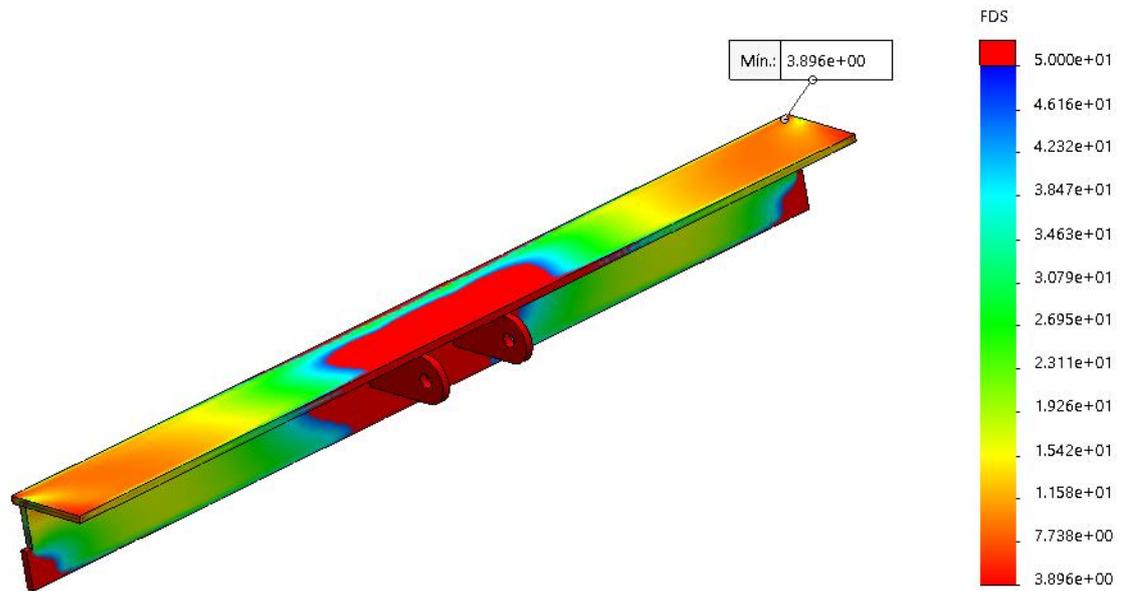


Figura 40-3: Resultados del factor de seguridad del elemento tipo L

Realizado por: (Batallas David, 2021)

3.5.3. Validación con el software MSC ADAMS

3.5.3.1. Mecanismo

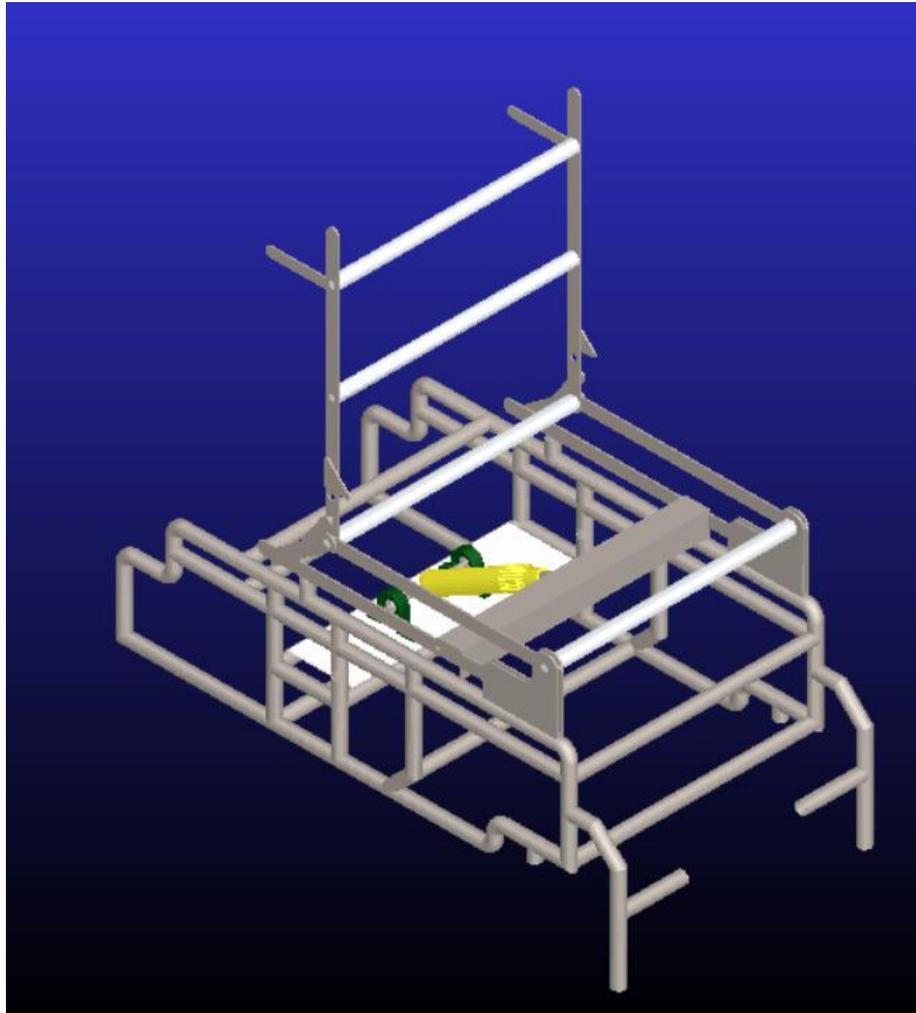


Figura 41-3: Modelo en Adams

Realizado por: (Batallas David, 2021)

3.5.4. Definición de propiedades

Se realiza la asignación de materiales para cada elemento de la silla bipedestadora, cada elemento está basado en acero, además se definen las propiedades físicas para su análisis.

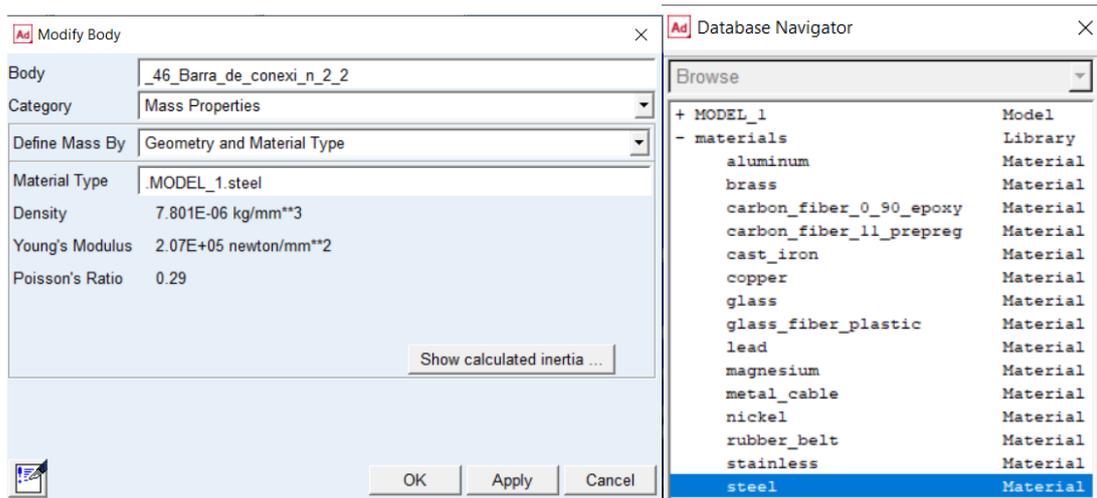


Figura 42-3: Selección del material

Realizado por: (Batallas David, 2021)

3.5.4.1 Definición de conexiones

Se define las conexiones para el prototipo en el cual se define los elementos que van a ser estáticos y los que serán móviles, según el tipo de movimiento definimos los conectores

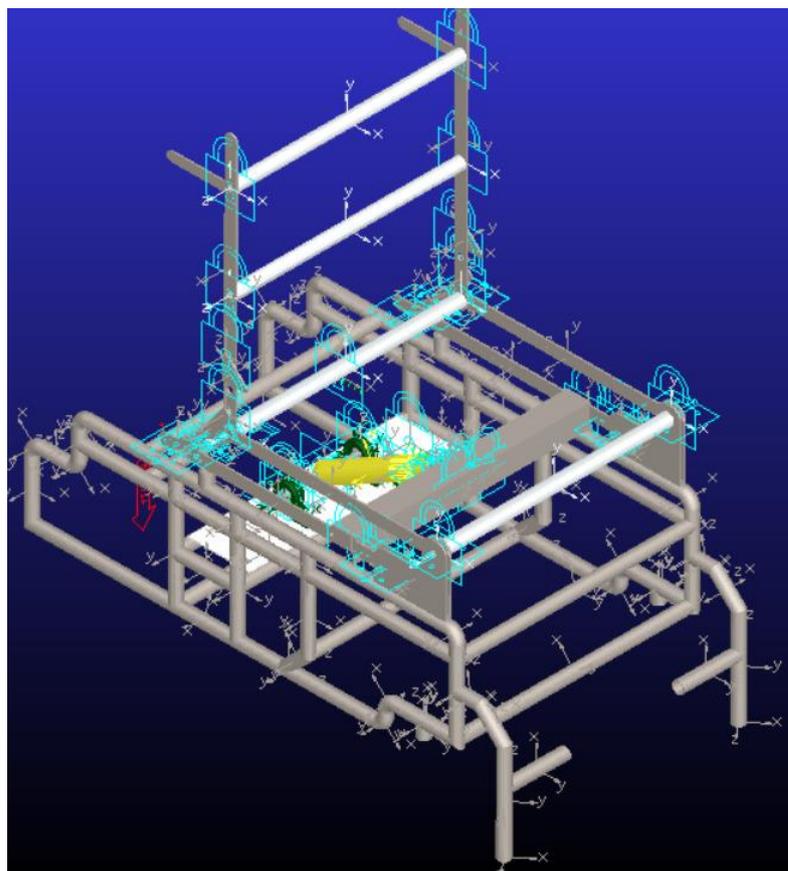


Figura 43-3: Definición de conexiones y movimientos

Realizado por: (Batallas David, 2021)

3.5.5. Definición de movimiento del actuador lineal

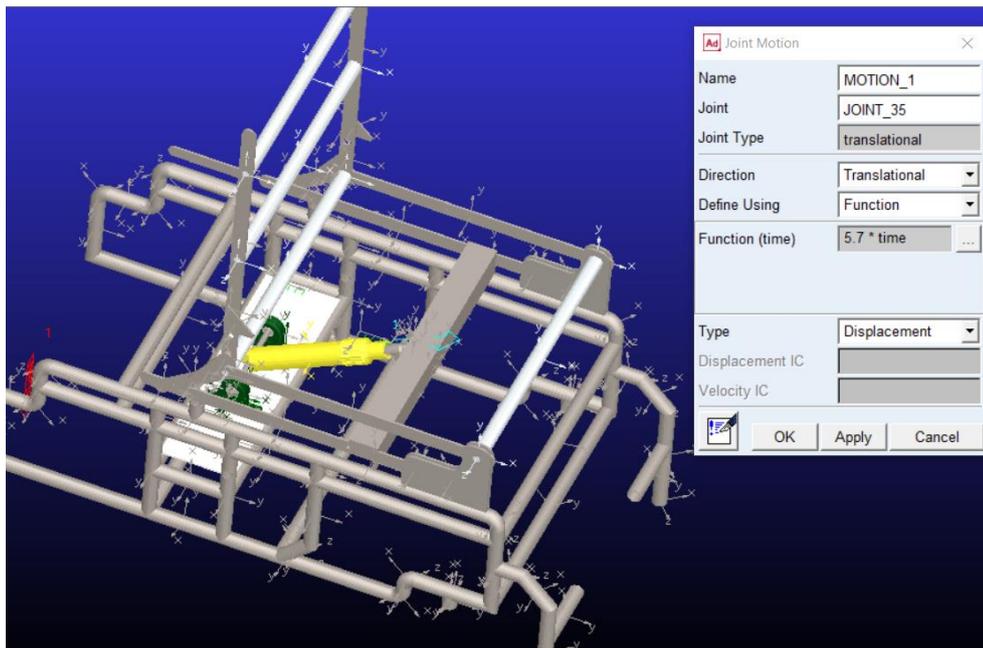


Figura 44-3. Definición de conexiones y movimientos

Realizado por: (Batallas David, 2021)

3.5.6. Definición de las fuerzas externas

Se aplica la fuerza gravitatoria y la fuerza de trabajo está referenciando el peso del usuario y su variación en su cambio de posición y por consiguiente su cambio de magnitud respecto al tiempo.

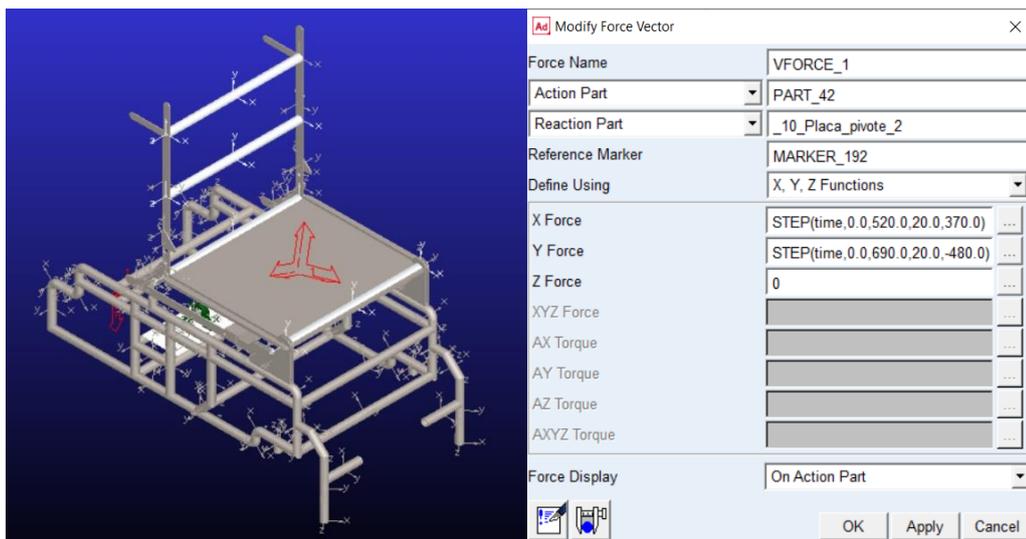


Figura 45-3: Definición de conexiones y movimientos

Realizado por: (Batallas David, 2021)

3.5.7. Simulación

Se determina un tiempo en el que la silla bipedestadora cambia de posición de sedestación a bipedestación con la velocidad de 5,7 mm/s del actuador, 20 segundos será el tiempo en la que el usuario modifica su posición.

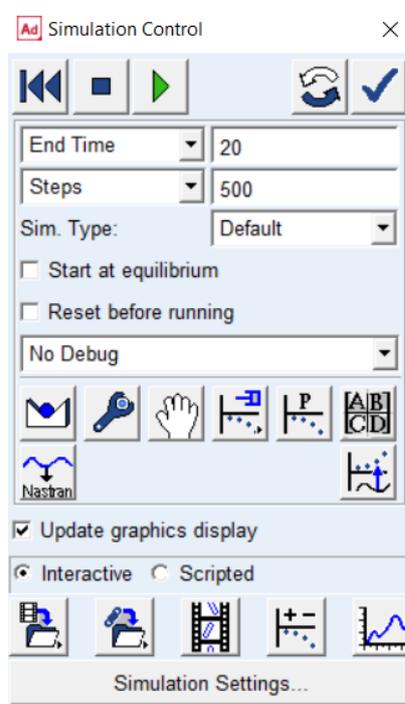


Figura 46-3. Control de la simulación

Realizado por: (Batallas David, 2021)

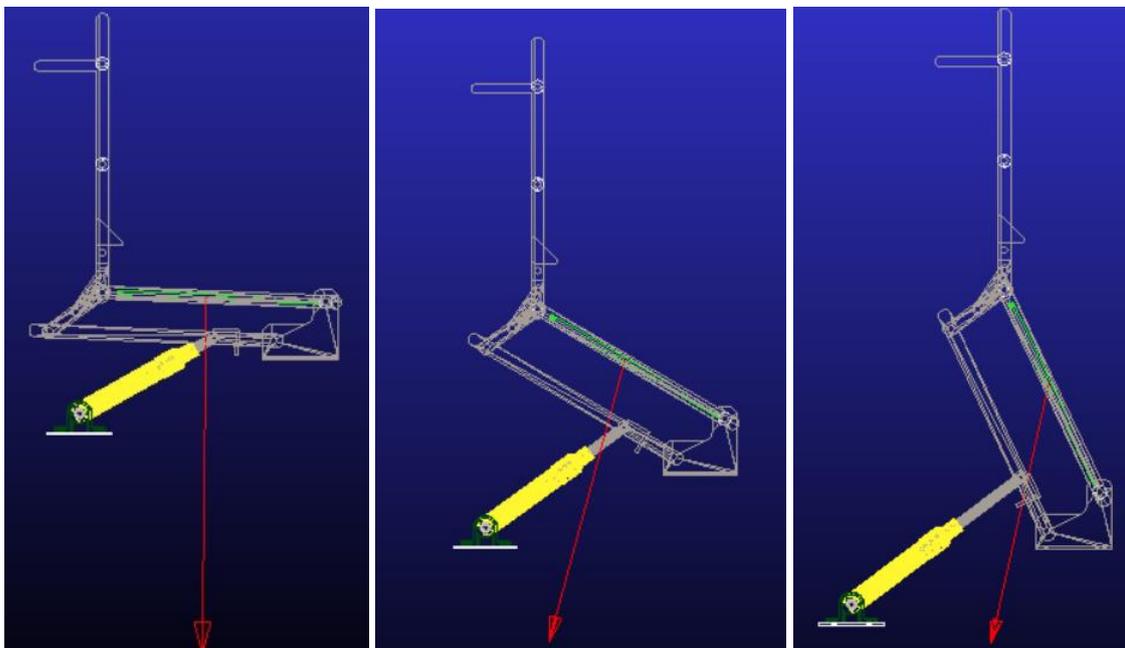


Figura 47-3: Simulación del cambio de posición de sedestación a bipedestación

Realizado por: (Batallas David, 2021)

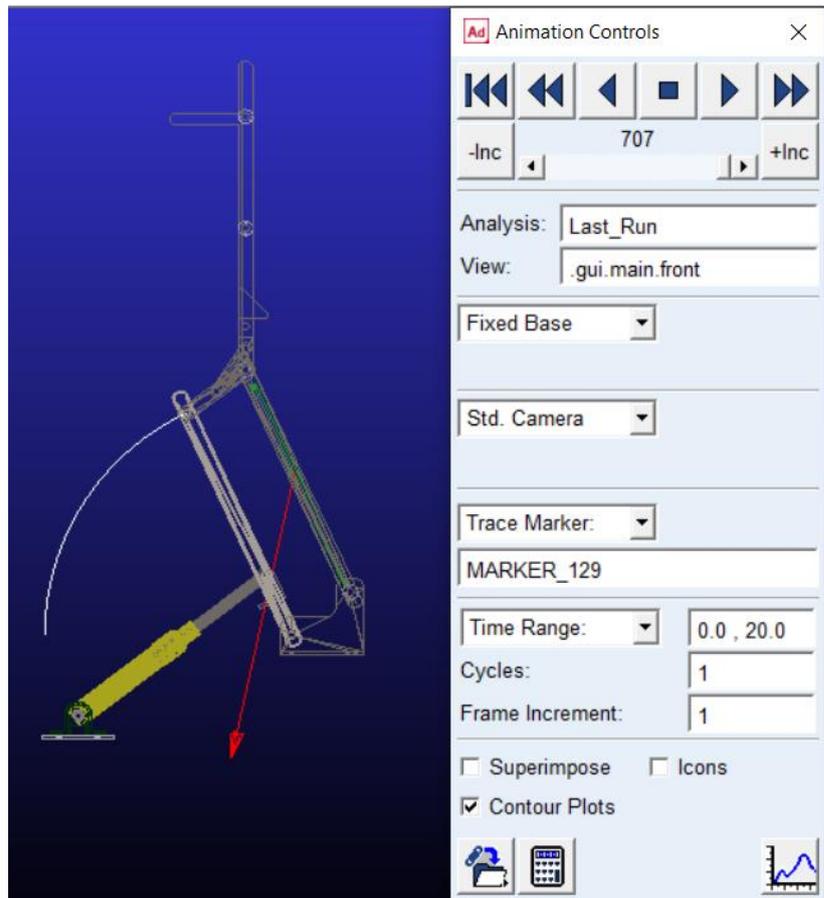


Figura 48-3: Trazado de movimiento del mecanismo bipedestador

Realizado por: (Batallas David, 2021)

3.6. Análisis de costos

Para el análisis de costos directos e indirectos analizaremos el precio de la silla de ruedas bipedestadora y cada uno de los elementos que la compone.

3.6.1. Costos directos

Analizaremos el precio del prototipo y cada uno de sus elementos.

A continuación, se muestra el precio de los elementos de la silla bipedestadora.

3.6.1.1. Elementos mecánicos

Tabla 14-3: Costos elementos mecánicos

Cantidad	Descripción	Precio unitario (\$)	Precio Total (\$)
1			
1	Actuador lineal 12V/1500N	78	78
2	Ruedas 60 mm	25	50
2	Tubo de 25,4 x 1,5 mm	18	36
1	Platina de acero de espesor 4 mm	15	15
30	Pernos/Tuercas	0,2	6
1	Angulo 25x4	9	9
2	Lata de pintura	8	8
Subtotal 1			174

Realizado por: (Batallas David, 2021)

3.6.1.2. Manufactura

Tabla 15-3: Costos de manufactura

Horas	Descripción	\$/Hora por máquina	Precio Total (\$)
1	Cortadora	1,5	1,5
1	Cizalladora	5	5
1	Amoladora	0,4	0,4
0,5	Torno	8,5	4,25
1	Taladro	3	3
Subtotal 2			14,15

Realizado por: (Batallas David, 2021)

3.6.1.3. Mano de obra

Tabla 16-3: Costos de mano de obra

Horas	Descripción	\$/Hora por máquina	Precio Total (\$)
1	Cortadora	10	10
1	Cizalladora	10	10
1	Amoladora	10	10
0,5	Torno	17	8,5
1	Taladro	6	6
Subtotal 3			44,5

Realizado por: (Batallas David, 2021)

3.6.1.4. Componentes eléctricos

Tabla 17-3: Costos de componentes electrónicos

Cantidad	Descripción	Precio unitario (\$)	Precio Total (\$)
1	Batería de 12 V 2.8 A	15	15
1	Controlador	61	61
1	Cable #16	1,6	1,6
2	Cubre cables	1	2
3	Conectores	3	9
3	Borneras	0,5	1,5
Subtotal 4			90,1

Realizado por: (Batallas David, 2021)

3.6.1.5. Costos directos totales

Tabla 18-3: Costos directos totales

Descripción	Valor total (\$)
Subtotal 1	174
Subtotal 2	14,15
Subtotal 3	44,50
Subtotal 4	90,1
Total	322,75

Realizado por: (Batallas David, 2021)

3.6.2. Costos indirectos

El análisis de costos indirectos son los que influyen indirectamente en el prototipo, tanto en el diseño ingenieril varios gastos inesperados.

Tabla 19-3: Costos indirectos

Descripción	Valor total (\$)
Costos de ingeniería	0
Otros	50
Total	50

Realizado por: (Batallas David, 2021)

3.6.3. Costo total

En esta sección se realiza la suma de los costos directos e indirectos obteniendo el valor total de un prototipo, como se muestra en la tabla 54-3.

Tabla 20-3: Costo total

Tipo de costo	Valor total (\$)
Costos directos	322,75
Costos indirectos	50
Total	372,75

Realizado por: (Batallas David, 2021)

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

4.1. Validación dinámica

4.1.1. Posiciones

Con la simulación en Adams se puede realizar una verificación con la programación manual de la cinemática del prototipo en Matlab. Se tiene las gráficas de posición que la silla bipedestadora realiza en la bipedestación, aquí se puede deducir la altura del mecanismo, con un valor de 0.65 metros de altura. Por lo cual, se afirma el correcto funcionamiento del mecanismo cuatro barras en su condición establecida por Grashof del mecanismo de caso especial de Grashof, todas las inversiones serán dobles-manivelas, pero tendrán puntos de cambio, ya que sus curvas generan verticalidad en todo el trayecto, asegurando el cambio de posición de la persona de sedeste a bípedo.

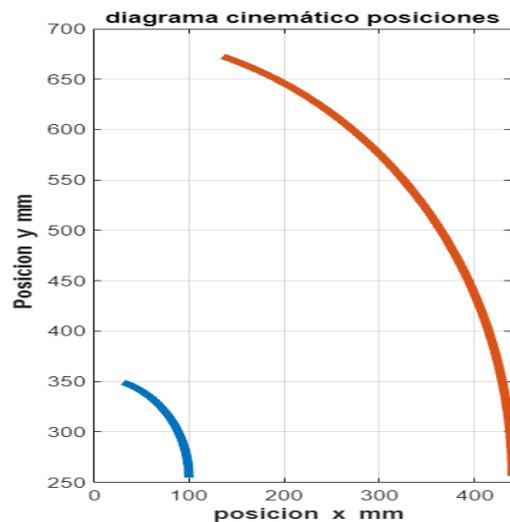
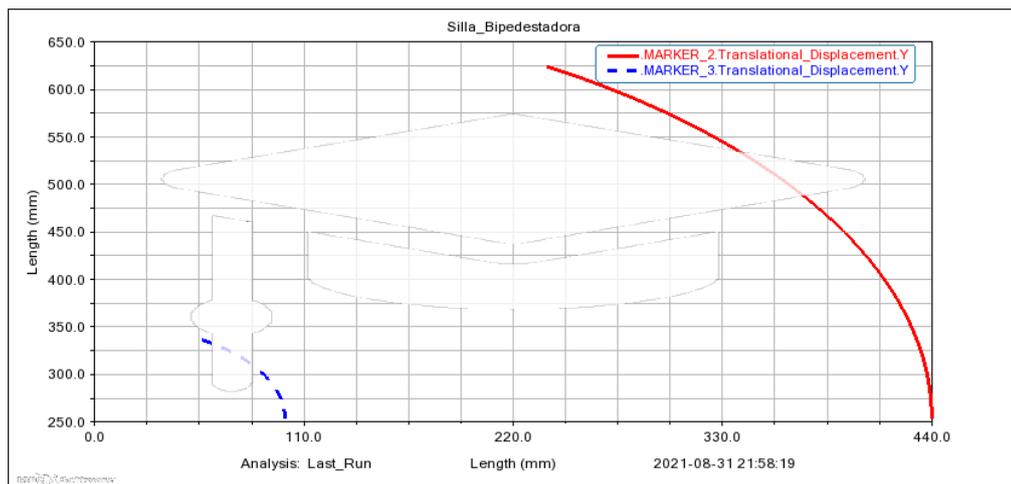


Gráfico 1-4: Comparación de posiciones de Adams y Matlab

Realizado por: (Batallas David, 2021)

4.1.2. Velocidades

Mediante la simulación del mecanismo se observa su comportamiento simétrico, al tener las curvas de velocidades lineales y angulares que coinciden, con su punto más alto de 58 mm/s, se afirma que el lazo de control es correcto

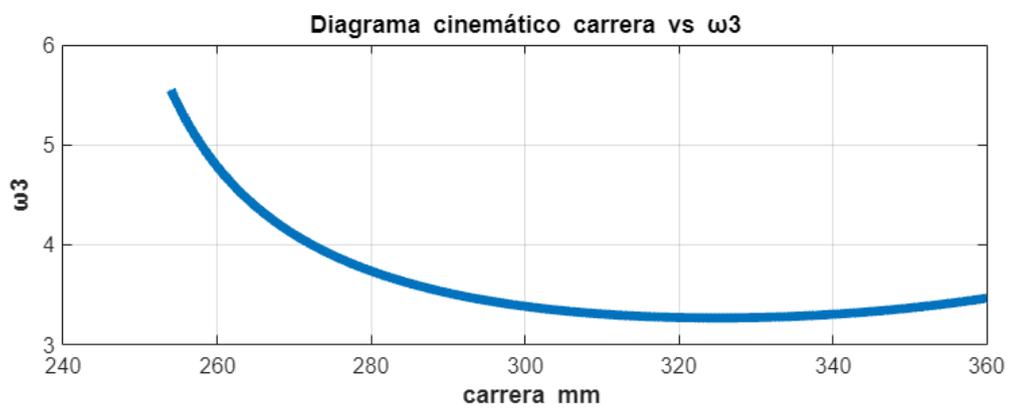
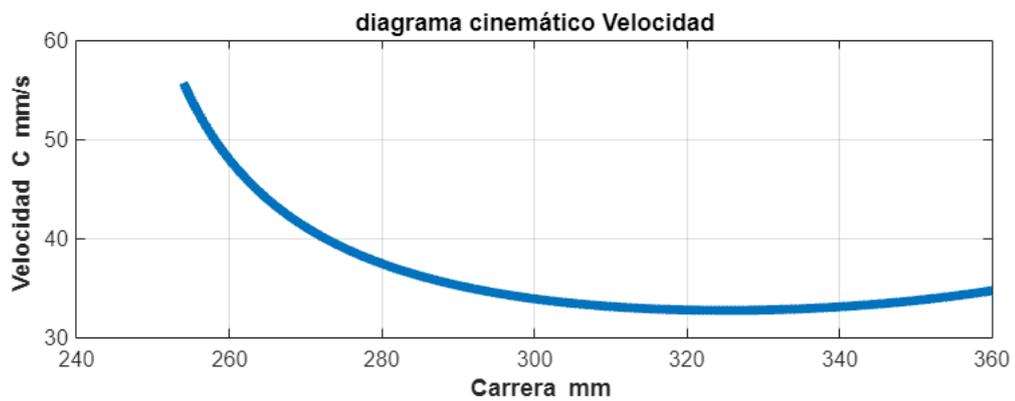
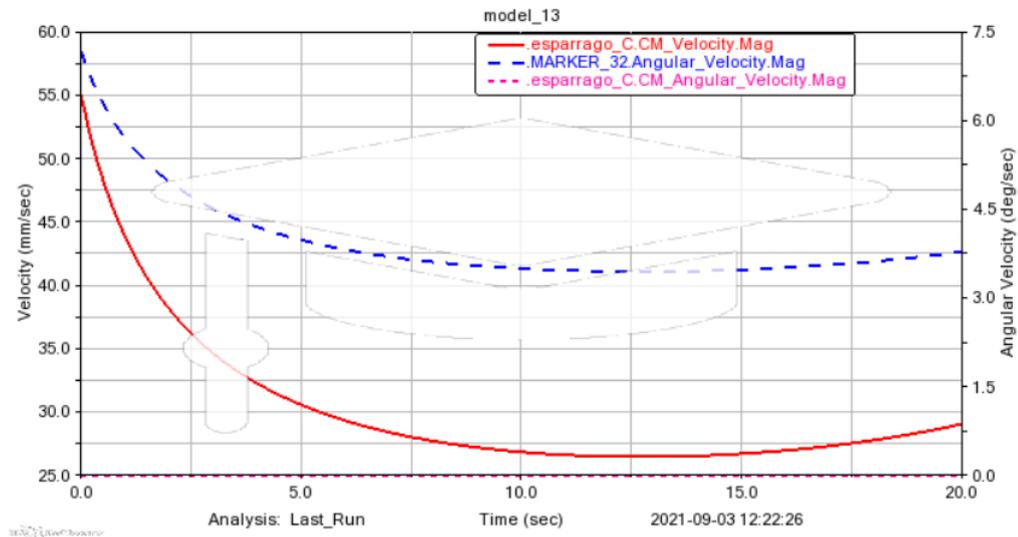


Gráfico 2-4: Comparación de velocidades de Adams y Matlab

Realizado por: (Batallas David, 2021)

4.1.3. Aceleraciones

Tenemos para las aceleraciones el comportamiento de los puntos C y D, asegurando de esta manera la simetría del mecanismo, en los cuales su aceleración máxima es de 27 mm/s², estos datos coinciden con los generados por el código en MATLAB. También se observa la aceleración de los apoyos del mecanismo el cual es cero.

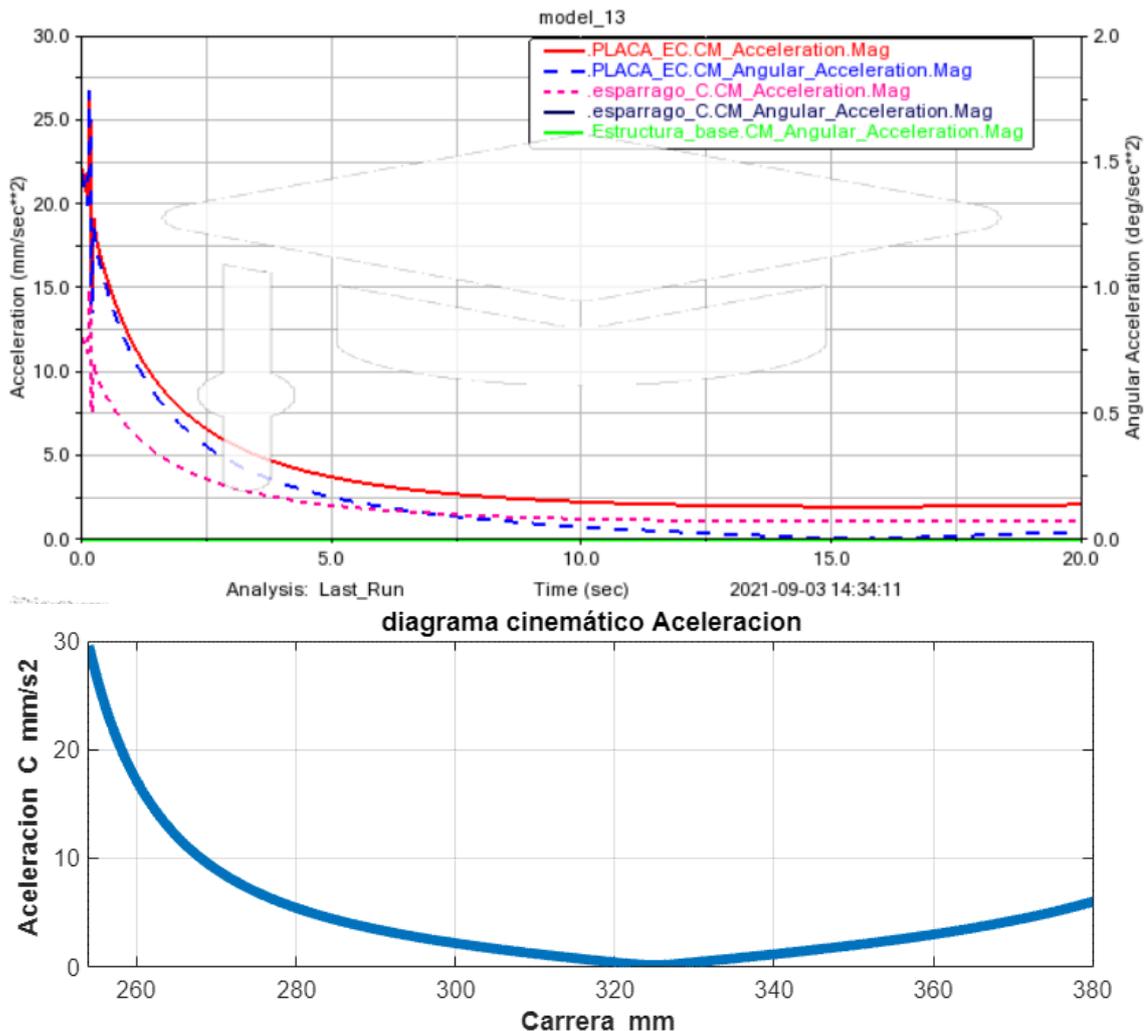


Gráfico 3-4: Comparación de aceleraciones de Adams y Matlab

Realizado por: (Batallas David, 2021)

4.1.4. Actuador lineal

En el grafico 4-4 podemos observar el comportamiento del actuador lineal, el cual nos da los datos principales para su funcionamiento y justificar la elección correcta del mismo, con esto obtenemos los siguientes datos:

Potencia: 6W

Velocidad: 5.7mm/s

Carrera: 122.6 mm

El dato de carrera será el que el actuador recorrerá para posibilitar al usuario la bipedestación, este análisis es para el prototipo a carga máxima de funcionamiento.

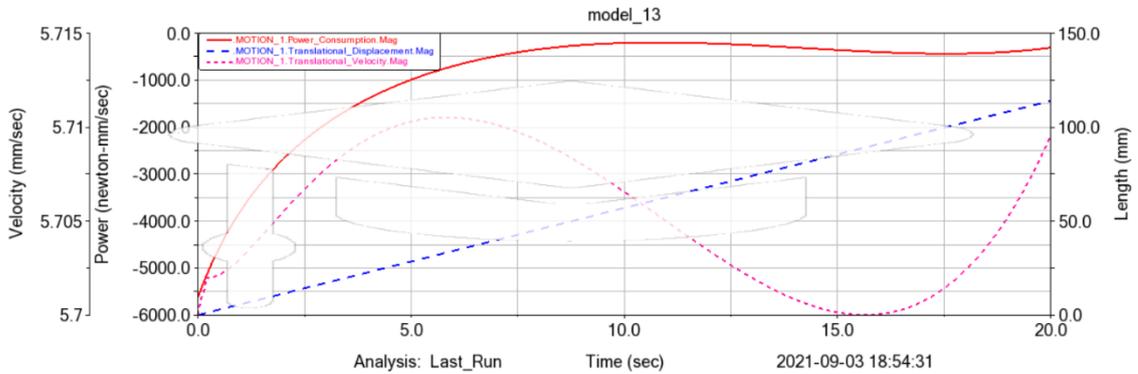


Gráfico 4-4: Potencia y características del actuador lineal a máxima carga

Realizado por: (Batallas David, 2021)

Se realiza además la simulación del actuador lineal sin carga, de donde obtenemos un consumo mínimo de 2.2 W aproximadamente.

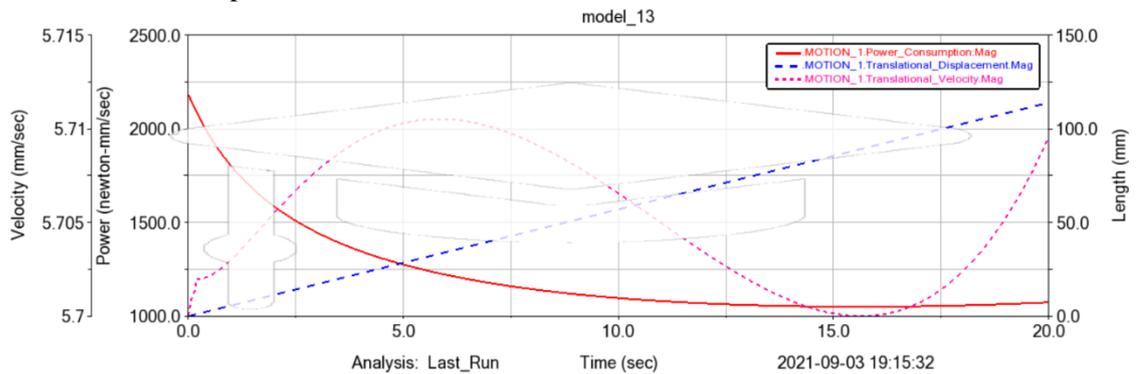


Gráfico 5-4: Potencia y características del actuador lineal sin carga

Realizado por: (Batallas David, 2021)

4.2. Validación estructural

4.2.1. Estructura del prototipo

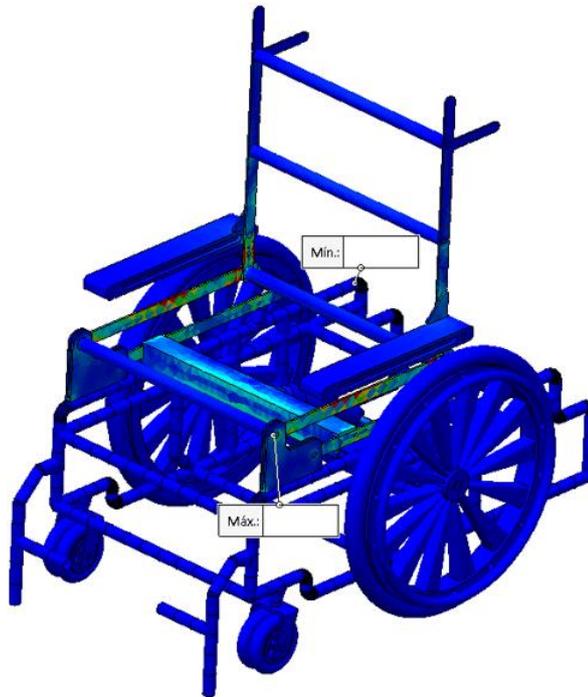


Figura 1-4: Convergencia de resultados

Realizado por: (Batallas David, 2021)

Se tabula los resultados para el estado de esfuerzos de Von Miseses, desplazamientos y factor de seguridad, para poder realizar la convergencia de resultados utilizamos Excel para poder graficar estos datos.

Tabla 1-4: Resultados para los diferentes tipos de mallados

Tamaño (mm)	Nodos	Esfuerzo (MPa)	Desplazamientos (mm)	Factor de seguridad
20	131689	125,7	0,1835	1,988
18	134128	128,5	0,1881	1,946
16	135549	127,3	0,1887	1,964
14	140544	126,8	0,1876	1,972
12	149924	123,9	0,1871	2,018
10	164920	130,6	0,1832	1,914
8	213958	126,1	0,1728	1,982
6	349821	130	0,1521	1,924
5	556271	133,6	0,1849	1,869
4	1006165	133,2	0,1847	1,871
3	2130169	133,5	0,1848	1,872

Realizado por: (Batallas David, 2021)

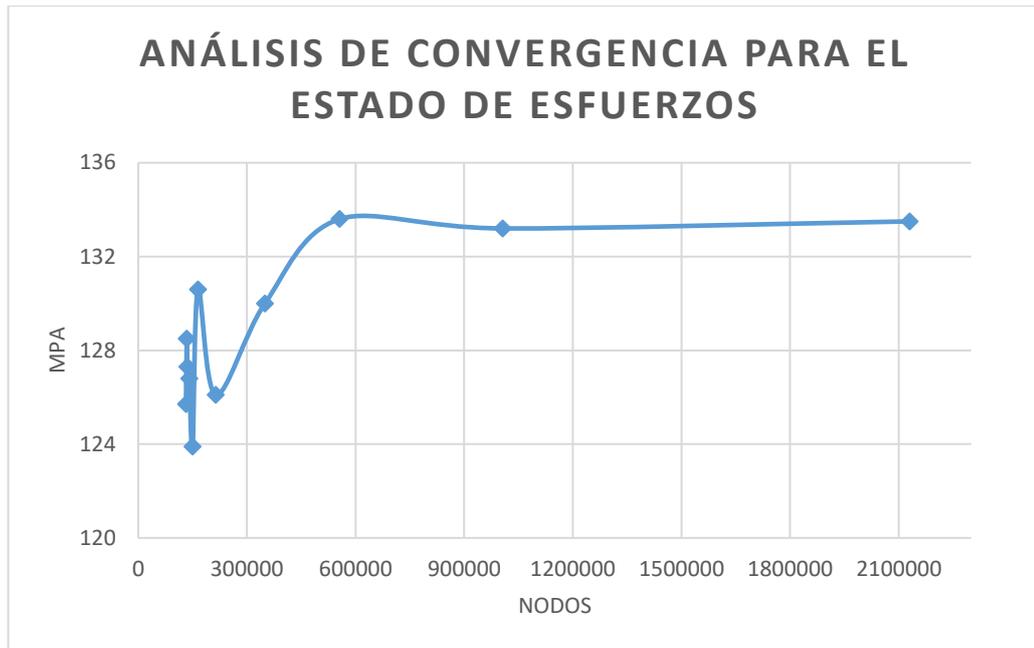


Gráfico 6-4: Gráfica nodos vs esfuerzos del prototipo

Realizado por: (Batallas David, 2021)

El gráfico 6-4 nos da un resultado medio de 133 Mpa, este resultado tiende a linealizarse a partir de los 900000 nodos aproximadamente,

4.2.2. Eje del actuador

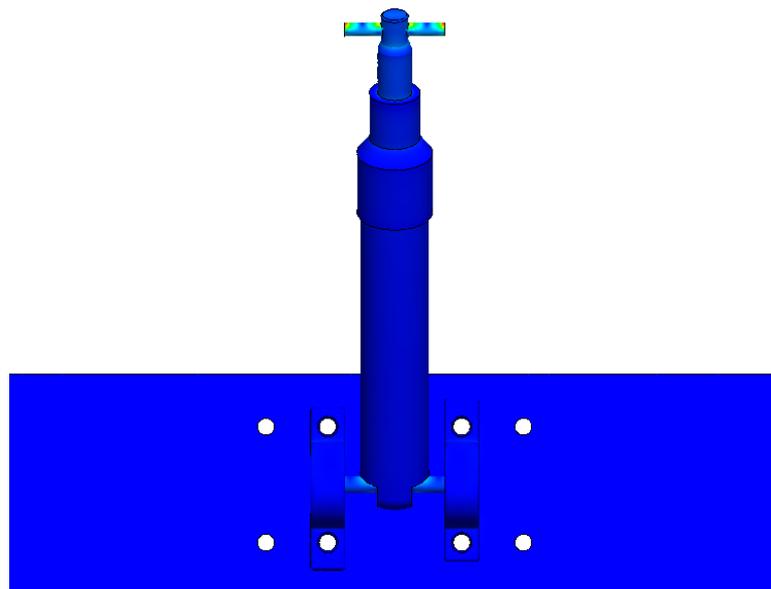


Figura 2-4: Convergencia de Eje que utiliza el actuador

Realizado por: (Batallas David, 2021)

Se tabula los resultados para el estado de esfuerzos de Von Mises, desplazamientos y factor de seguridad, todo esto aplicado al eje del actuador, para poder realizar la convergencia de resultados utilizamos Excel, con este programa se procede a graficar los datos obtenidos para los diferentes tipos de calidad de malla.

Tabla 2-4: Resultados para los diferentes tipos de mallados en el eje

Tamaño (mm)	Nodos	Esfuerzo (MPa)	Desplazamientos (mm)	Factor de seguridad
20	46100	61,59	0,006	4,059100503
18	51096	48,36	0,005	5,169561621
16	59876	47,56	0,005	5,256518082
14	64389	50,93	0,005	4,908698213
12	77849	51,21	0,005	4,881859012
10	100023	51,42	0,005	4,861921431
8	148643	55,11	0,005	4,536381782
6	171507	56,79	0,005	4,402183483
5	192467	56,69	0,005	4,409948845
4	302557	53,89	0,005	4,639079607
3	473674	54,65	0,005	4,574565416

Realizado por: (Batallas David, 2021)

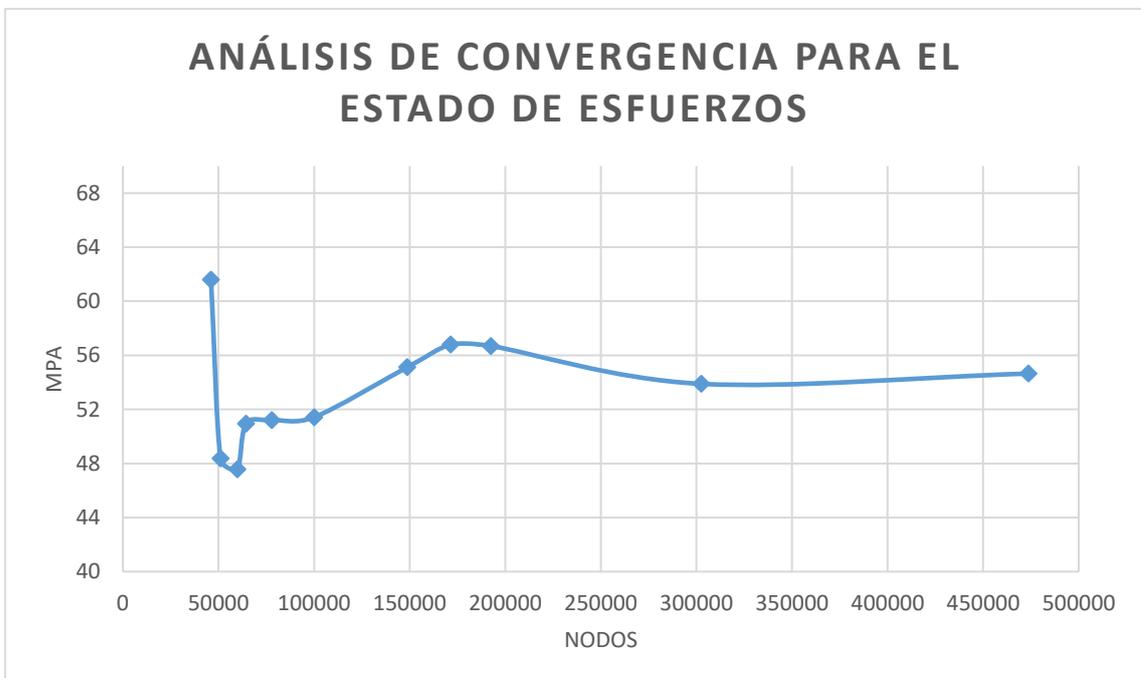


Gráfico 7-4: Gráfica nodos vs esfuerzos en el eje

Realizado por: (Batallas David, 2021)

CONCLUSIONES

- En la revisión bibliográfica al comparar los diferentes tipos de sillas bipedestadoras y sus respectivos mecanismos, se determinó que el mecanismo de cuatro barras el más sencillo y adaptable para proporcionar una bipedestación eficiente mediante un actuador lineal eléctrico.
- Considerando las distintas referencias de la casa de la calidad se encontró un modelo apto para la silla bipedestadora, con referencia a las condiciones antropométricas y criterio ingenieril se comparó las características dimensionales, el mecanismo de cuatro barras del caso especial de Grashof y su estructura.
- Al analizar el modelo mediante una simulación en solidworks con diferentes tipos de mallas y bajo las cargas establecidas en el prototipo durante su ejecución en los 20 segundos que tarda en realizar la bipedestación, obtenemos después de una convergencia de malla a los 900000 nodos, los datos de esfuerzo máximo mediante Von Miseses, los desplazamientos y el factor de seguridad, los cuales están en un rango aceptable para el prototipo, además se obtuvo los datos de velocidad, posición y aceleración al momento de realizar la bipedestación, los que se comparó en Matlab y Adams para validar los mismos.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda implementar sensores como fines de carrera los cuales emitan un ruido así la persona tiene una mejor percepción de la posición en la que se encuentra al momento de realizar la bipedestación
- El control del movimiento del actuador lineal se recomienda que sea inalámbrico, para que en un momento dado una tercera persona le pueda asistir al usuario a realizar la bipedestación,
- Los arneses deben ser acolchonados para una mejor sensación en la persona, ya que si son muy rígidos pueden llegar a incomodar al momento de realizar la bipedestación.
- La silla bipedestadora, está diseñada para superficies planas, se recomienda usarla solo en estas condiciones ya que si se la usa en superficies inclinadas puede llegar a volcarse.
- Para futuros trabajos se puede considerar añadir un controlador para los ángulos de inclinación.

GLOSARIO.

Bipedestación: Se denomina bipedestación a la posición que adopta aquel que se encuentra de pie. Dicho de manera más precisa, la bipedestación es la capacidad de pararse y desplazarse sobre las dos extremidades inferiores. (Real Academia Española, 2021)

Mecanismo: Conjunto de las partes de una máquina en su disposición adecuada. (Real Academia Española, 2021)

Esfuerzo: Es una fuerza que actúa sobre el área unitaria en la que se aplica, existen esfuerzos de tensión, flexión, compresión y cortantes. La deformación unitaria se define como el cambio de dimensión por unidad de longitud. (Ingeniería virtual, 2021)

Factor de seguridad: En el contexto de la ingeniería tradicionalmente el factor de seguridad FS ha sido definido como la relación entre la resistencia y la fuerza o acción sobre un elemento. (Integral, 2021)

Antropometría: La antropometría es una técnica que nos permite analizar la composición corporal y la proporcionalidad de cada persona para conocer cómo afecta a su rendimiento. (Nutrición deportiva, 2021)

BIBLIOGRAFÍA.

AGUILAR, A. Diseño de una silla de ruedas bipeda para personas con discapacidad motriz de las extremidades inferiores (Trabajo de titulación). (Pregrado). [En línea] Universidad Tecnológica del Perú, Facultad de Ingeniería, Ingeniería Mecatrónica. Lima-Perú. 2020. Pp 71-83. [Consulta: 2021-06-05]. Disponible en: https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/3606/Alex%20Aguilar_Trabajo%20de%20Suficiencia%20Profesional_Titulo%20Profesional_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y

AVILEZ SANCHEZ, O; et al. “Silla de ruedas Multifuncional”, *8º congreso iberoamericano de ingeniería mecánica* [En línea], 2007, (Perú) 8(1), pp 1-6. [Consulta: 31 Mayo 2021]. Disponible en: <https://congreso.pucp.edu.pe/cibim8/pdf/19/19-41.pdf>

BARBERO PALACIOS, Jhonny Israel, & ORTEGA BUSTAMANTE, Luis Alexis. Diseño y construcción de una silla bipedestadora para personas con movilidad restringida grado IV en las extremidades inferiores con una capacidad de carga de 100 kg. (Trabajo de titulación). (Pregrado). [En línea] Universidad politécnica salesiana sede Quito, Ingeniería, Ingeniería Mecánica. Quito-Ecuador. 2015. pp 61-72. [Consulta: 2021-05-30]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/11394/3/UPS-KT01207.pdf>

CASTANIER MUÑOZ, Diego Martín, & MENDÍA IDROVO, Erika Viviana. Diseño, construcción e implementación de una silla de ruedas eléctrica plegable para una persona con problemas de movilidad. (Trabajo de titulación). (Pregrado). [En línea] Universidad politécnica salesiana sede Cuenca, Ingeniería, Ingeniería Mecánica. Cuenca-Ecuador. 2018. pp 43-62. [Consulta: 2021-05-29]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/16102/1/UPS-CT007797.pdf>

CONADIS, *Estadísticas de Discapacidad–Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades* [blog]. [Consulta: 30 Mayo 2021]. Disponible en: <https://www.consejodiscapacidades.gob.ec/estadisticas-de-discapacidad/>

Actuador lineal Ecoworthy [blog]. [Consulta: 29 julio 2021]. Disponible en: <https://www.ecoworthy.com/collections/home-linear-actuators/products/linear-actuator-12v-1500n-2-4-6-8-10-12-14-16-18-50mm-450mm-motor-door-opener?variant=31807295946804>

Arnés sin cremallera [blog], [Consulta: 28 julio 2021]. Disponible en: <https://www.ortopedialopez.com/tienda/arnes-de-sujecion/arnes-chaleco-sin-cremallera/>

Medical Silla bipedestadora LCEV [blog], 2020. [Consulta: 30 mayo 2021]. Disponible en: <https://espanol.lohmedical.com/p/silla-bipedestadora-lcev/>

MOTT, R. *Resistencia de materiales* [en línea]. 5ª Ed. Naucalpan-México: Pearson Educación, 2009. [Consulta: 14 julio 2021]. Disponible en: https://www.academia.edu/44116009/Resistencia_de_Materiales_5ta_Ed_ROBERT_L_MOTT

NORTON, R. *Diseño de maquinaria* [en línea]. 4ª Ed. México, D.F. McGraw-Hill/Interamericana editores, S.A DE C.V. 2009. [Consulta: 20 julio 2021]. Disponible en: <https://sbunefm.files.wordpress.com/2018/10/disec3b1o-de-maquinaria-robert-l-norton-4.pdf>

OMS. *Informe mundial sobre la discapacidad* [en línea]. 2011. Disponible en: https://www.who.int/disabilities/world_report/2011/summary_es.pdf

PERRY, L. *Beneficios de utilizar silla de ruedas bipedestadora* [blog]. 17 enero, 2014. [Consulta: 30 mayo 2021]. Disponible en: <https://espanol.lohmedical.com/noticias/beneficios-de-utilizar-silla-de-ruedas-bipedestadora/>

REAL ACADEMIA ESPAÑOLA. Bipedestación | Definición | *Diccionario de la lengua española* | RAE - ASALE. [blog]. 2021a [Consulta: 31 julio 2021]. Disponible en: <https://dle.rae.es/disoluci%C3%B3n?m=form>.

REAL ACADEMIA ESPAÑOLA. Mecanismo | Definición | *Diccionario de la lengua española* | RAE - ASALE. [blog]. 2021a [Consulta: 07 Agosto 2021]. Disponible en: <https://dle.rae.es/mecanismo>

SAAVEDRA, R; et al. "Diseño de un equipo de bipedestación". *Revista INGENIERÍA UC* [en línea], 2013, (Venezuela). 20(1), pp. 25-33. [Consulta: 30 mayo 2021]. ISSN 1316-6832. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/707/70732640004.pdf>

SENADIS. *Elementos silla de ruedas silla de ruedas con mecanismo de bipedestación*. 2015, [Fecha de consulta: 30 mayo 2021]. Disponible en: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjXgMP2rb_2AhU7TjABHTJ0C3UQFnoECACQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.senadis.gob.cl%2

Fdescarga%2Fi%2F6005&usg=AOvVaw3CJ7ofYb5FDIwf30kLz1Fr

TAMBACO, O. Construcción de una silla de ruedas eléctrica para bipedestación (Trabajo de titulación) (pregrado). [en línea] Universidad técnica del norte, Ibarra-Ecuador. 2017. pp. 34-42. [Consulta: 01 mayo 2021]. Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/7205/1/04%20MEC%20171%20TRABAJO%20DE%20GRADO%201.pdf>

ANEXOS

ANEXO A: Propiedades de acero estructural

Clasificación de los aceros, según ASTM	Límite elástico		Tensión de rotura	
	Ksi	MPa	Ksi	Mpa
ASTM A36	36	250	58-80	400-550
ASTM A53 Grado B	35	240	>60	>415
ASTM A106 Grado B	35	240	>60	>415
ASTM A131 Gr A, B, CS, D, DS, E	34	235	58-71	400-490
ASTM A139 Grado B	35	240	>60	>415
ASTM A381 Grado Y35	35	240	>60	>415
ASTM A500 Grado A	33	228	>45	>310
Grado B	42	290	>58	>400
ASTM A501	36	250	>58	>400
ASTM A516 Grado 55	30	205	55-75	380-515
Grado 60	32	220	60-80	415-550
ASTM A524 Grado I	35	240	60-85	415-586
Grado II	30	205	55-80	380-550
ASTM A529	42	290	60-85	415-550
ASTM A570 Grado 30	30	205	>49	>340
Grado 33	33	230	>52	>360
Grado 36	36	250	>53	>365
Grado 40	40	275	>55	>380
Grado 45	45	310	>60	>415
Grado 50	50	345	>65	>450
ASTM A709 Grado 36	36	250	58-80	400-550
API 5L Grado B	35	240	60	415
Grado X42	42	290	60	415

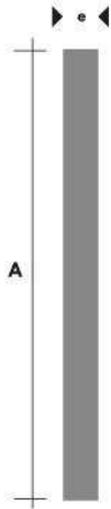
ANEXO B: Propiedades mecánicas de pernos

Tabla 8-11

Clases métricas de propiedad mecánica de pernos, tornillos y birlos de acero*

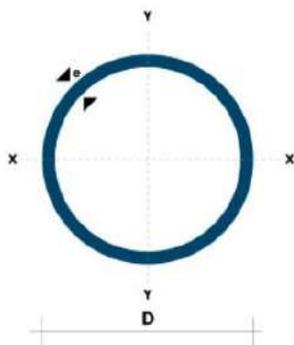
Clase de propiedad	Intervalo de tamaños, inclusive	Resistencia de prueba mínima, [†] MPa	Resistencia mínima a la tensión, [†] MPa	Resistencia mínima a la fluencia, [†] MPa	Material	Marca en la cabeza
4.6	M5-M36	225	400	240	Acero de bajo o medio carbono	
4.8	M1.6-M16	310	420	340	Acero de bajo o medio 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	

ANEXO C: Propiedades perfil estructural



Denominación	Dimensiones		Peso		Área
	mm		kg/m	kg/6m	cm ²
	A	e			
PLT 12X3	12	3	0.28	1.70	0.36
PLT 12X4	12	4	0.38	2.45	0.48
PLT 12X6	12	6	0.57	3.40	0.72
PLT 19X3	19	3	0.45	2.68	0.57
PLT 19X4	19	4	0.60	3.58	0.76
PLT 19X6	19	6	0.89	5.37	1.15
PLT 25X3	25	3	0.59	3.53	0.75
PLT 25X4	25	4	0.79	4.71	1.00
PLT 25X6	25	6	1.18	7.07	1.50
PLT 25X12	30	3	0.71	4.24	0.90
PLT 30X4	30	4	0.94	5.65	1.20
PLT 30X6	30	6	1.41	8.47	1.80
PLT 30X9	30	9	2.12	12.71	2.70
PLT 30X12	30	12	2.83	16.95	3.60
PLT 38X3	38	3	0.89	5.37	1.15
PLT 38X4	38	4	1.19	7.16	1.52
PLT 38X6	38	6	1.79	11.40	2.28
PLT 38X9	38	9	2.69	16.11	3.42
PLT 38X12	38	12	3.58	21.48	4.56
PLT 50X3	50	3	1.18	7.08	1.50
PLT 50X4	50	4	1.58	9.42	2.00
PLT 50X6	50	6	2.26	14.16	3.00
PLT 50X9	50	9	3.53	21.20	4.50
PLT 50X12	50	12	4.71	28.26	6.00
PLT 65X6	65	6	3.06	18.37	3.90
PLT 65X9	65	9	4.59	27.55	5.85
PLT 65X12	65	12	6.12	36.73	7.80
PLT 75X6	75	6	3.53	21.20	4.50
PLT 75X9	75	9	5.30	31.80	6.75
PLT 75X8	75	8	7.07	28.26	9.00
PLT 75X12	75	12	7.07	42.39	9.00
PLT 100X6	100	6	4.71	28.26	6.00
PLT 100X8	100	8	7.07	37.68	9.00
PLT 100X9	100	9	7.07	43.00	9.00
PLT 100X12	100	12	9.42	58.00	12.00
PLT 120X12	120	12	67.82	67.82	14.40
PLT 150X15	150	15	105.88	105.88	22.50
PLT 150X20	150	20	145.44	145.00	30.00

*Otras calidades, largos y acabados: previa consulta



(D) Diámetro	Espesor	Peso	Área	I	W	I
Pulgadas	mm	Kg/m	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm ³
7/8"	1.50	0.77	0.98	0.53	0.47	0.73
1"	1.50	0.88	1.13	0.81	0.64	0.85
1 1/4"	1.50	1.12	1.43	1.63	1.03	1.07
1 1/2"	1.50	1.35	1.72	2.89	1.52	1.30
1 3/4"	1.50	1.59	2.02	4.67	2.10	1.52
2"	1.50	1.82	2.32	7.06	2.78	1.74
2 1/2"	1.50	2.29	2.92	14.05	4.42	2.19
3"	1.50	2.76	3.52	24.56	6.45	2.64
1"	2.00	1.15	1.47	1.01	0.80	0.83
1 1/4"	2.00	1.47	1.87	2.08	1.31	1.05
1 1/2"	2.00	1.78	2.27	3.71	1.95	1.29
1 3/4"	2.00	2.09	2.67	6.02	2.71	1.50
2"	2.00	2.41	3.07	9.14	3.60	1.73
2 1/2"	2.00	3.03	3.86	18.29	5.76	2.18
3"	2.00	3.66	4.66	32.11	8.43	2.62
2"	3.00	3.54	4.51	12.92	5.09	1.69
2 1/2"	3.00	4.48	5.70	26.15	8.24	2.14
3"	3.00	5.42	6.90	46.29	12.15	2.59

ANEXO D: Código de Matlab

```

1 function [f]=Newton_Mecanismo(x)
2 global OF s OE ED
3 o3=x(1);
4 o2=x(2);
5 f(1)=OF*cosd(0)-OE*cosd(90)+s*cosd(o2)-ED*cosd(o3);
6 f(2)=OF*sind(0)-OE*sind(90)+s*sind(o2)-ED*sind(o3);
7 end

1 clc
2 clear vars
3 clf
4 global OF s OE ED
5 %%PARAMETROS
6 OF=226;
7 OE=254;
8 ED=100;
9 EC=440;
10 sp=5.7; %velocidad actuador mm/s
11 %%COORDENADAS DE CONTROL
12 so=254;
13 sf=420;
14 %%PARAMETROS
15 n=400;
16 inc=(sf-so)/n;
17 xi=[0 144];
18 for i=1:n+1
19     if i==1
20         s=so;
21     else
22         s=s+inc;
23     end
24     q=fsolve(@Newton_Mecanismo,xi);
25     %%POSICION
26     o3(i,1)=q(1,1);
27     o2(i,1)=q(1,2);
28     carrera(i,1)=s;
29     dex(i,1)=ED*cosd(o3(i,1));
30     dey(i,1)=254+ED*sind(o3(i,1));
31     dcx(i,1)=EC*cosd(o3(i,1));
32     dcy(i,1)=254+EC*sind(o3(i,1));
33     J(i,1)=det([-ED*sind(q(1,1)) -1; ED*cosd(q(1,1)) 0]);
34
35     %%VELOCIDAD
36     A=[ED*sind(o3(i,1)) -s*sind(o2(i,1));
37        -ED*cosd(o3(i,1)) s*cosd(o2(i,1))];
38     B=[-sp*cosd(o2(i,1));
39        -sp*sind(o2(i,1))];
40     x=inv(A)*B;
41     o3p(i,1)=x(1,1);
42     o3p(i,1)=o3p(i,1)*180/pi;
43     o2p(i,1)=x(2,1);
44     vecx=-EC*sind(o3(i,1))*o3p(i,1);
45     vecy=EC*cosd(o3(i,1))*o2p(i,1);
46     VC(i,1)=sqrt(vecx^2+vecy^2);
47
48     %%ACELERACIÓN
49     Ba=[2*sp*sind(o2(i,1))*o2p(i,1)+s*cosd(o2(i,1))*(o2p(i,1))^2-ED*cosd(o3(i,1))*o3p(i,1))^2
50         -2*sp*cosd(o2(i,1))*o2p(i,1)+s*sind(o2(i,1))*(o2p(i,1))^2-ED*sind(o3(i,1))*o3p(i,1))^2];
51     xx=inv(A)*Ba;
52     o3pp(i,1)=xx(1,1);
53     o3pp(i,1)=o3pp(i,1)*180/pi;
54     o2pp(i,1)=xx(2,1);
55     aecx=-EC*cosd(o3(i,1))*(o3p(i,1))^2-EC*sind(o3(i,1))*o3pp(i,1);
56     aecy=-EC*sind(o3(i,1))*o3p(i,1)^2+EC*cosd(o3(i,1))*o3pp(i,1);
57     aC(i,1)=sqrt(aecx^2+aecy^2);
58 end
59 %%POSICIONES
60 figure
61 subplot(1,2,1),plot(carrera,o3,'LineWidth',4),title('Diagrama cinemático carrera vs \Theta3'),xlabel('\bf carrera mm'),ylabel('\bf \theta3^{0}'),grid on
62 subplot(1,2,2),plot(dex,dey,dcx,dcy,'LineWidth',4),title('diagrama cinemático posiciones'),xlabel('\bf posicion x mm'),ylabel('\bf Posicion y mm'),grid on
63 figure
64 plot(carrera,J,'linewidth',4),title('Singularidad'),xlabel('\bf Carrera mm'),ylabel('J'),grid on
65 %%VELOCIDADES
66 figure
67 subplot(1,2,1),plot(carrera,o3p,'LineWidth',4),title('Diagrama cinemático carrera vs \omega3'),xlabel('\bf carrera mm'),ylabel('\bf \omega3'),grid on
68 subplot(1,2,2),plot(carrera,VC,'LineWidth',4),title('diagrama cinemático Velocidad'),xlabel('\bf Carrera mm'),ylabel('\bf Velocidad C mm/s'),grid on
69 %%ACELERACIONES
70 figure
71 subplot(1,2,1),plot(carrera,o3pp,'LineWidth',4),title('Diagrama cinemático carrera vs \alpha3'),xlabel('\bf carrera mm'),ylabel('\bf \alpha3'),grid on
72 subplot(1,2,2),plot(carrera,aC,'LineWidth',4),title('diagrama cinemático Aceleracion'),xlabel('\bf Carrera mm'),ylabel('\bf Aceleracion C mm/s^2'),grid on

```

ANEXO E: Actuador lineal eléctrico

	<p>Actuador lineal</p> <p>Corriente mínima: 0.8A</p> <p>Corriente máxima: 3A</p> <p>Velocidad: 5.7 mm / s</p> <p>Carga máxima: Empuje 1500N / 330LBS, Jale 1500N / 330LBS</p> <p>Ciclo de trabajo: 25%</p> <p>Interruptor de límite: Incorporado,</p> <p>Temperatura de operación preestablecida de fábrica : -25 °C - 65 °C</p> <p>Clase de protección: IP65</p> <p>Material: aleación de aluminio</p> <p>Conector trasero: Sin rotación</p>
---	--

ANEXO F: Controlador actuador lineal

Voltaje de entrada del **controlador**

inalámbrico 1 : 8V-35V

Voltaje de salida: 8V-35V

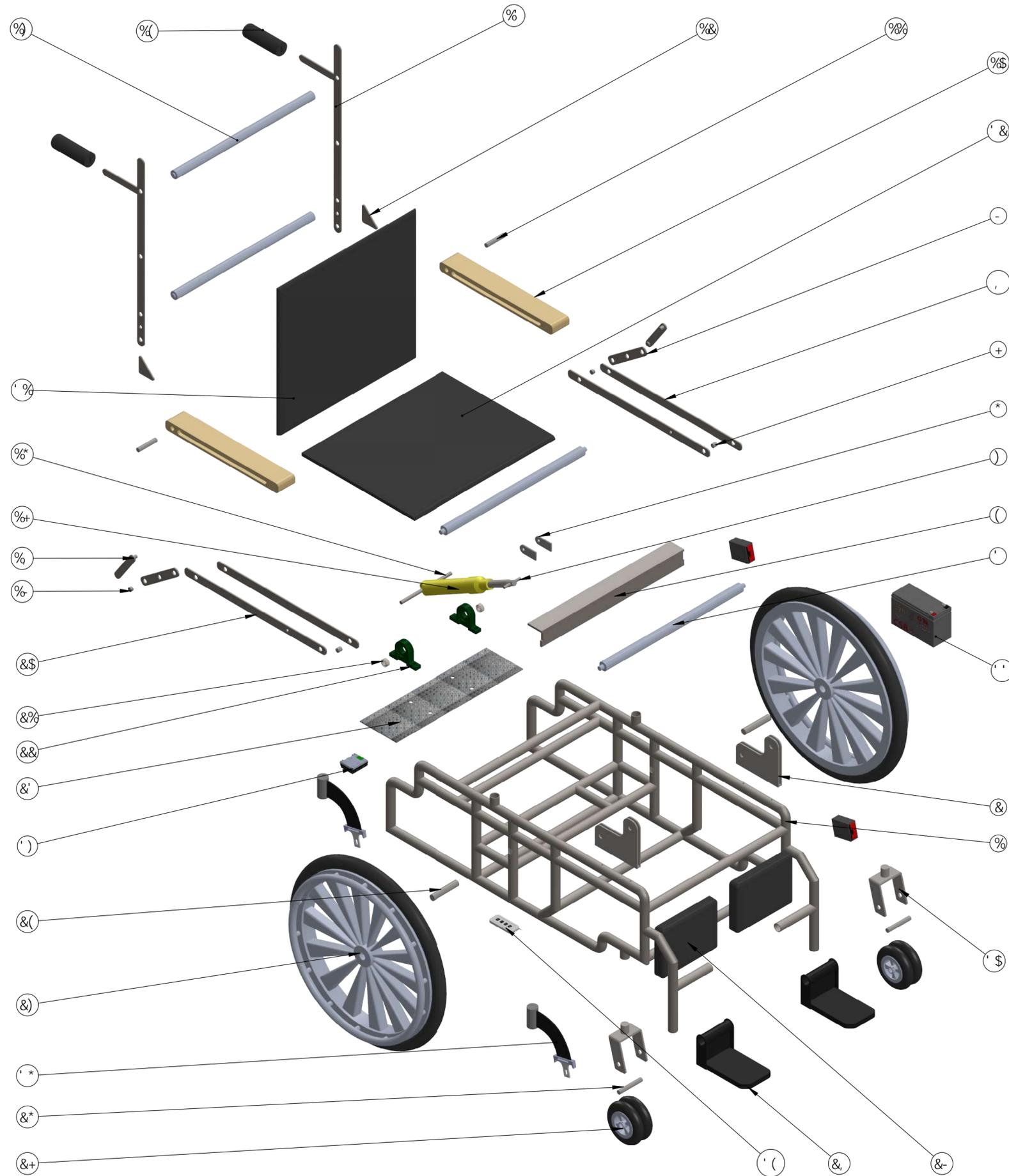
Amperios máximos: 10A

Prevención de la conexión posterior

Protección: sí

Distancia del control remoto: menos de 100M

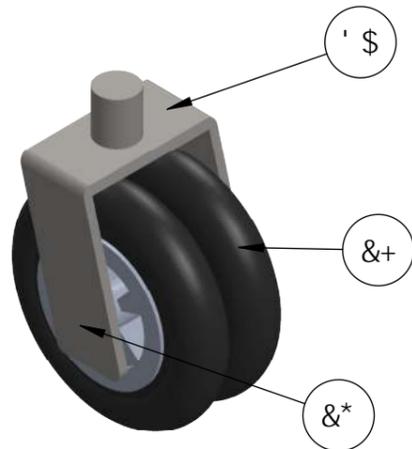
ANEXO G: Planos



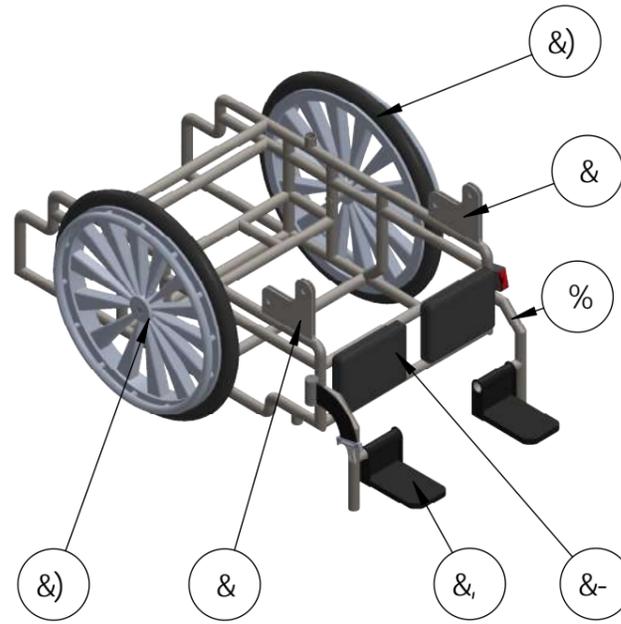
G	ΌΥΠΪΟΟΑΜΡΟΝΟΕΠΪΟΑ	V^ αααα &@ααα	H			
F	ΌΥΠΪΟΟΑΜΡΟΝΟΕΠΪΟΑ	Α^*g) Αα^fi	H			
F	ΌΥΠΪΟΟΑΜΡΟΝΟΕΠΪΟΑ	Α^*g) Αα^fi	H			
F	ΌΥΠΪΟΟΑΜΡΟΝΟΕΠΪΟΑ	Α^*g) Αα^fi	HH			FGX[]σ
Α	ΌΥΠΪΟΟΑΜΡΟΝΟΕΠΪΟΑ	Α^*g) Αα^fi	HG			F&J
F	ΌΥΠΪΟΟΑΜΡΟΝΟΕΠΪΟΑ	Α^*g) Αα^fi	HF			G&I
G	ΌΥΠΪΟΟΑΜΡΟΝΟΕΠΪΟΑ	Α^*g) Αα^fi	HE			ε&I
Γ	ΌΥΠΪΟΟΑΜΡΟΝΟΕΠΪΟΑ	Α^*g) Αα^fi	GJ			ε&I
Α	ΌΥΠΪΟΟΑΜΡΟΝΟΕΠΪΟΑ	Α^*g) Αα^fi	G			ε&I
Α	ΌΥΠΪΟΟΑΜΡΟΝΟΕΠΪΟΑ	Α^*g) Αα^fi	G			ε&I
G	ΌΥΠΪΟΟΑΜΡΟΝΟΕΠΪΟΑ	Α^*g) Αα^fi	G			ε&I
Α	ΌΥΠΪΟΟΑΜΡΟΝΟΕΠΪΟΑ	Α^*g) Αα^fi	G			ε&I
G	ΌΥΠΪΟΟΑΜΡΟΝΟΕΠΪΟΑ	Α^*g) Αα^fi	G			ε&I
F	ΌΥΠΪΟΟΑΜΡΟΝΟΕΠΪΟΑ	Α^*g) Αα^fi	GH			ε&I
Γ	ΌΥΠΪΟΟΑΜΡΟΝΟΕΠΪΟΑ	Α^*g) Αα^fi	GG			ε&I
G	ΌΥΠΪΟΟΑΜΡΟΝΟΕΠΪΟΑ	Α^*g) Αα^fi	GF			ε&I
G	ΌΥΠΪΟΟΑΜΡΟΝΟΕΠΪΟΑ	Α^*g) Αα^fi	GE			ε&I
G	ΌΥΠΪΟΟΑΜΡΟΝΟΕΠΪΟΑ	Α^*g) Αα^fi	FJ			ε&I
Α	ΌΥΠΪΟΟΑΜΡΟΝΟΕΠΪΟΑ	Α^*g) Αα^fi	FI			ε&I
F	ΌΥΠΪΟΟΑΜΡΟΝΟΕΠΪΟΑ	Α^*g) Αα^fi	FI			ε&I
F	ΌΥΠΪΟΟΑΜΡΟΝΟΕΠΪΟΑ	Α^*g) Αα^fi	FI			ε&I
G	ΌΥΠΪΟΟΑΜΡΟΝΟΕΠΪΟΑ	Α^*g) Αα^fi	FI			ε&I
G	ΌΥΠΪΟΟΑΜΡΟΝΟΕΠΪΟΑ	Α^*g) Αα^fi	FG			ε&I
G	ΌΥΠΪΟΟΑΜΡΟΝΟΕΠΪΟΑ	Α^*g) Αα^fi	FF			ε&I
G	ΌΥΠΪΟΟΑΜΡΟΝΟΕΠΪΟΑ	Α^*g) Αα^fi	FE			ε&I
Γ	ΌΥΠΪΟΟΑΜΡΟΝΟΕΠΪΟΑ	Α^*g) Αα^fi	J			ε&I
Γ	ΌΥΠΪΟΟΑΜΡΟΝΟΕΠΪΟΑ	Α^*g) Αα^fi	i			ε&I
G	ΌΥΠΪΟΟΑΜΡΟΝΟΕΠΪΟΑ	Α^*g) Αα^fi	i			ε&I
F	ΌΥΠΪΟΟΑΜΡΟΝΟΕΠΪΟΑ	Α^*g) Αα^fi	i			ε&I
F	ΌΥΠΪΟΟΑΜΡΟΝΟΕΠΪΟΑ	Α^*g) Αα^fi	i			ε&I
F	ΌΥΠΪΟΟΑΜΡΟΝΟΕΠΪΟΑ	Α^*g) Αα^fi	i			ε&I
G	ΌΥΠΪΟΟΑΜΡΟΝΟΕΠΪΟΑ	Α^*g) Αα^fi	H			ε&I
G	ΌΥΠΪΟΟΑΜΡΟΝΟΕΠΪΟΑ	Α^*g) Αα^fi	G			ε&I
F	ΌΥΠΪΟΟΑΜΡΟΝΟΕΠΪΟΑ	Α^*g) Αα^fi	F			ε&I
B ,XY d YnU	8 Ybca bU C&	B ,XY Bcfa U& V i c	A UHY U	B ,XY cfXYB	Bc XY a cXYc	DYgc ? [#] YnU CVgYfj U cbYg

P&N° o lpc< 3 f g 38	P&N° g lpc< 3	Uw&sw&lp<	Eg Hec&lp<	9 GDC7 < : 571 @458 '89 A97 & B=75		
Go clu" fexH'flecnuB gur qej Qf wge	Vgri hppq& 2; ; 48: 7: 96		F gpgq lpc&lp<	9G7I 9@ '89 '8B; 9B@F& 'A97 & B=75		
F c wq	P qo dtg	H r o c	H g e j c	N&UVC F G RCT VGU		
Ri q gew	Devcnu F0		44 B2 H243	R&uq M f _	Vqgt cpele	G&ncr
F l d w >	Devcnu F0		44 B2 H243	85	±20f" o o _	3<
T g x d >			47 B2 H243	O cvgt lenc< UGI —P F RUGS Q		
C r t q d >			47 B2 H243	P qo dtg f g l e j k q c U&n' d l e g f g u c l q t c d n f r t v		

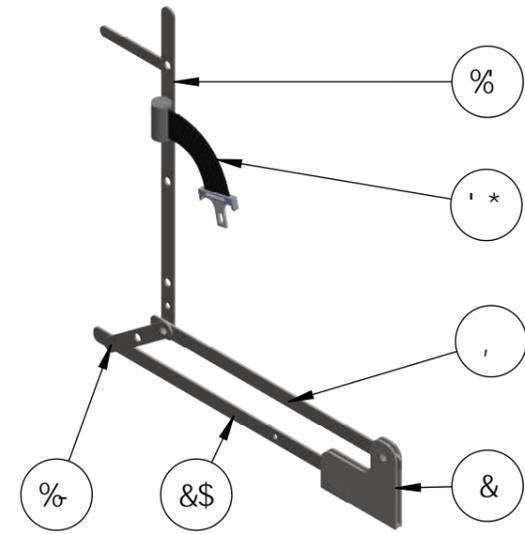




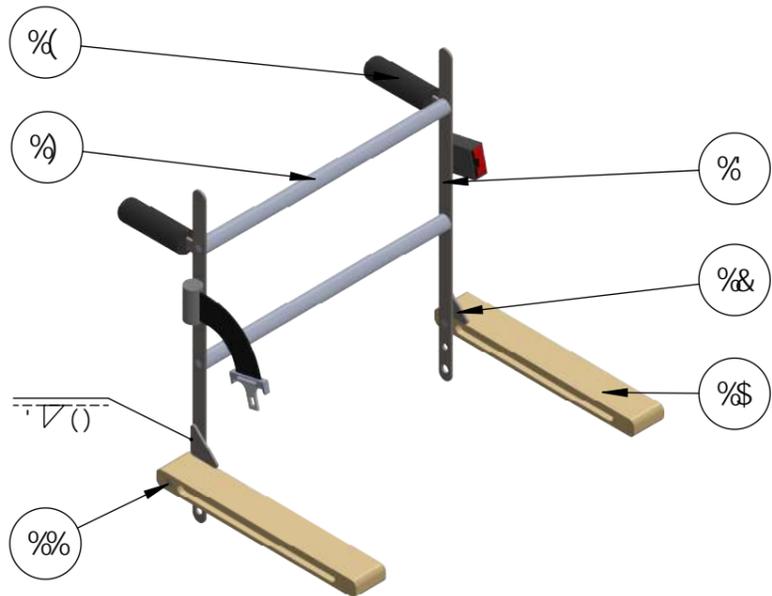
G9 '! '\$ \$ %



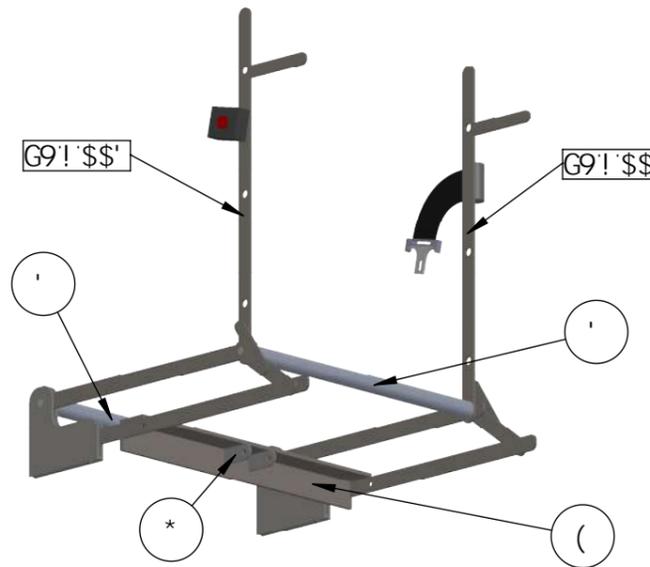
G9 '! '\$ \$ &



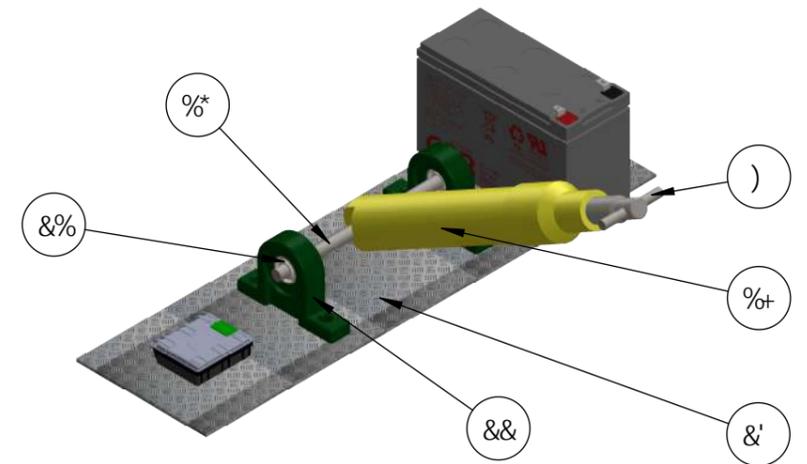
G9 '! '\$ \$'



G9 '! '\$ \$ (



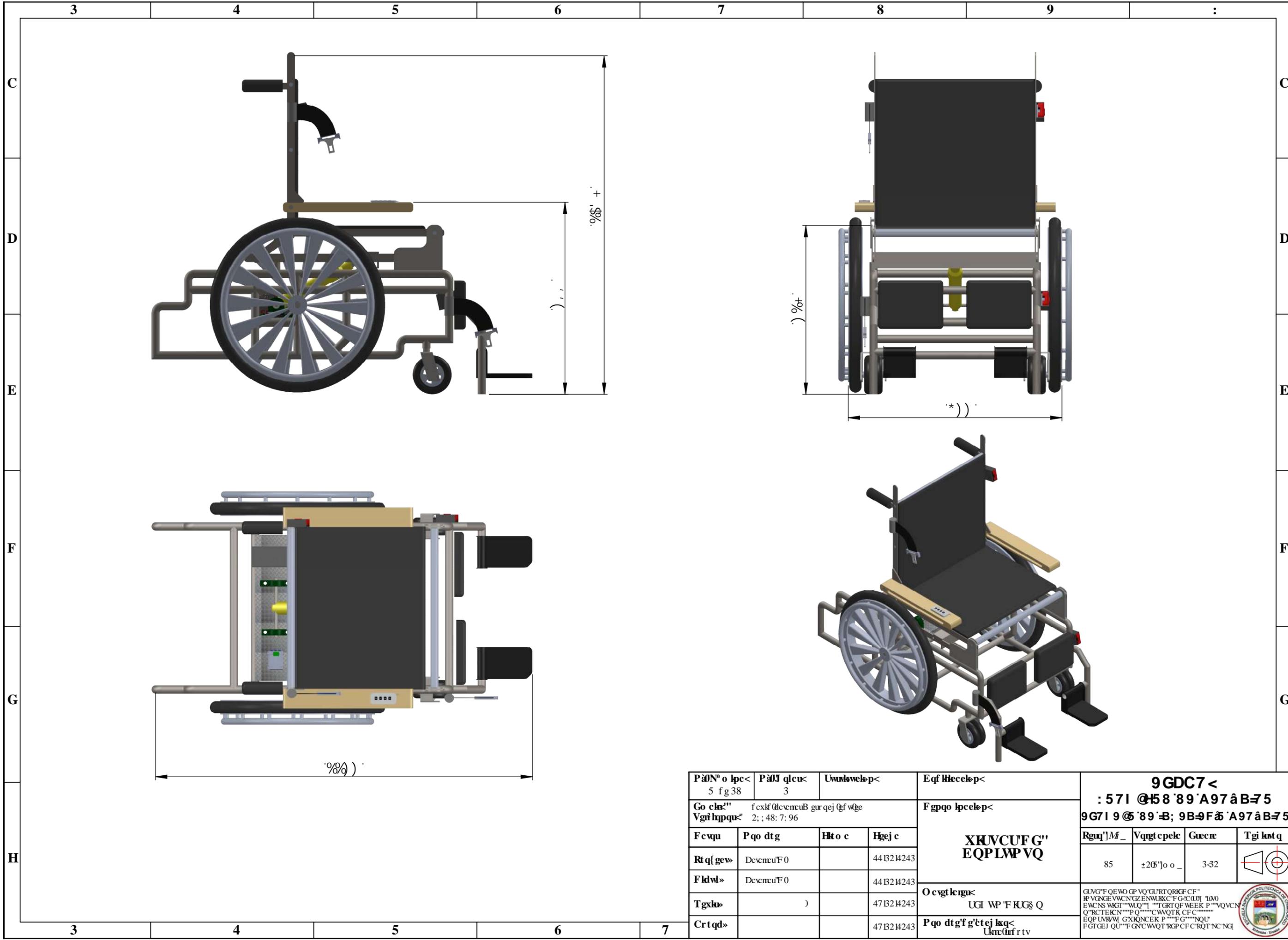
G9 '! '\$ \$)



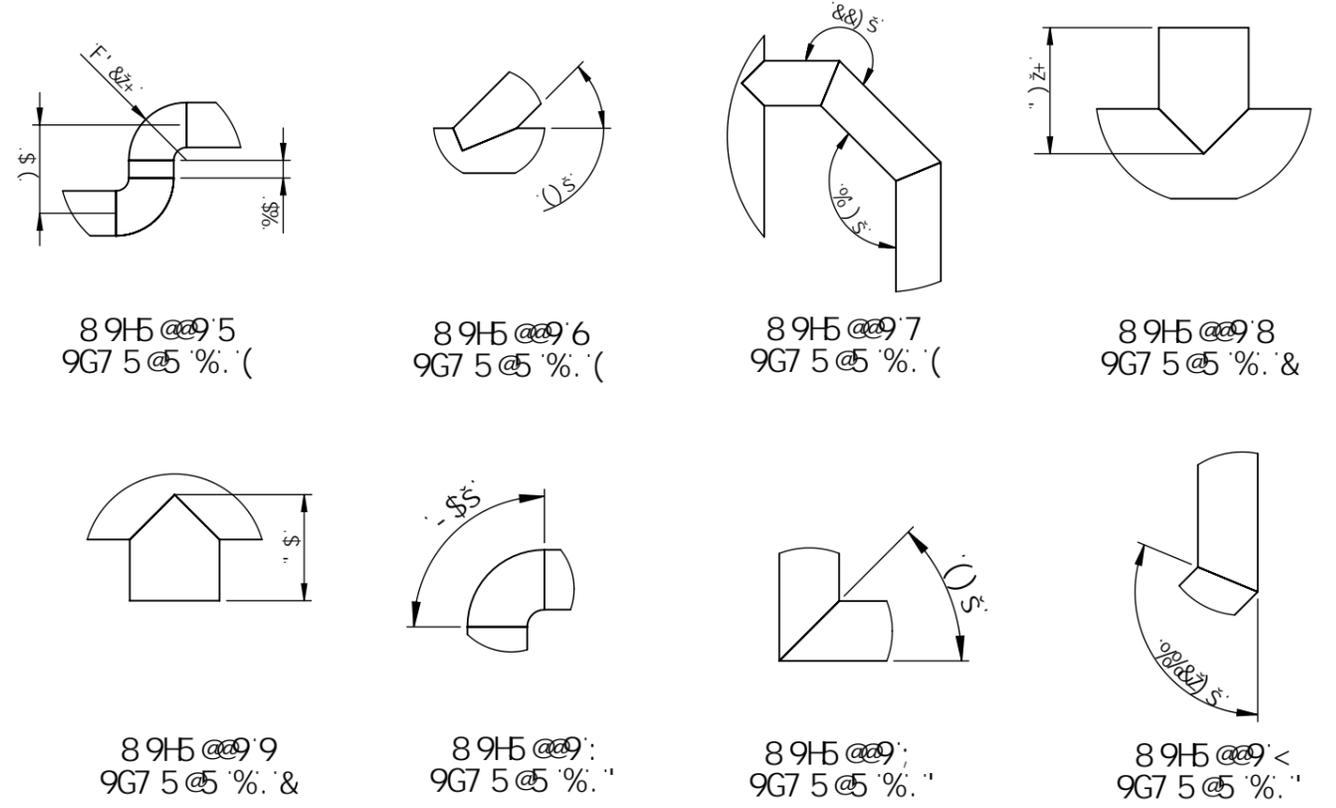
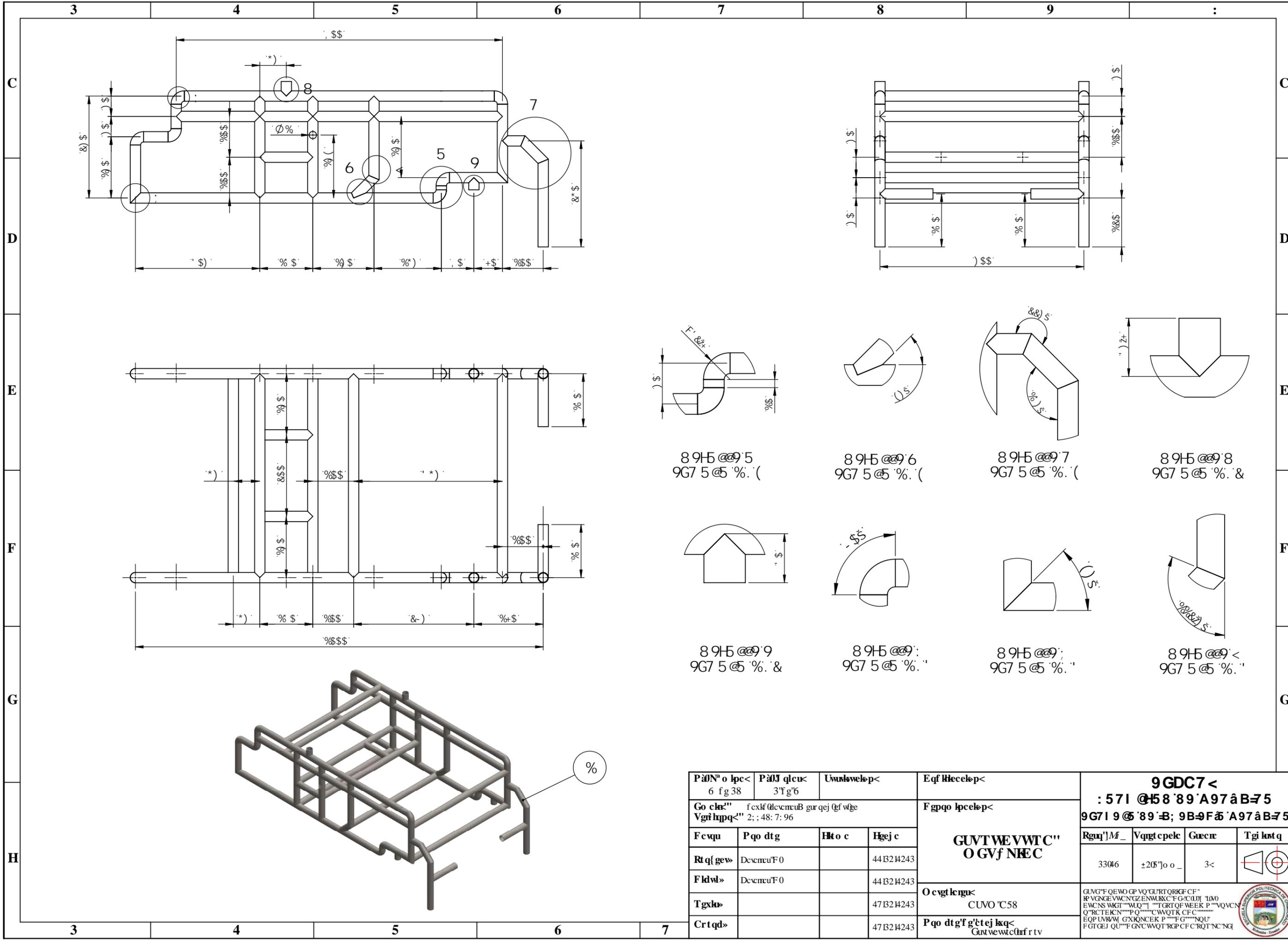
G9 '! '\$ \$ *

G9 . 'GI 6 9 BG5 A6 @

PáN ^o o lpc< 4 f g 38		PáJ qlcu< 3		Uwukwelo p<		Eqf Hlecelep<		9 GDC7 < : 571 @ 58 '89 'A97 â B=75 9G7I 9 @ '89 'B; 9B=9Fâ 'A97 â B=75			
Go ckt'' f cxf (lvcnuB gur qej qf wge Vgr hppqu< 2; : 48: 7: 96				Fgpqo lpclep<				Rguj'M_ Vqgt cpele Guecn Tgi knt q			
Fcvqu Pqo dtg Hto c Hgej c				WMDGPUCO DNGU				±205"jo o_ 3-33			
Rt qf gev» Dvcnu'F0				44B24243		O cvgt krgu<		GUNG'F QEWO GP VQ'GURTQRKFCF'' P VGNGEVWCN'GZ ENWUK'CF'G-C(LUJ' 10M0 EWCNS WGT''WUQ''''TGRTOF WEEK P''VQVCN Q'RCTEKN''PQ''''CWWQTR CFC'''''''''' EQP UVRW'GXIONCEK P''F'G''''NQU' FGTGEJ QU''F'GNC'WQT'RGP'CF'CRQI'NC'NG'			
Fldwl» Dvcnu'F0				44B24243		UGI WP 'F RUG§ Q					
Tgxl»)				47B24243		Pqo dtg'f g'ttej ksq<		Ukn'dlr gf gucf qtc0rf r tv			
Crtqd»				47B24243							

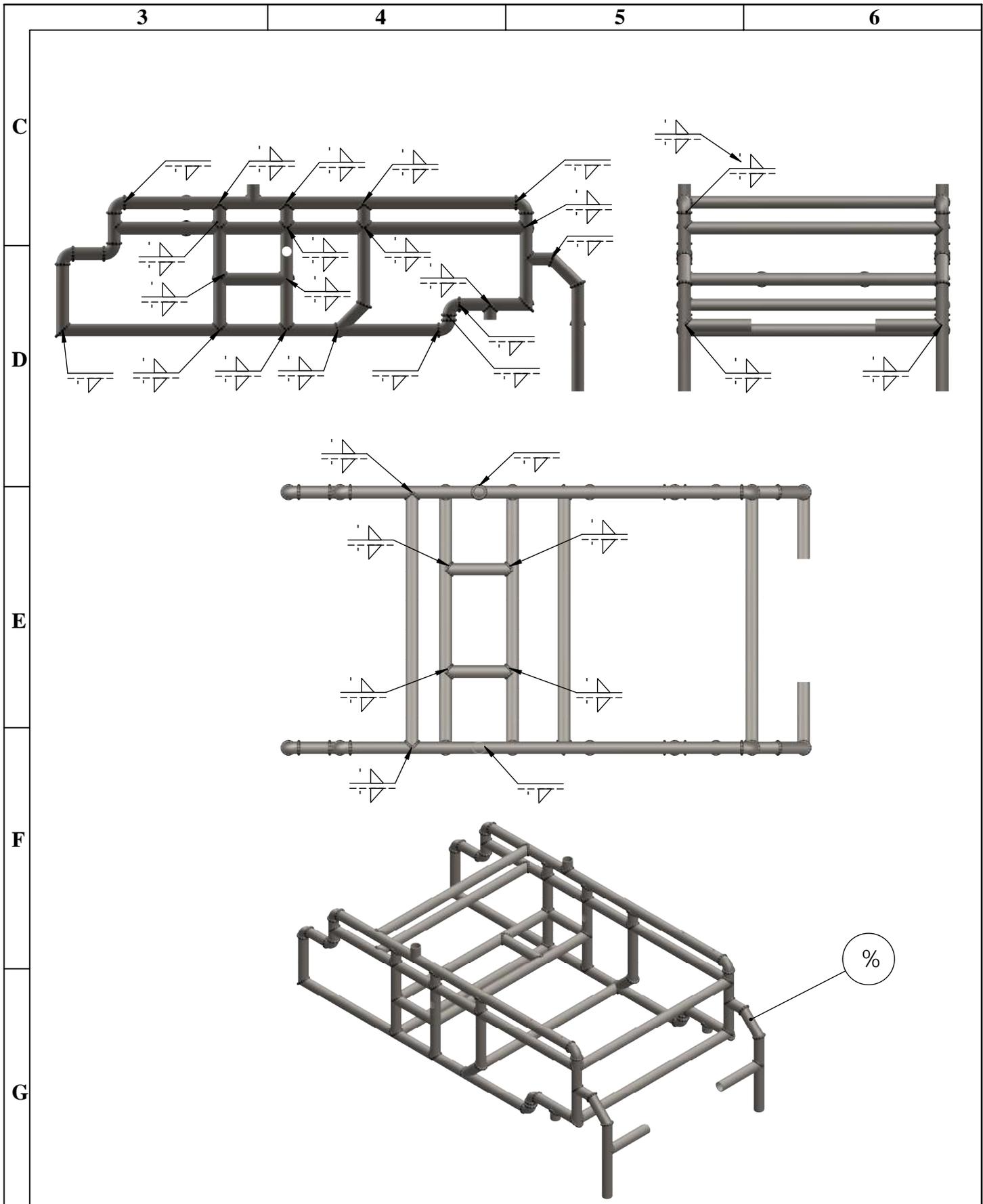


PāN ^o lpc< 5 f g 38		PāJ qlcu< 3		Uwukwelo<		Eqf Hlece<		9 GDC7 < : 571 @58 '89 'A97 â B=75 9G7I 9 @ '89 'B; 9B=9Fâ 'A97 â B=75			
Go ckt'' f ckl' QlcvnuB gur qej Qf w'ge Vgn' hppqu< 2; ; 48: 7: 96				F gpqo lpcelo<				XKUCU'FG'' EQPLWPVQ			
Fcvqu	Pqo dtg	Ht o c	Hgej c	O cvgt krgu< UGI WP 'F RUG§ Q				Rguq']M_	Vqgt cpele	Guecn	Tgi kst q
Rt qf gev»	Dcvnu'F 0		44 B24243					85	±205"jo o_	3-32	
Fldwl»	Dcvnu'F 0		44 B24243					<small>GUNG'F QEWO GP VQ'GURTQRKGF CF'' IP VGNCEVVCN'GZ ENWUK'CF'G:C(LU) '100 EWCNS WGT''WUQ''''TGRTOF WEEK P''VQVCN Q''RTE'KN''''PQ''''CWWQTR CFC'''' EOP UVRWJ GXIONCEK P''''F'G''''NQU' FGTGEJ QU''F'GNC'WQT'RGP CFC'RQT'NC'NG'</small>			
Tgxl»)		47 B24243								
Crt qd»			47 B24243	Pqo dtg'f g'ttej ksq< Umc'grf r tv							



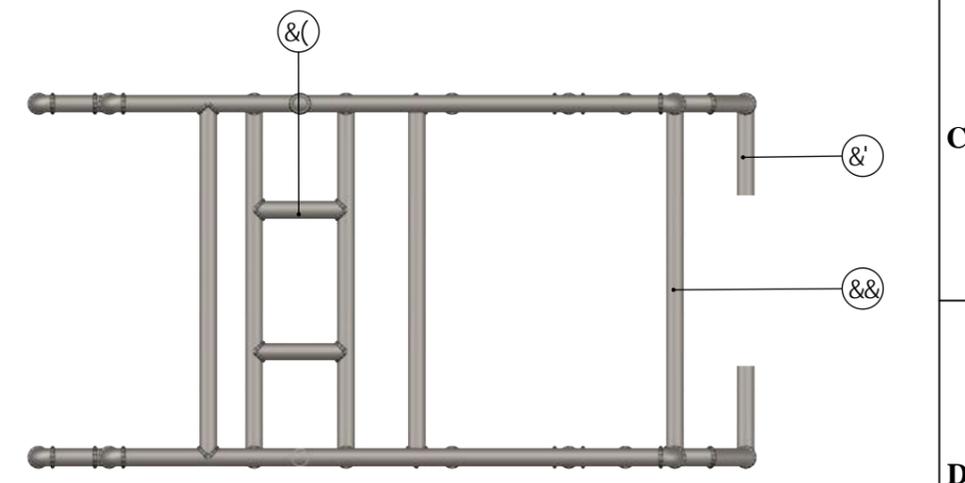
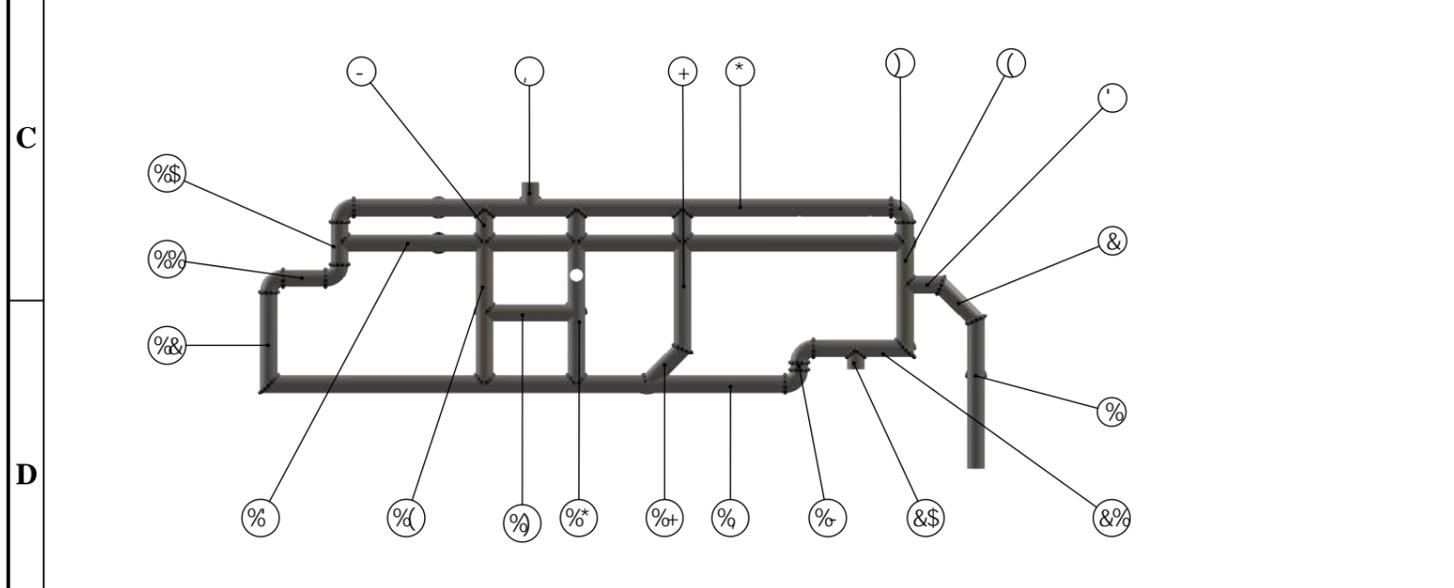
PãN ^o lpc< 6 f g 38		PãJ qlcu< 3'f'g'6		Uwukwelo<		Eqf Hlecelep<		9 GDC7 < : 571 @H58'89'A97âB75 9G7I 9 @'89'B; 9B9Fâ 'A97âB75			
Go clu'' f cxkf ðlcvcnuB gur qej Qf vðge Vgn' hppq<' 2; : 48: 7: 96						Fgpqo lpcelo<		GUVTWEVWTC'' O GVf NËC			
Fcvqu	Pqo dtg	Ht o c	Hgej c			Rguq'M_		Vqgt cpele	Guecn	Tgi knt q	
Rt qf gev»	DvcnuF0		44B24243			33046		±205''o o_	3<		
Fldwl»	DvcnuF0		44B24243								
Tgxl»			47B24243			O cvgt krgu<		GUNG'F QEWO GP VQ'GURTQRKGF CF'' ÆP VGNCEVWCN'GZENWUK'CF'G:C(LU) 100 EWCNS WGT''WUQ'''' TGRTOF WEEK P''VQVCN Q''RTEICN''''PQ''''C''WQTR CF C'' EQP UNB/W GXIONCEK P''''F G''''NQU' FGTGEJ QU''F GNC'WQTRGP CFC'RQT'NC'NG			
Crt qd»			47B24243			Pqo dtg'f g'ttej ksq<		GuntwewicQuf r tv			





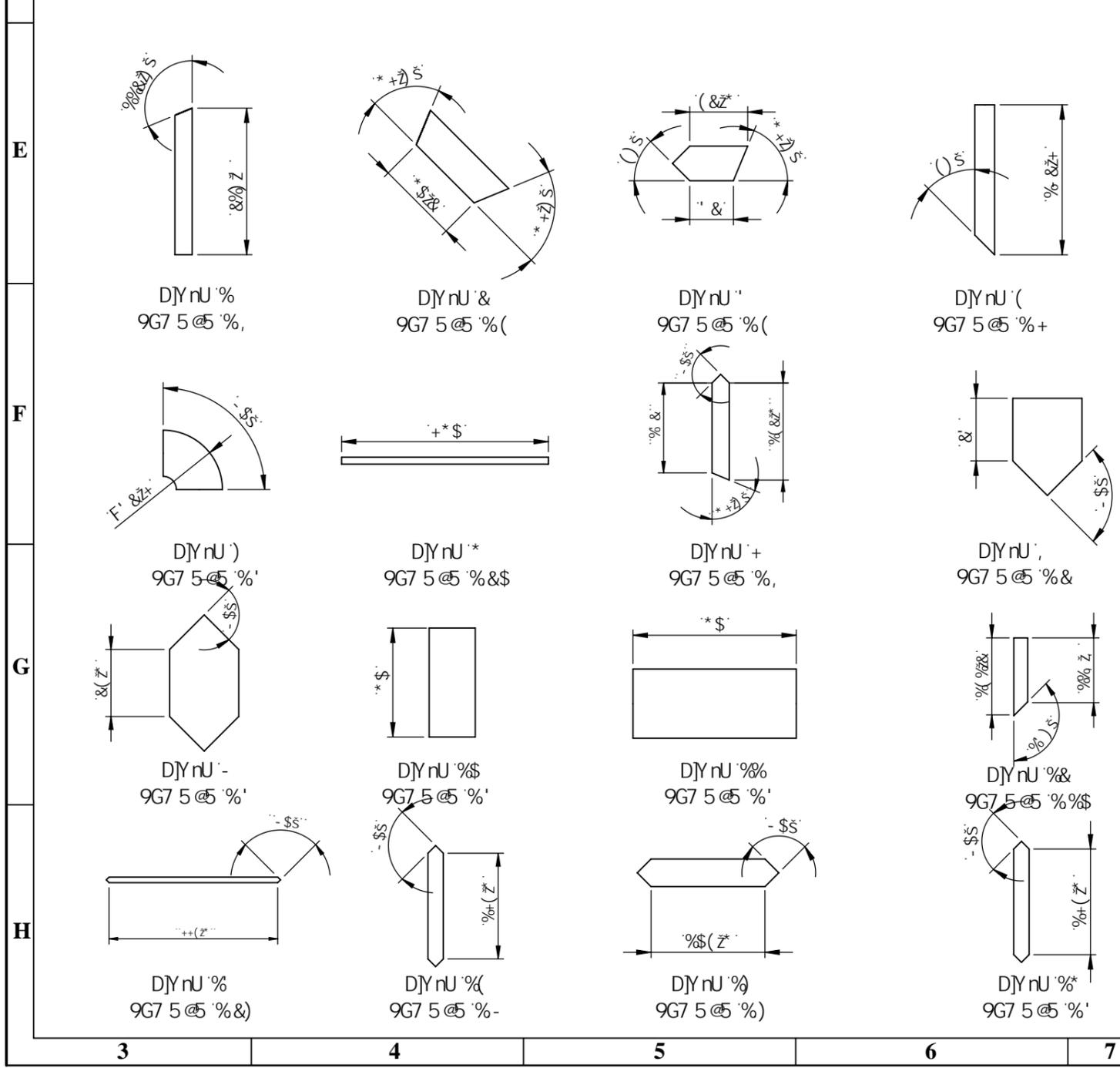
Pà0N° o lpc< 6 fg 38		Pà0J qlcu< 4'fg'6		Uwmswelo p<		Eqf Hlecelo p<		9 GDC7 < : 571 @H58'89'A97â B=7 5									
Go ckr'' f exkf @lvcnuB gur qej Qgf wQge Vgn' hppqu<' 2; ; 48: 7: 96						F gpqo lpcelo p<		9G7I 9 @ 89' -B; 9B-9Fâ 'A97â B=7 5									
F cwqu		P qo dtg		Hkto c		Hgej c		GUVT WE VVTC'' O GVf NRE C''		Rguq']M _		Vqrgt cpeke		Gæc nr		T gi km t q	
Rt qf gev»		Dvcnu'F0				44B24243				33046		±205"]o o _		3-32			
F kdlw»		Dvcnu'F0				44B24243											
Tgxla»						47B24243		O cvt kenguk CUVO 'C58									
Crt qd»						47B24243		P qo dtg'f'g'tej kxq< Gut wewtc dnf r tv									





89A 5HF-5G

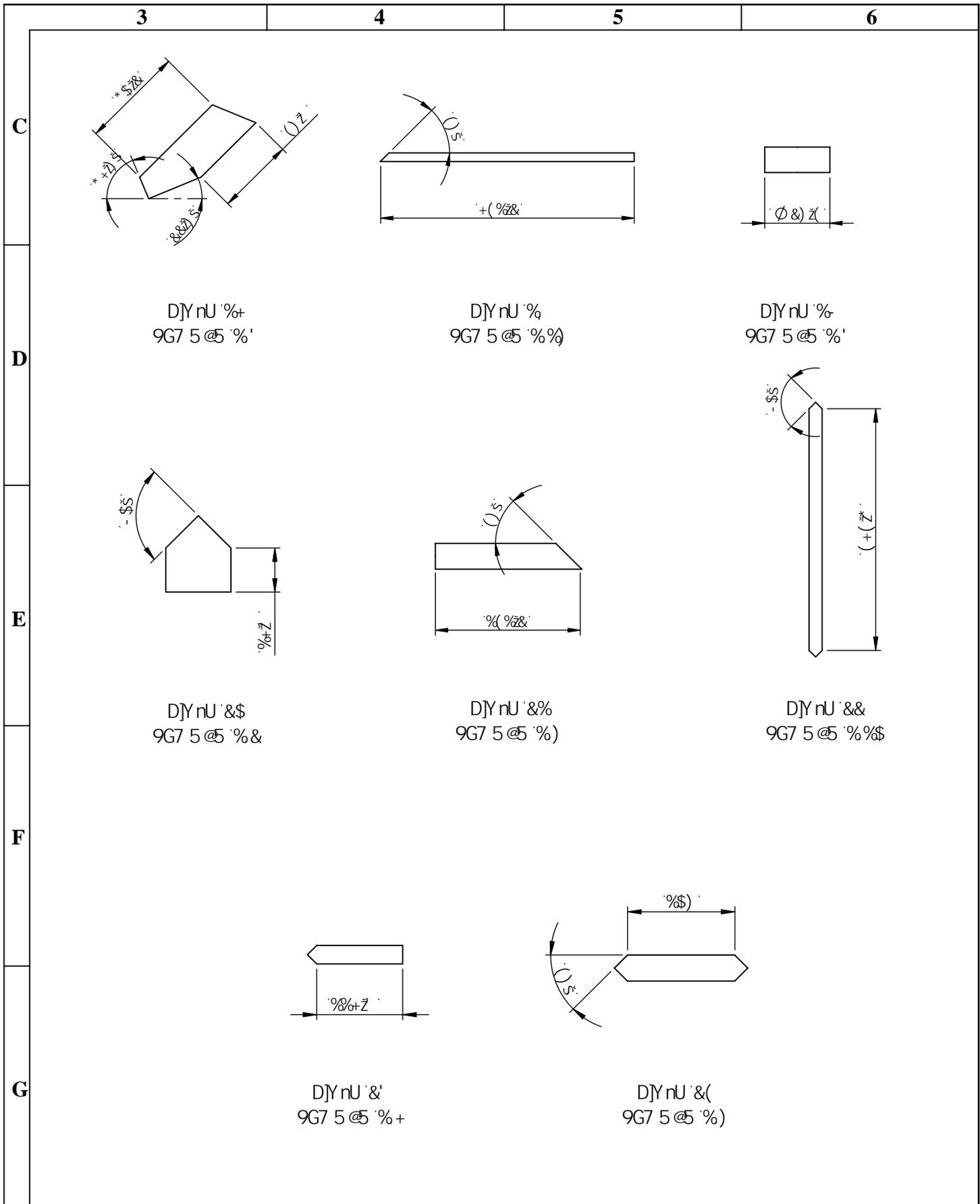
89BCA B57 € B	8 A 9BG€ B 9G	I B-858 9G	C 6G9FJ 57 € B 9G
H Vc Ygfi Wi fu`	&)"('l %) 'a a	&	*\$\$\$'a a



&	H Vc Ygfi Wi fu`	5GA '5' *	&(H Vc fYXcbXc %'l %) 'a a`	%% ", &	7 c fFY
&	H Vc Ygfi Wi fu`	5GA '5' *	&	H Vc fYXcbXc %'l %) 'a a`	%%&-%	7 c fFY
*	H Vc Ygfi Wi fu`	5GA '5' *	&&	H Vc fYXcbXc %'l %) 'a a`	(, ' ",	7 c fFY
&	H Vc Ygfi Wi fu`	5GA '5' *	&%	H Vc fYXcbXc %'l %) 'a a`	% \$	7 c fFY
&	H Vc Ygfi Wi fu`	5GA '5' *	&\$	H Vc fYXcbXc %'l %) 'a a`	&%- %	7 c fFY
&	H Vc Ygfi Wi fu`	5GA '5' *	%	H Vc fYXcbXc %'l %) 'a a`	%\$	7 c fFY
&	H Vc Ygfi Wi fu`	5GA '5' *	%	H Vc fYXcbXc %'l %) 'a a`	+& "- +	7 c fFY
&	H Vc Ygfi Wi fu`	5GA '5' *	%+	H Vc fYXcbXc %'l %) 'a a`) - "&+	7 c fFY
&	H Vc Ygfi Wi fu`	5GA '5' *	%*	H Vc fYXcbXc %'l %) 'a a`	% ' ", &	7 c fFY
&	H Vc Ygfi Wi fu`	5GA '5' *	%	H Vc fYXcbXc %'l %) 'a a`	%("(+	7 c fFY
&	H Vc Ygfi Wi fu`	5GA '5' *	%&	H Vc fYXcbXc %'l %) 'a a`	% ' ", &	7 c fFY
&	H Vc Ygfi Wi fu`	5GA '5' *	%	H Vc fYXcbXc %'l %) 'a a`	+ , ' "+-	7 c fFY
&	H Vc Ygfi Wi fu`	5GA '5' *	%&	H Vc fYXcbXc %'l %) 'a a`	% \$	7 c fFY
&	H Vc Ygfi Wi fu`	5GA '5' *	%%	H Vc fYXcbXc %'l %) 'a a`	* \$	7 c fFY
&	H Vc Ygfi Wi fu`	5GA '5' *	%\$	H Vc fYXcbXc %'l %) 'a a`	* \$	7 c fFY
*	H Vc Ygfi Wi fu`	5GA '5' *	-	H Vc fYXcbXc %'l %) 'a a`	' ' ', ' ' ,	7 c fFY
&	H Vc Ygfi Wi fu`	5GA '5' *	,	H Vc fYXcbXc %'l %) 'a a`	&+) +	7 c fFY
&	H Vc Ygfi Wi fu`	5GA '5' *	+	H Vc fYXcbXc %'l %) 'a a`	%(%- %	7 c fFY
&	H Vc Ygfi Wi fu`	5GA '5' *	*	H Vc fYXcbXc %'l %) 'a a`	+) - " *	7 c fFY
%&	H Vc Ygfi Wi fu`	5GA '5' *)	H Vc fYXcbXc %'l %) 'a a`	' %" +	7 c fFY 'mXcV UXc
&	H Vc Ygfi Wi fu`	5GA '5' *	(H Vc fYXcbXc %'l %) 'a a`	% "\$&	7 c fFY
&	H Vc Ygfi Wi fu`	5GA '5' *	'	H Vc fYXcbXc %'l %) 'a a`	(%- %	7 c fFY
&	H Vc Ygfi Wi fu`	5GA '5' *	&	H Vc fYXcbXc %'l %) 'a a`	+ \$" +	7 c fFY
&	H Vc Ygfi Wi fu`	5GA '5' *	%	H Vc fYXcbXc %'l %) 'a a`	&\$ - " ,	7 c fFY
Bc XY dJYnU	8Ybca jUWjCb	A UYfJU`	B" XY cfXYb	B, XY`a cXY`c	@b[jh X fb a t	C VgYfj UWjcbYg

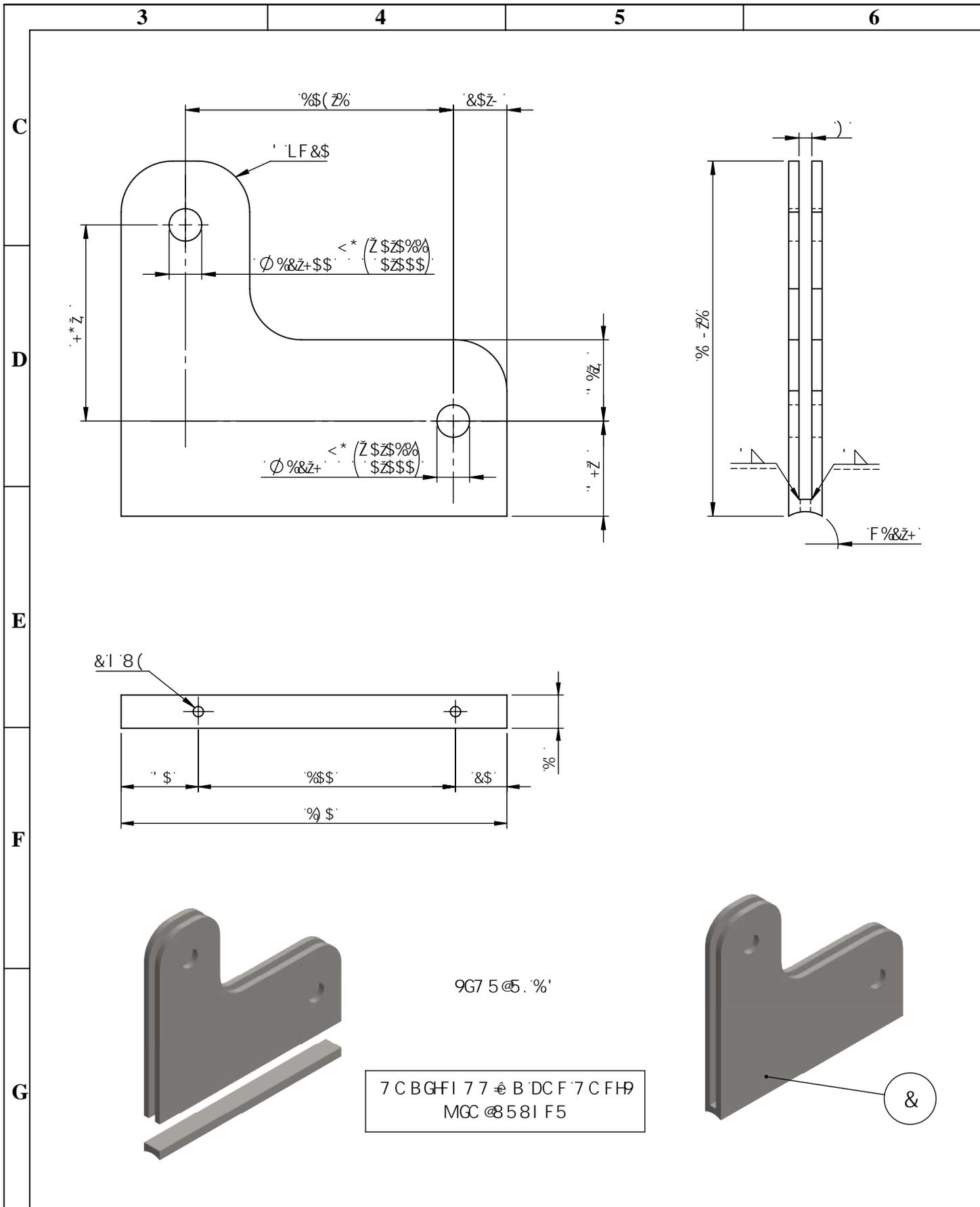
PÄN° o lpc< 6 fg 3;		PÄJ qlcuk< 5'fg'6		Uwukwelo p<		Eqf Hlecelep<		9 GDC7 <			
Go ckt" f ckl' (lcvcnuB gur qej Qf wge		Vgfi hppqu*2; : 48: 7: 96				Fgpqo lpclep<		: 571 @58 '89 A97 â B=75			
								9G7I 9 @ '89 -B; 9B=9Fâ 'A97 â B=75			
Fcvqu	Pqo dtg	Hto c	Hgej c	GUVTWEVWTC" OGVf NEEC				Rguj]M_	Vqgtcpekc	Guecn	Tgi knt q
Rt qf gew	Dvcnu'F0		44B2H243					: 2	±205]o o_	3-32	
Fldwl>	Dvcnu'F0		44B2H243								
Tgxl>			47B2H243								
Crtqd>			47B2H243								
						O cvgtkeng< CUVO 'C58		GUNG'F QEWO GP VQ'GURTQRKF CF" EP VGNCEVWCN'GZ ENWUK'CF G-CUJL' 10M0 EWCNS WGT'WUQ' "TGRTOF WEEK P'VQVCN Q'RCTEKN'PQ' "CWQTR CFC' EQP UVRWJ GXIQNCEK P' "FG' "NQU' FGTGEJ QU' "F GNC WQT RGP CFC RQT'NC'NG			





Pà0N° o lpc< 6 fg38		Pà0J qlcu< 6'fg'6		Uwmswelo p<		Eqf Hlecelo p<		9 GDC7 < : 571 @H58'89'A97â B=7 5							
Go ckr'' f exkf (lvcncuB gur qej (gf w)ge Vgn' hppqu<' 2; ; 48: 7: 96				F gpqo lpcelo p<				9G7I 9 @ 89' -B; 9B=9Fâ 'A97â B=7 5							
Fcvqu		Pqo dtg		Hto c		Hgej c		Rguq']M _		Vqrqt cpele		Gæcnc		Tgi kmq	
Rt qf ge»		Dvcncu'F0				44B24243		33046		±205"]o o _		3-32			
Fklwl»		Dvcncu'F0				44B24243									
Tgxla»						47B24243									
Crt qd»						47B24243									
								GUVT WE VVTC'' O GVf NRE C''							
								O cvgt lcuq< CUVO 'C58							
								Pqo dtg'f'g'tej ksq< Gut wewtc'urf r tv							
														GUNG'F QEWO GP VQ'GURTQRKFCF'' R'VGNCEVWCNGZENWUKC'FG'CLU] '10V0 EWCNS WGT''WUQ''L''TGRTOF WEEK P''VQVCN Q'RCTEKN''''P Q''''CWWQTK CFC'''''''' EQP'UVK'W' G'XKQCEK P''''F G''''NQU' FGTGEJ QU''FG'NCWQTRGP'CF'ROT'NC'NGI	





Pà0N° o lpc< 7 fg38		Pà0J qlcu< 3		Uwukswelo p<		Eqf Hlecelo p<		9 GDC7 < : 571 @H58'89'A97âB=75 9G7I 9@'89'-B; 9B=9Fã'A97âB=75					
Go ckr'' f cxf QlvcnuB gur qej Qgf wQe Vgn hppqu< 2; ; 48: 7: 96						Fgpqo lpcelo p<							
Fcvqu						DCUG'RKXQVG							
Pqo dtg		Hto c		Hgej c		Rguq'M		Vqrgt cpele		Gæncr		Tgi kmq	
Rt qf gev»		Dvcnu'F0		44B24243		20 :		±205"jo o _		3-4			
Fklwl»		Dvcnu'F0		44B24243		O cvgt kicgu<		CRUK526		GUNG'F QEWO GP VQ'GURTQRKFCF'' R'VGNCEVWNCNGZENWUKC'FG-C(LU) 10V0 EWCNS WGT''WUQ''L''''TGRTOF WEEK P''VQVCN Q'RCTEKN''''P Q''''CWWQTK CFC'''''''''' EQP'UVK'W'GXKQCEK P''''F G''''NQU' FGTGEJ QU''FGN'CWQT'RGPC'F'ROT'NC'NGI			
Crt qd»				47B24243		Pqo dtg'f'g'tej kxq< Dcug'r kxqg'uf r tv							

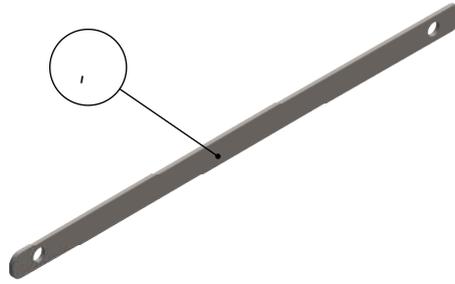
3

4

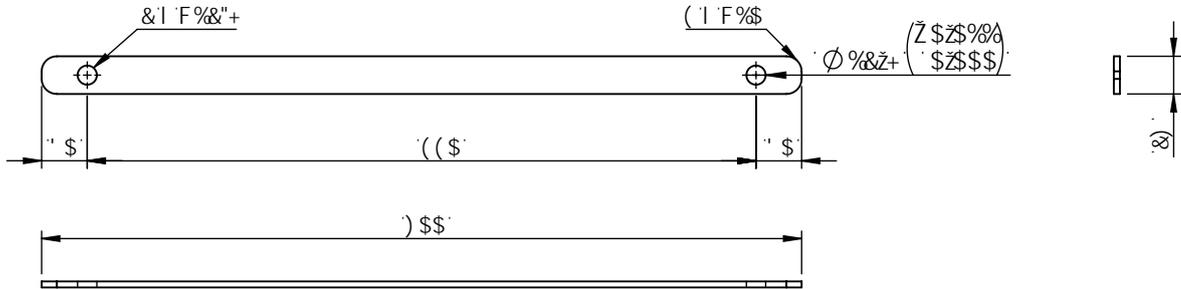
5

6

C

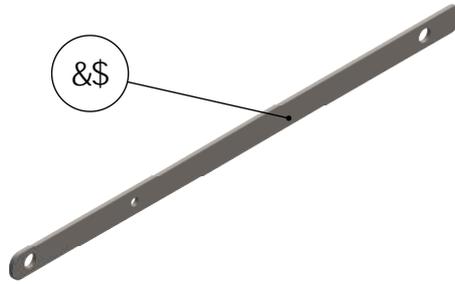


D

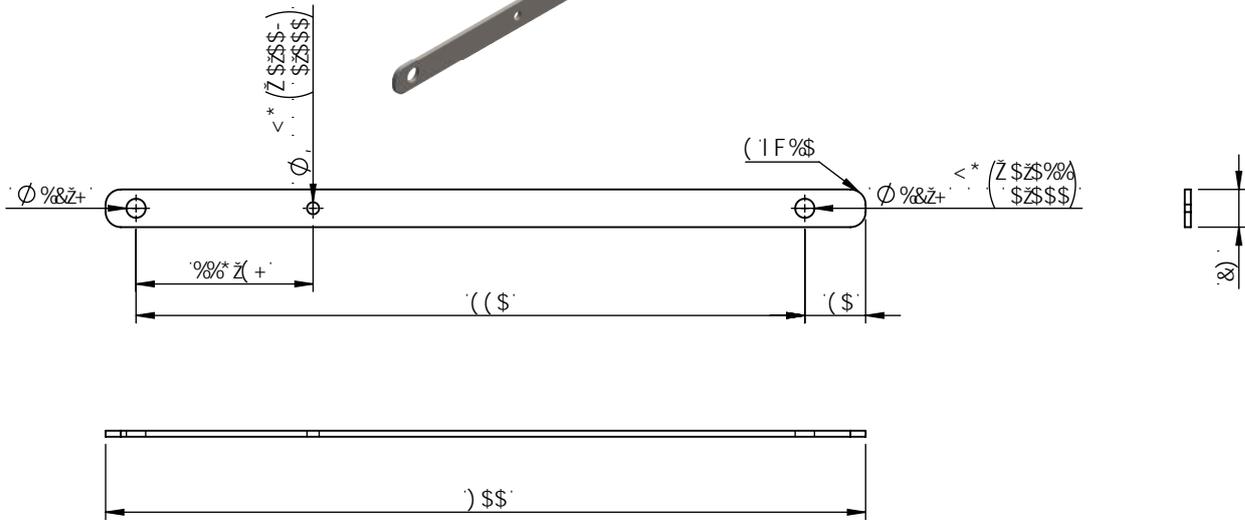


9gdYgc fXY d`UWU`1(` a a

E



F



9gdYgc fXY d`UWU`1(` a a

G

Pà0N° o lpc< 8 fg 38		Pà0J qlcu< 3		Uwmswelo p<		Eqf Hlecelo p<		9 GDC7 < : 571 @ 58 89 A97 à B=75			
Go ckr'' f cxf (lvcrcuB gur qej qf wqe Vgn hppqu< 2; ; 48: 7: 96						F gppo lpcelo p<		9G7I 9 @ 89 -B; 9B-9F à A97 à B=75			
F cvqu	P qo dtg	Hk o c	Hgej c	RNCE C'RKXQVG'' UWRGTQT'G'' RP HGTQT				Rguq']M _	Vqrgt cpele	Guecr	Tgi km q
Rt qf gev»	Dvcrcu'F0		44 B24243					20:	±20"]o o _	3-7	
F kdlw»	Dvcrcu'F0		44 B24243	O cvgt lcuq< CUVO 'C58				GUNG'F QEWO GP VQ'GURTQRKFCF'' RP VGNCEVWNCNGZENWUKC'FG-C(LU] 10V0 EWCNS WGT''WUQ''I''TGRTOF WEEK P''VQVCN Q'RCTEKN''''PQ''''CWWQTK CFC'''''''''' EQP'UVK'W'GXKQNCCK P''''FG''''NQU' FGTGEJ QI''FGN'CWQT'RGPC'CRQT'NC'NGI			
Tgxk»			47 B24243								
Crt qd»			47 B24243								

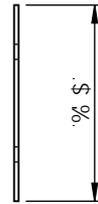
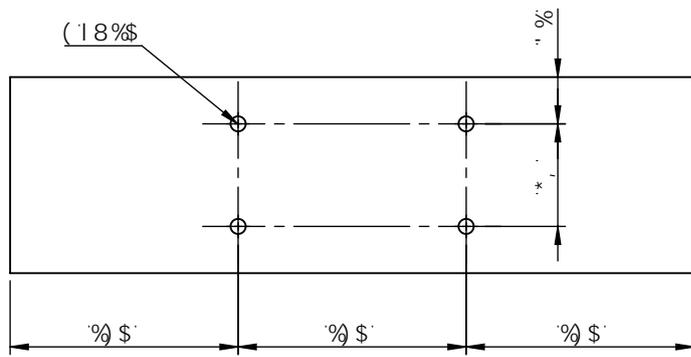
3

4

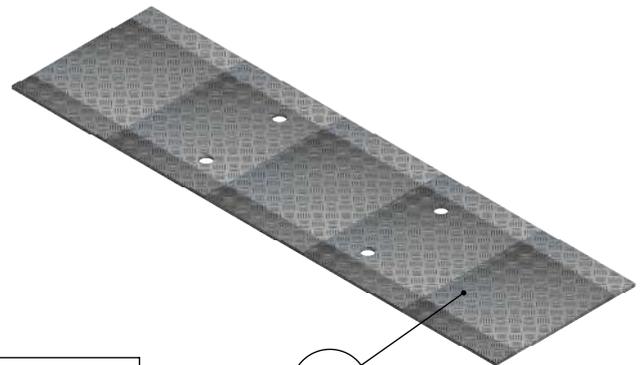
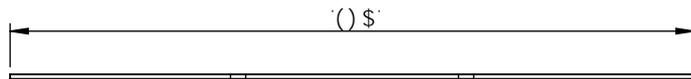
5

6

C



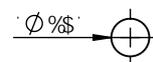
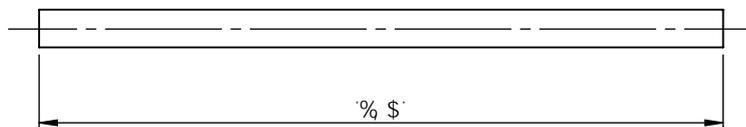
D



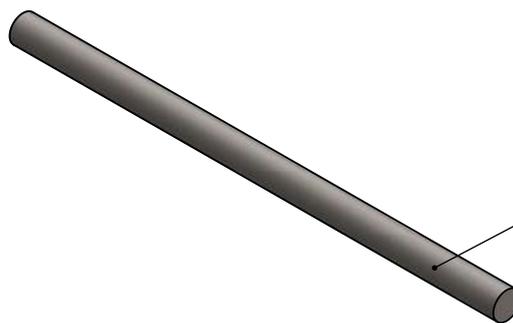
9gdYgc fXY 'd'UbWU'1'' 'a a

9G7 5 @ . %)

E



F

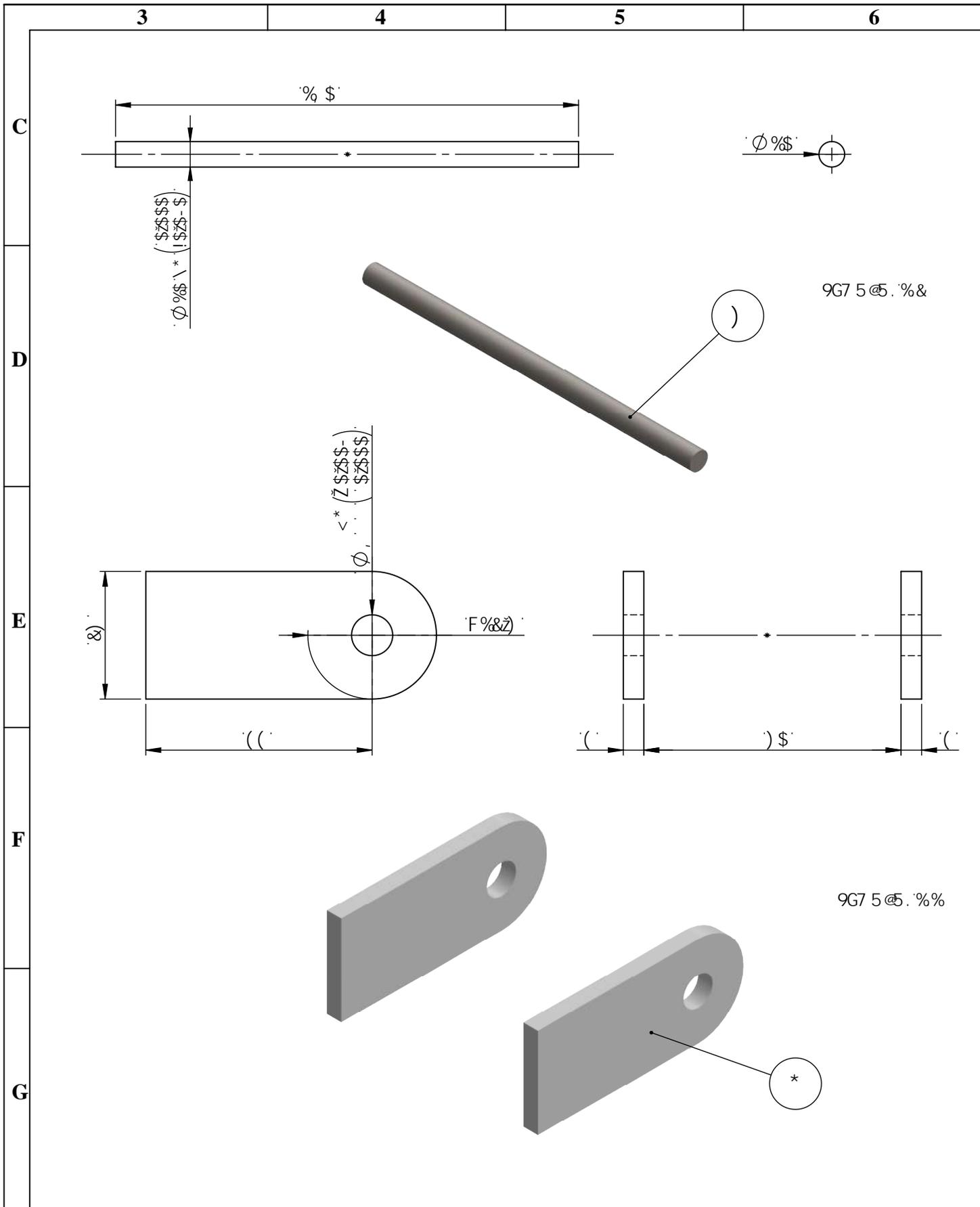


9G7 5 @ . %&

G

Pà0N° o lpc< 9 fg38		Pà0J qlcu< 3		Uwunswelo p<		Eqf Hlecelo p<		9 GDC7 < : 571 @ 58'89'A97â B=75 9G7I 9 @ 89' B; 9B=9Fâ 'A97â B=75							
Go ckr'' f cxf @lvcnuB gur qej Qf wge Vgn hppqu' 2; ; 48: 7: 96						F gqpo lpcelo p<									
Fcvqu		Pqo dtg		Hkto c		Hgej c		RNCEC'DCUG'('' GLG'EKNPFTQ							
Rt qf gev»		Devcnu'F0				44B24243									
Fklwl»		Devcnu'F0				44B24243		Rguq']M_		Vqrgt cpeke		Gæcnr		Tgi kmq	
Tgxla»						47B24243		207:		±205"]o o _					
Crt qd»						47B24243		O cvgt kngu< UGI WP 'F KUG§ Q							
Pqo dtg'f g'tej kxq<								GUNG'F QEWO GP VQ'GURTQRKFCF'' R'VGNCEVWNCNGZENWUKC'FG-C(LU) 10V0 EWCNS WGT''WUQ''L''TGRTOF WEEK P''VQVCN Q'RCTEKN''PQ''CWWQTK CFC'''''''''' EQP'UVK'W'GXKQCEK P''FG''NQU' FGTGEJ QU''FG'NCWQTRGP'CF'ROT'NC'NGI							





9G7 5 @ . % &

9G7 5 @ . % %

Pà0N° o lpc< : fg38		Pà0J qlcu< 3		Uwunswelo p<		Eqf Hlecelo p<		9GDC7 < : 571 @ 58 89 A97 à B=7 5 9G7I 9 @ 89 -B; 9B=9F ã A97 à B=7 5			
Go ckr'' Vgn hppqu<				f cxlf @lvcnuB gur qej @f w@e 2; ; 48: 7: 96				F gppqo lpcelo p<			
F cvqu	P qo dtg	Hkto c	Hgej c	GLG'F GN'Xf UVCI Q'' ('UWLGEK P'FGN'' Xf UVCI Q				Rguq']M _	Vqrgt cpeke	Gæc n	T gi km t q
Rt qf gev»	Dvcnu'F0		44B24243					2@;	±2@'"]o o _		
F kdlw»	Dvcnu'F0		44B24243					O cvgt knguk< CUVO 'C58			
Crt qd>			47B24243	P qo dtg'f g'tej ksq<							

3

4

5

6

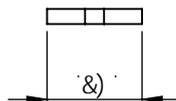
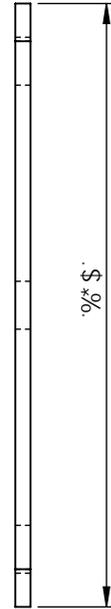
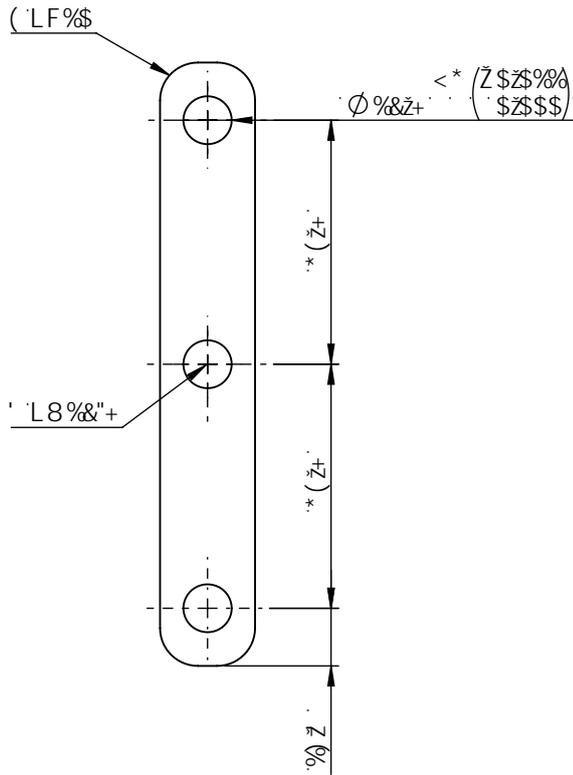
C

D

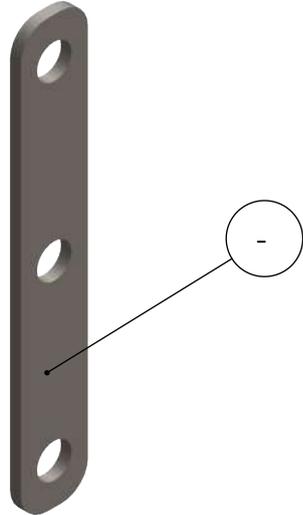
E

F

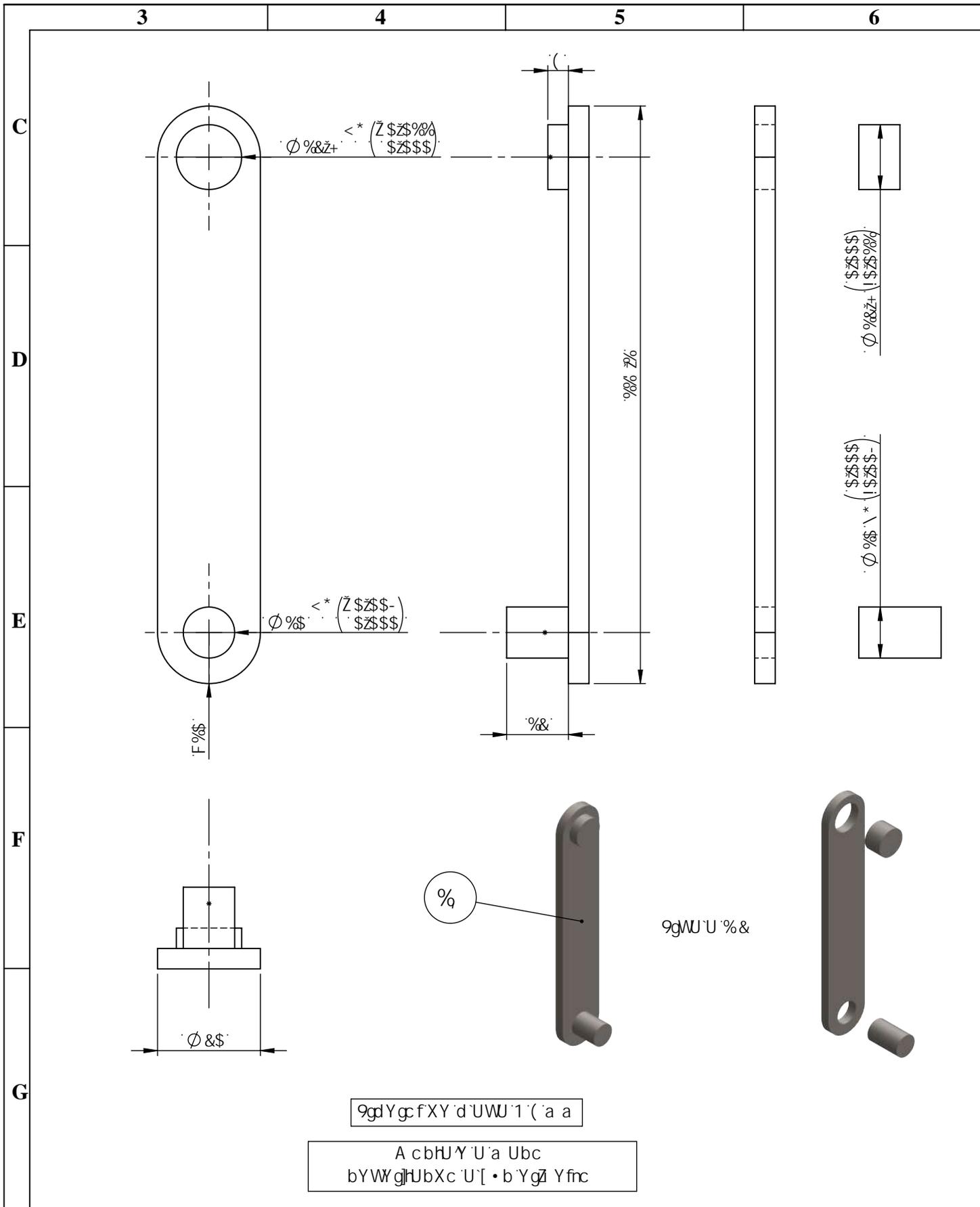
G



9gdYgc fXY d'UWU 1' (' a a



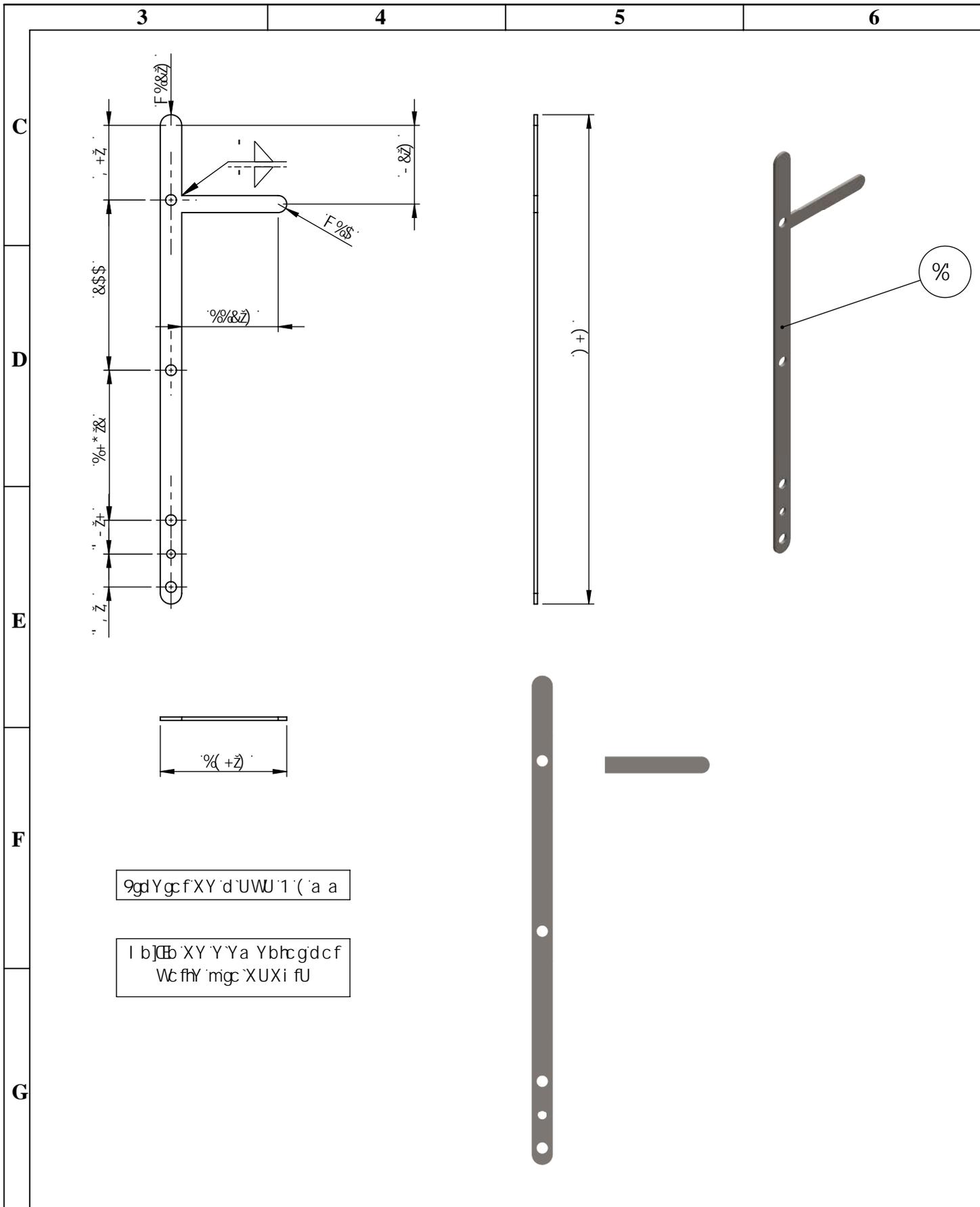
Pà0N° o lpc< ; fg38		Pà0J qlcu< 3		Uwunsweløp<		Eqf Hleceløp<		9GDC7 < : 571 @H58'89'A97âB=75			
Go ckr'' f cxf QlcxmuB gur qej Qf wge Vgn hppqu< 2; ; 48: 7: 96						Fgpqo lpceløp<		9G7I 9@ 89'8; 9B=9Fâ 'A97âB=75			
Fcvqu	Pqo dtg	Hkto c	Hgej c	RNCEC'FG'' EQPGZK P				Rguq']M _	Vqrgt cpeke	Gæc nr	Tgi km q
Rt qf gev»	Dcxmu'F0		44B2H243					2(B3	±205'']o o _	3-4	
Fkdlw»	Dcxmu'F0		44B2H243					O cvt kcuq< CUVO 'C58			
Tgxk»			47B2H243	Pqo dtg'f'g'tej kxq< Rrec'f'g'eqpgzlp0uf r tv							
Crt qd»			47B2H243								



9gdYgc fXY d`UWU`1` (`a a

A cbtU`Y`U`a`Ubc
bYW`g]hUbXc`U`[`•b`Y`g]`Y`fnc

Pã0N° o lpc< 32 fg 38		Pã0J qlcu< 3		Uwmswelo p<		Eqf hlecelo p<		9GDC7 < : 57I @H58`89`A97â B=75 9G7I 9@`89`-B; 9B=9Fã`A97â B=75			
Go ckr`" f cxkf (lcvemuB gur qej (gf v)ge Vgn hppqu<" 2; ; 48: 7: 96				Fgpqo lpcelo p<				DCTTC`FG` EQPGZK P			
Fcvqu	Pqo dtg	Hkto c	Hgej c	O cvgt lcu< CUVO`C58				Rgu]`M_	Vqrgt cpeke	Gæcnc	Tgi kmq
Rt qf gev»	Devemu`F0		44B24243					2∅:	±205"]o o_	3-3	
Fkdlw»	Devemu`F0		44B24243	Pqo dtg`f`g`tej ksq< Dctto`f`g`eqpgzlo p]uf r tv				<small>GLVG`F`QEW0 GP VQ`GUR`QRKGF`CF`" R`VGN`GEVW`CNGZ`ENW`KXC`FG`C(LU]`10V0 EWCNS`WGT`"WUQ`"I`"TGR`QF`WEEK`P`"VQVCN` Q`R`CTE`KN`"P`Q`"C`WQTK`CFC`""""" EQP`UVK`W`G`X`K`N`CEK`P`"F`G`"NQU` FGT`GEJ`QU`"F`GN`C`WQT`R`GP`C`F`C`R`QT`N`C`NGI`</small>			
Crt qd»			47B24243								



9gdYgc'f'XY'd'UWU'1'('a a

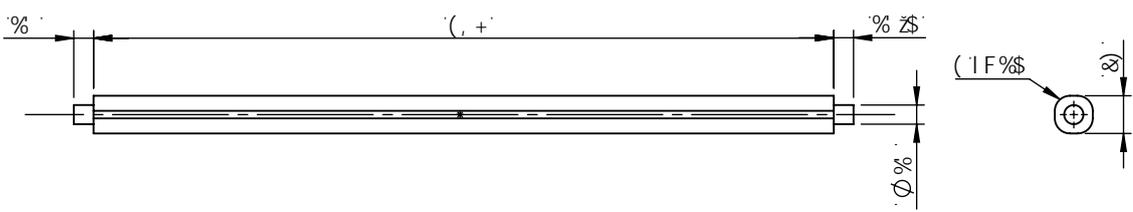
I b]Cb'XY'Y'Ya Ybhc'gd'cf
Wc'fny' m'gc'XUXi'fU

Pã0N° o lpc< 33 fg 38		Pã0J qlcu< 3		Uwmswelo p<		Eqf hlecelo p<		9 GDC7 < : 57I @H58'89'A97â B=7 5									
Go ckr'' f exkf (lvcncuB gur qej qf wqge Vgn' hppqu<' 2; ; 48: 7: 96						F gppo lpcelo p<						9G7I 9 @ 89' -B; 9B=9Fã 'A97â B=7 5					
Fcvqu		Pqo dtg		Hkto c		Hgej c		DCTTC'' XGTVÆCN		Rguq']M_		Vqrgt cpeke		Gæcnc		Tgi kmq	
Rt qf gev»		Dvcncu'F0				44 B24243				207		±205']o o _		3-8			
Fkdlw»		Dvcncu'F0				44 B24243				O cvgt kcuq< CUVO 'C58							
Tgxla»						47 B24243		Pqo dtg'f'g'tej kxq< Dcttc'xgt'vlecf'nf r tv									
Crt qd»						47 B24243						GUN'F QEWO GP VQ'GURTQRKFCF" R'VGN'GEVW'CN'GZ'ENW'K'K'F'G'-(L)J' 10V0 EWCNS WGT''WU''I''T'GRTOF WEEK P''VQVCN Q'R'CTE'KN''P'Q''C'W'Q'K'CF'C'''''''''' EQP'UV'W'G'X'Q'N'CEK P''F'G''N'QU' FGTGEJ QU''F'G'N'CW'QT'R'G'P'CF'C'R'QT'NC'NGI					

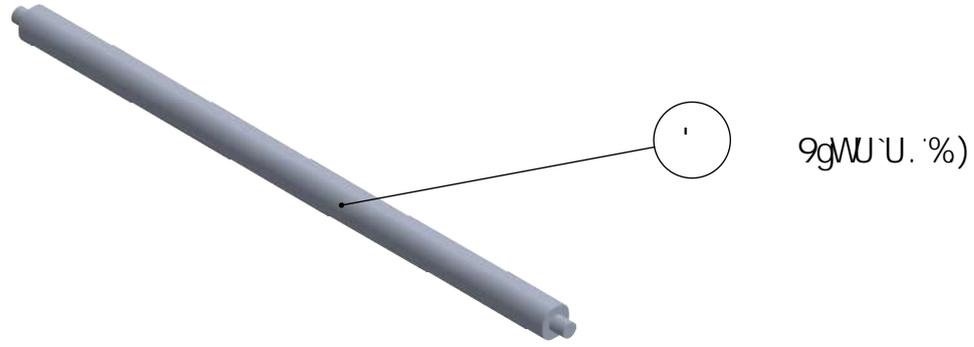


3 4 5 6

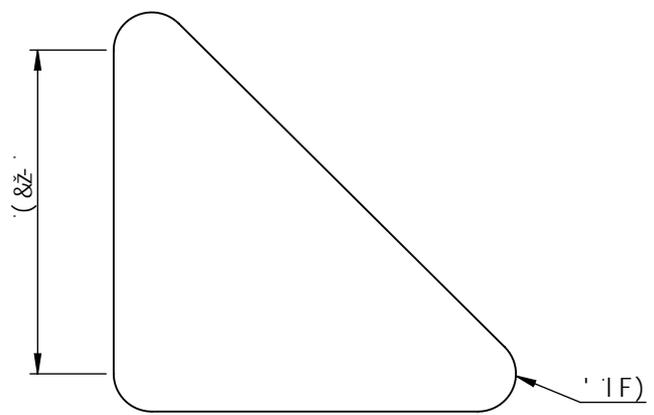
C



D



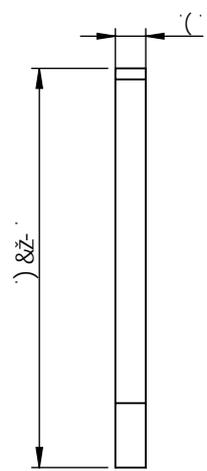
E



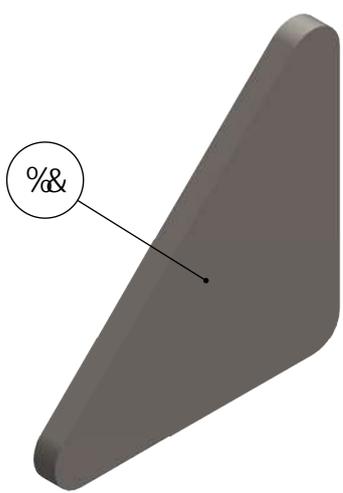
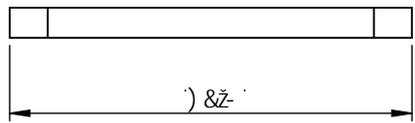
F

YgdYgc f'1 (' a a

9gWU`U. %%

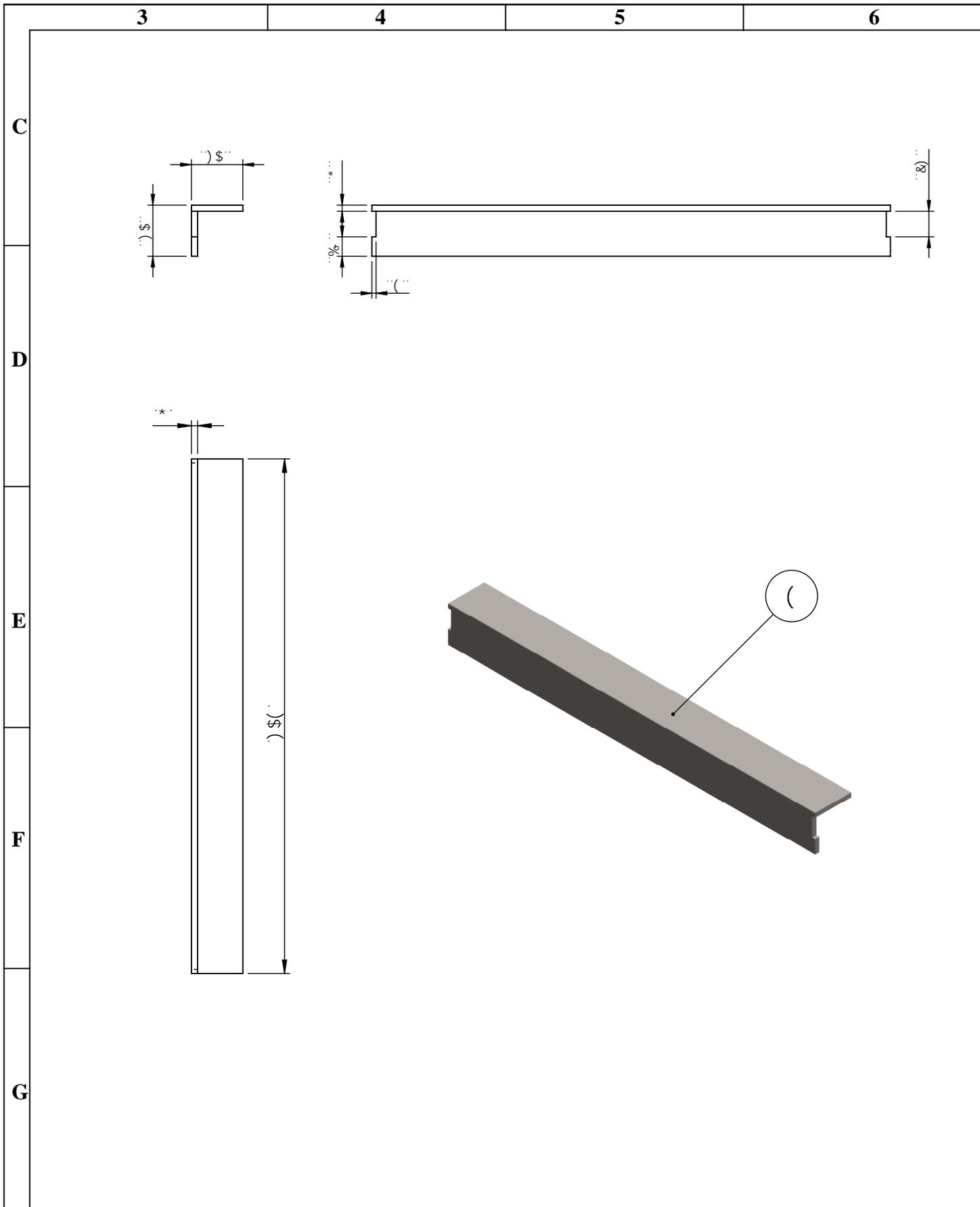


G



Pã0N° o lpc< 34 fg 38		Pã0J qlcu< 3		Uwunswelo p<		Eqf Hlecelo p<		9 GDC7 < : 571 @H58`89`A97â B=7 5			
Go ckr'' f exkf 0lcvcnuB gur qej 0gf w0ge Vgn hppqu< 2; ; 48: 7: 96						F gppqo lpcelo p<		9G7I 9 @ `89`-B; 9B=9Fã `A97â B=7 5			
F cvqu	P qo dtg	Hkto c		Hgej c		UQRQT'VG'' CUKGP VQ'(' " CLWUVG'' GURCNF CT''		Rguq']M _	Vqrgt cpele	Gæcnc	T gi km t q
Rt qf gev»	Dvcvnu'F0			44B2H243				20B	±205"]o o _		
F kdwl»	Dvcvnu'F0			44B2H243							
Tgxla»				47B2H243							
Crt qd»				47B2H243		O cvgt lcuq< UGI WP`F KUG§ Q		GUNG`F QEWO GP VQ`GURTQRKFCF` R`VGNSEVWNCNGZENWUKC`FG`CLUJ`10V0 EWCNS WGT`WUQ`I`T`GRTOF WEEK P`VQVCN Q`RCTEKN`P Q`C`WQTK CFC` EQP`UVK`W`G`XKQCEK P`F`G`NQU` FGTGEJ QU`FGN`CWQTR`RGP`CFC`RQT`NC`NGI			





Pã0N° o lpc< 35 fg 38		Pã0J qlcu< 3		Uwunsweløp<		Eqf Hleceløp<		9 GDC7 < : 571 @H58'89'A97âB=75			
Go ckr'' f cxf (lcvncuB gur qej (gf w)ge Vgn hppqu< 2; ; 48: 7: 96						F gppo lpceløp<		9G7I 9 @ '89' -B; 9B=9Fã 'A97âB=75			
Fcvqu	Pqo dtg	Hkto c	Hgej c	f PI WNQ				Rguq']M_	Vqrgt cpeke	Gæcnr	Tgi kmq
Rt qf gev»	Dcvncu'F0		44B24243					404	±205'o o _	3-7	
Fkdlw»	Dcvncu'F0		44B24243								
Tgxla»			47B24243	O cvgt lcuq< CUVO 'C58				GUNG'F QEWO GP VQ'GURTQRKFCF " P'VGNGEVWNCNGZENWUKC'FG-C(LU) '10V0 EWCNS WGT''WUQ''L''TGRTOF WEEK P''VQVCN Q'RCTEKN''''P Q''''CWWQTK CFC'''''''''' EQP'UVK'W'GXKQCEK P''''FG''''NQU' FGTGEJ QU''''FGNCWQT'RGPC'ROT'NC'NGI			
Crt qd»			47B24243	Pqo dtg'f'g'ctej kxq< Cpi wq'ur' r tv							

3

4

5

6

C



9gWU`U. `%%

8 ã A 9FC. :%&"+'a a
@ B; #I 8. :%&"+'a a

D



9gWU`U. `%%

8 ã A 9FC. ; 'a a
@ B; #I 8. :%&"+'a a

E



9gWU`U. `%&

8 ã A 9FC. :%&"+'a a
@ B; #I 8. *('a a

F



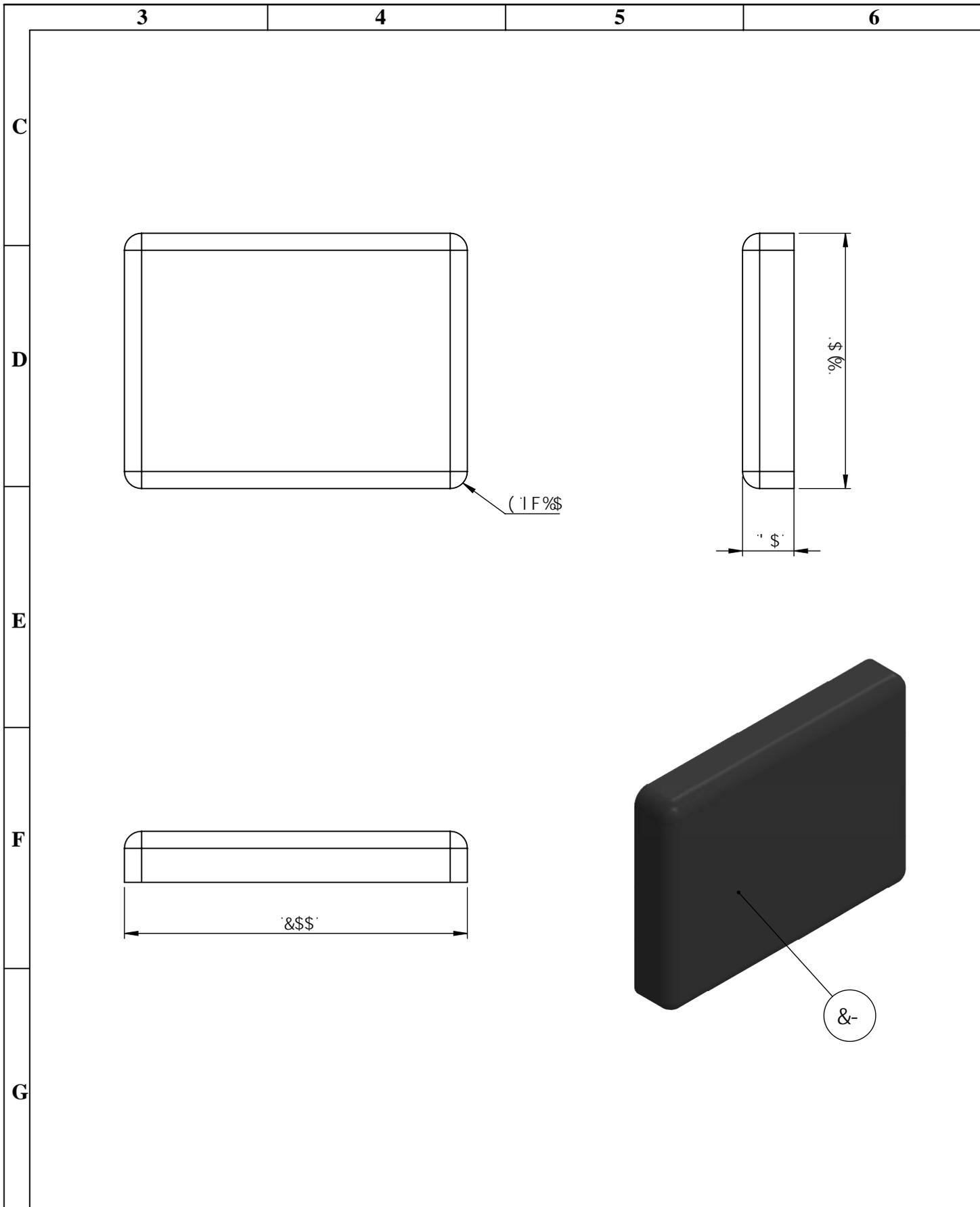
9gWU`U. `%&

8 ã A 9FC. :% 'a a
@ B; #I 8. -\$'a a

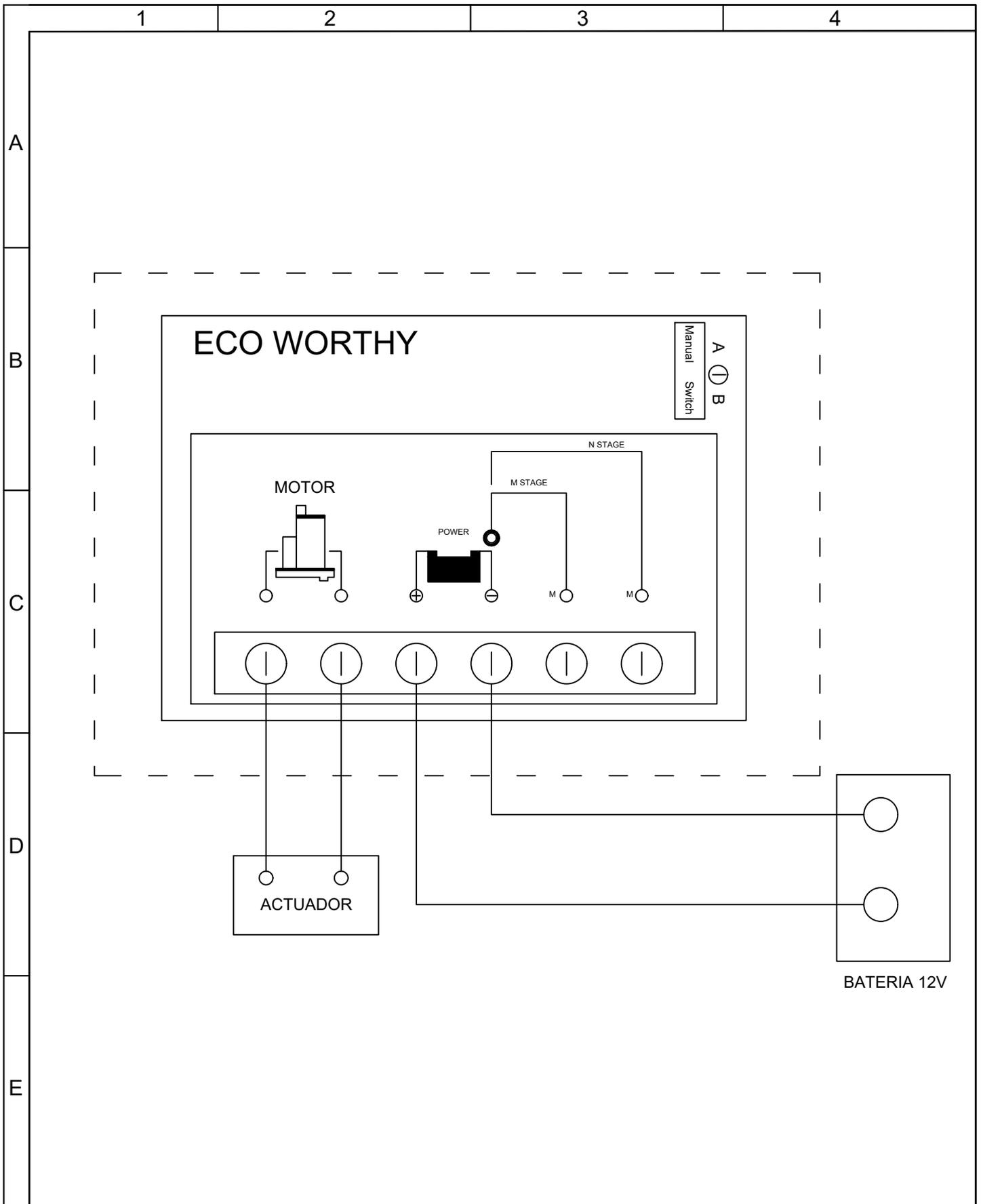
G

BC#5. HcXcg`cgY`Ya YbhcghYbYb
i bU`hc YfUbwJU`XY`h]dc` *
Wcb`a cbHU`Y`U`a Ubc`bYWXg]HUbXc
U`[`b`Yg] Yfnc`"

PãN° o lpc< 36 fg 38		PãNJ qlcu< 3		Uwmswelo p<		Eqf Hlecelo p<		9 GDC7 < : 571 @H58`89`A97â B=7 5 9G7I 9 @ 89`B; 9B=9Fã`A97â B=7 5			
Go ckr`" f exkf (lcvmcuB gur qej Qgf wQe Vgn`hppqu<` 2; ; 48: 7: 96						F gppqo lpcelo p<		GURf TTCI Q'DCUG." GURf TTCI Q'RNCEC" FGEQPGZK P." GUNCD` P`UQRQTVG" DTC\ Q0			
F cvqu	P qo dtg	Hkto c		Hgej c		O cvgt kcu p<		Rguq`]M_	Vqrgt cpekk	Gæc nr	T gi km t q
Rt qf gev»	Dcvmcu`F0			44 B24243		UGI WP`F RUG§ Q		2024	±205`]o o _		
F kdlw»	Dcvmcu`F0			44 B24243				<small>GUNG`F QEWO GP VQ`GURTQRKFC`F`" R`VGNGEVWNCNGZENWUKC`FG`C(LU]` 10V0 EWCNS WGT`"WUQ`"I`"TGRTOF WEEK P`"VQVCN Q`RCTEKN`"P Q`"CWWQTK CFC`"***** EQP`UNW`W`GXKQCEK P`"F G`"NQU` FGTGEJ QU`"FGN`CWQT`RGP`CFC`RQT`NC`NGI</small>			
Tgxl»				47 B24243		P qo dtg`f`g`tej ksq<					
Crt qd»				47 B24243							



Pà0N° o lpc< 37 fg 38		Pà0J qlcu< 3		Uwunsweløp<		Eqf hleceløp<		9 GDC7 < : 571 @H58'89'A97âB=75 9G7I 9 @ '89'-B; 9B=9Fã 'A97âB=75							
Go ckr'' f cxf ðlevmcuB gur qej Qgf wðge Vgn hppqu< 2; ; 48: 7: 96				Fgpqo lpceløp<				Rguq']M_ Vqrgt cpeke Gæcnc Tgi kmq							
Fcvqu		Pqo dtg		Hkto c		Hgej c		20 :		±205"]o o _		3-4			
Rt qf gev»		Dvcncu'F0				44B24243		CRQ[Q'F'G'' RCPVQTTKNCU		O cvgt lcuq< UGI WP 'F KUG§ Q		GUNG'F QEWO GP VQ'GURTQRKCF " P VNGEVWNCNGZENWUKC'FG-CLD] 10V0 EWCNS WGT''WUQ''I ''TGRTOF WEEK P''VQVCN Q'RCTEKN''''P Q''''CWWQTK CFC'''''''' EQP'UVK'W' G'XKQNC EK P''''F G''''NQU' FGTGEJ QU''''FGNCWQTRGP CFC'RQT'NC'NGI			
Fkdlv»		Dvcncu'F0				44B24243									
Tgxk»						47B24243		Pqo dtg'f'g'tej kxq<		Cr q{q'r'cpvqtkmuf r tv					
Crt qd»						47B24243									



N.- Lámina: 16 de 16		No. hojas: 1		Sustitución:		Codificación:		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA INGENIERÍA MECÁNICA			
Email: david.batallas@epoch.edu.ec Telfs.: 0992685874						Denominación:					
Datos	Nombre	Firma	Fecha	ESQUEMA DE CONEXIÓN PARA EL CONTROL DEL ACTUADOR					± 0.5	1 : 2	
Dibujó	Batallas D.		22/10/21								
Proyectó	Batallas D.		22/10/21								
Revisó			25/10/21	Materiales: Segun Diseño		Nombre del archivo:		<small>ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELECTUAL DE: ESPOCH-FM-EIM CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS RESERVADOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY.</small>			
Aprobó			25/10/21								