

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



**DISEÑO DE UNA SILLA DE RUEDAS CON MECANISMO DE  
POSICIONAMIENTO BÍPEDO**

**Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Mecánico**

**AUTOR:**

**CARLOS MAURICIO ATARAMA DEL ÁGUILA**

**ASESOR:**

**DANTE ÁNGEL ELÍAS GIORDANO**

Lima, octubre, 2021



© 2021, Carlos Mauricio Atarama Del Águila

Se autoriza la reproducción total o parcial,  
Con fines académicos a través cualquier  
Medio o procedimiento, incluyendo la cita  
Bibliográfica del documento.

## RESUMEN

En este trabajo se presenta el diseño de una silla de ruedas, siguiendo la metodología de diseño VDI 2221, que permite posicionar verticalmente al usuario, con la finalidad que el usuario pueda relajar los músculos y ayudar a circular la sangre previniendo la formación de escaras. Además, ayuda al usuario a alcanzar otros objetos que escapen fueran de su radio desde la posición sentado.

Esta silla de ruedas cuenta con un mecanismo capaz de levantar al usuario y colocarlo en una posición bípeda sin arriesgar su seguridad y comodidad. Cuenta con cinturones de seguridad, uno a la altura de la cintura, otro a la altura del pecho y otro a la altura de las rodillas, estos tres cinturones mantienen al usuario seguro en la posición bípeda.

La elevación del usuario se realiza con un actuador de gas comprimido. En la posición sentada del usuario, este actuador se encuentra comprimido y la presión dentro del mismo es lo suficiente como elevar al usuario, y al momento de activar el mecanismo este actuador se descomprime y eleva al usuario disminuyendo la presión dentro del mismo. Para activar el conjunto del mecanismo, y por ende al actuador, se cuenta con unas palancas de mando que el usuario puede manejarlo de acuerdo a sus requerimientos.

Este mecanismo de levante cuenta con un reposapiés que se regula de acuerdo al giro del asiento. Este reposa pies queda al ras del piso cuando el usuario está en posición bípeda ayudando a mantener el equilibrio del usuario.

Por otro lado, el costo de esta silla de ruedas se estima en S/. 3,300, lo cuál es menor al monto previsto en los parámetros de diseño. Aun así, el diseño no está libre de ser sujeto de modificaciones que ayuden a mejorar la comodidad del usuario y la practicidad de la silla de ruedas



*Dedicada a mi amado padre, de donde este me protege con su velo de la sabiduría y el amor. A mí adorada madre por todo el apoyo incondicional durante toda mi carrera. Y un especial agradecimiento a mi asesor que nunca perdió la fe y la esperanza en mí.*

## ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN .....	i
DEDICATORIA.....	ii
INTRODUCCIÓN .....	1
<b>SITUACIÓN DE LOS PARAPLÉJICOS EN EL PERÚ Y LA SILLA DE RUEDA</b>	
1.1 Problemática de las personas con paraplejía .....	3
1.1.1 Causas de la paraplejía.....	7
1.1.2 Entorno físico.....	9
1.1.3 Accesibilidad de las personas en silla de ruedas.....	9
1.2 Leyes y Normativas .....	11
1.3 La silla de Rueda .....	11
1.3.1 Tipos de sillas de ruedas.....	12
1.3.2 Componentes Básicos de una silla de ruedas .....	17
1.4 Mecanismos de elevación .....	18
1.5 Consideraciones Biomecánicas .....	21
1.6 Antropometría y Ergonomía .....	23
1.7 Opinión médica.....	24
<b>DISEÑO CONCEPTUAL</b>	
2.1 Consideraciones y requerimientos de la silla de ruedas .....	25
2.1.1 Público objetivo.....	25
2.1.2 Normas a utilizar.....	27
2.1.3 Seguridad .....	27
2.1.4 Propulsión y Rozamiento a rodar .....	27
2.1.5 Antropometría y Ergonomía .....	30
2.1.6 Bajo costo .....	32
2.1.7 Mecanismo de elevación.....	32
2.1.8 Resumen de requerimientos .....	33
2.2 Estructura de Funciones.....	33
2.2.1 Entradas .....	33
2.2.2 Actividades en el sistema .....	34
2.2.3 Parámetros de salida.....	34
2.3 Matriz Morfológica .....	36
2.4 Conceptos solución .....	36
2.4.1 Concepto solución 1 .....	36
2.4.2 Concepto solución 2 .....	37
2.4.3 Concepto solución 3 .....	37
2.5 Evaluación técnica económica de los conceptos solución.....	38

## **DISEÑO DEL MECANISMO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES**

3.1	Dimensionamiento de la silla de ruedas.....	41
3.1.1	Selección y medida de los perfiles para la estructura de la silla de ruedas..	43
3.1.2	Dimensionamiento de la estructura del asiento .....	44
3.1.3	Selección del material para el asiento.....	44
3.1.4	Dimensionamiento de la estructura del respaldo .....	45
3.1.5	Dimensionamiento del chasis de la silla de ruedas.....	46
3.1.6	Selección de ángulos para el usuario en silla de ruedas .....	47
3.2	Cálculo del centro de gravedad.....	49
3.2.1	Cálculo del centro de gravedad del usuario en posición sentada.....	49
3.2.2	Cálculo del centro de gravedad del usuario en posición bípeda.....	50
3.3	Selección del actuador .....	53
3.3.1	Selección de conexiones del actuador .....	59
3.4	Diseño y análisis del mecanismo de levante.....	60
3.4.1	Análisis dinámico del mecanismo de levante.....	61
3.4.2	Análisis estático del mecanismo de levante.....	72
3.4.3	Análisis del respaldo .....	72
3.4.4	Análisis del pin para la articulación del respaldo y asiento.....	74
3.4.5	Análisis del pin para la articulación del asiento y chasis.....	74
3.4.6	Análisis del pin de articulación de respaldo y biela.....	77
3.4.7	Análisis de la biela para control y soporte del respaldo .....	78
3.4.8	Análisis del chasis .....	80
3.4.9	Análisis del eje para unión de rueda y chasis .....	81
3.5	Análisis de estabilidad .....	83

## **ESTIMACIÓN DE COSTO Y PLANOS**

4.1	Diseño final de la silla de ruedas.....	86
4.2	Planos .....	87
4.3	Estimación de costos.....	88
4.3.1	Costo de materiales.....	88
4.3.2	Costo de fabricación .....	90
4.3.3	Costo de diseño e imprevistos .....	92

OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES .....	93
---------------------------------------	----

CONCLUSIONES .....	94
--------------------	----

BIBLIOGRAFIA .....	95
--------------------	----

## **A N E X O**

Anexo 1: Medidas Antropométricas .....	1
Anexo 2: Lista de Requerimientos .....	2
Anexo 3: Matriz morfológica .....	3

Anexo 4: Centro de Gravedad de usuario sentada .....	6
Anexo 5: Centro de Gravedad de usuario en posición bípeda .....	7
Anexo 6: Ubicación de polo O14 .....	8
Anexo 7: Peso de estructura de asiento .....	9
Anexo 8: Curva de Euler del esfuerzo vs factor esbeltez .....	10
Anexo 9: Planos .....	11



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Principales Características de la Persona con Discapacidad	6
Figura 1.2 Población inscrita en el registro nacional de la persona con discapacidad con sola una deficiencia, 2000-2017	6
Figura 1.3 Población inscrita en el registro nacional de la persona con discapacidad con sola una limitación, 2000-2017	7
Figura 1.4 Silla con ruedas acopladas del año 1595	12
Figura 1.5 Silla de Ruedas propulsada manualmente	12
Figura 1.6 Silla de Ruedas tipo scooter	13
Figura 1.7 Silla de ruedas deportivas	14
Figura 1.8 Silla de ruedas para levantarse	14
Figura 1.9 Silla de ruedas para subir escaleras	15
Figura 1.10 Silla de ruedas pediátricas	15
Figura 1.11 Silla de ruedas posturales	16
Figura 1.12 Silla de ruedas eléctricas	17
Figura 1.13 Componentes de la Silla de Ruedas	18
Figura 1.14 Silla de rueda articulada en posición horizontal	19
Figura 1.15 Silla de rueda articulada en posición vertical	19
Figura 1.16 Mecanismo de silla de ruedas que pone en posición vertical al usuario	20
Figura 1.17 Funcionamiento de mecanismo de silla de ruedas	20
Figura 1.18 Ángulos adecuados para el uso de la silla de ruedas	21
Figura 2.1 Ruedas anti vuelvo	28
Figura 2.2 Aros de propulsión con proyecciones	29
Figura 2.3 Ruedas Delanteras	29
Figura 2.4 Medidas antropométricas del hombre peruano en posición vertical	30
Figura 2.5 Medidas antropométrica del hombre peruano en posición sentada	31
Figura 2.6 Estructura de Funciones	35
Figura 2.7 Concepto solución 1	37
Figura 2.8 Concepto solución 2	38
Figura 2.9 Concepto solución 3	38
Figura 2.10 Gráfica de decisión	40
Figura 3.1 Esquema de la silla de ruedas en posición sentada y sus medidas geométricas	42
Figura 3.2 Esquema de la silla de ruedas en posición Bípeda y sus medidas geométricas	42
Figura 3.3 Estructura de asiento de silla de ruedas	44
Figura 3.4a Asiento de Silla de Rueda	45
Figura 3.4b Ensamblaje con estructura de asiento	45
Figura 3.5a Estructura de respaldar de silla de ruedas	45
Figura 3.5b Tapicería de vinilo del respaldar	45
Figura 3.6 Estructura óptima del Chasis de la silla de ruedas	46
Figura 3.7 Rangos ideales para una posición sentada del usuario	48
Figura 3.8 Ángulo de 14° respecto de la vertical	48
Figura 3.9 Centro de gravedad del usuario en posición sentada respecto al eje de la rueda trasera	49
Figura 3.10 Centro de Gravedad de usuario en posición vertical	51
Figura 3.11 Elementos del mecanismo a mover	52
Figura 3.12 Posición de ejes de referencia	53
Figura 3.13 Posición de línea paralela al eje de referencia Z	54
Figura 3.14a Selección del actuador. (a) Longitud de extendido del actuador, (b) Puntos de fijación del actuador	54
Figura 3.15 Selección del actuador. (a) Longitud de actuador comprimido, (b) Longitud del actuador para el mecanismo	55

Figura 3.16 Distribución de fuerzas actuantes en actuador -----	56
Figura 3.17 Datos técnicos del actuador seleccionado: Pistón a gas de empuje D 8-19 ----	58
Figura 3.18 Trayectoria de la Fuerza del Pistón -----	58
Figura 3.19 Curva de fuerzas en el pistón VS la fuerza requerida real en el pistón -----	59
Figura 3.20 Medidas del actuador y selección del actuador -----	60
Figura 3.21 Partes principales de la silla de ruedas -----	60
Figura 3.22 Análisis dinámico. (a) DCL para análisis dinámico, (b) Posición angular cada 10° -----	61
Figura 3.23 Diagrama de Cuerpo Libre del Cuerpo S1 -----	62
Figura 3.24 Diagrama de Cuerpo Libre del Cuerpo S2 -----	62
Figura 3.25 Diagrama de Cuerpo Libre del Cuerpo S3 -----	63
Figura 3.26 Distribución de medidas respecto al centro de gravedad del Elemento S1 ----	64
Figura 3.27 Distribución de medidas respecto al centro de gravedad del Elemento S2 ----	65
Figura 3.28 Distribución de medidas respecto al centro de gravedad del Elemento S3 ----	66
Figura 3.29 Ubicación de Polo -----	67
Figura 3.30 Fuerza de usuario(N) vs Posición de asiento respecto de la vertical ( $\Theta^\circ$ ) -----	71
Figura 3.31 Las 9 posiciones de análisis estático-----	72
Figura 3.32 Diagrama de cuerpo libre del respaldar sometido a fuerza crítica-----	73
Figura 3.33 Análisis por elementos finitos de la estructura respaldar-----	74
Figura 3.34 Diagrama de cuerpo libre en el pin de la articulación entre asiento y respaldar -----	74
Figura 3.35 Diagrama de cuerpo libre del asiento cuando se ejerce la carga crítica-----	76
Figura 3.36 Diagrama de cuerpo libre en el pin de la articulación entre asiento y chasis ---	77
Figura 3.37 Análisis por elementos finitos en el pin de la articulación asiento-chasis-----	77
Figura 3.38 Fuerzas distribuidas en el pin de la articulación entre respaldar y biela -----	78
Figura 3.39 Fuerzas actuantes en biela-----	78
Figura 3.40 Longitud efectiva de biela para análisis de pandeo-----	79
Figura 3.41 D.C.L. de Chasis-----	80
Figura 3.42 Análisis estático en chasis-----	81
Figura 3.43 Montaje y Despiece de Eje de Ruedas -----	81
Figura 3.44 D.C.L. de usuario en posición sentada: $W_s$ (peso de silla) y $W$ (peso de usuario) -----	82
Figura 3.45 D.C.L. en eje de la rueda-----	83
Figura 3.46 D.C.L. de usuario en posición bípeda y brazos estirados con masa $M$ -----	84
Figura 4.1 Vista isométrica del diseño final de la silla de ruedas -----	86
Figura 4.2 Diseño final de silla de ruedas. (a) usuario sentado, (b) usuario en transición bípeda, (c) usuario en posición bípeda -----	87

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Origen de la discapacidad -----	8
Tabla 2.1 Tabla extraída de Distribución de Talla y Peso para mayores de 2 años-----	26
Tabla 2.2 Dimensiones generales de la silla de ruedas -----	31
Tabla 2.3 Dimensiones principales de la silla de ruedas -----	32
Tabla 2.4 Resumen de Requerimientos -----	33
Tabla 2.5 Evaluación Técnica según VDI 2225-----	39
Tabla 2.6 Evaluación Económica según VDI 2225 -----	39
Tabla 3.1 Dimensiones principales de la estructura de silla de ruedas-----	43
Tabla 3.2 Dimensión, Peso y radio de curvatura de Tubo cédula 40 -----	43
Tabla 3.3 Propiedades Mecánicas-----	44
Tabla 3.4 Centro de Gravedad en posición sentada -----	50
Tabla 3.5 Centro de Gravedad en posición Vertical-----	51
Tabla 3.6 Fuerzas de elevación en el pistón -----	56
Tabla 3.7 Fuerza para colocar al usuario en posición bípeda en 9 posiciones angulares ---	57
Tabla 3.8 Momentos de inercia de masa S1 -----	64
Tabla 3.9 Posición relativa entre puntos A, B y C-----	64
Tabla 3.10 Momentos de Inercia S2-----	65
Tabla 3.11 Posición relativa entre puntos B, D, E y m-----	65
Tabla 3.12 Momentos de Inercia S3-----	66
Tabla 3.13 Distancia entre puntos A y F -----	66
Tabla 3.14 Velocidades angulares en distintas posiciones-----	68
Tabla 3.15 Aceleraciones en diferentes posiciones -----	69
Tabla 3.16 Fuerzas actuantes en el mecanismo para usuario de 100kg-----	71
Tabla 3.17 Fuerzas actuantes en el mecanismo para usuario de 60kg -----	71
Tabla 4.1 Lista de planos de ensamblaje -----	87
Tabla 4.2 Lista de planos de despiece-----	87
Tabla 4.3 Lista y Costo de Materiales para fabricación-----	88
Tabla 4.4 Lista y Costo de Elementos Estándar-----	89
Tabla 4.5 Lista y Costo de Accesorios Comerciales -----	90
Tabla 4.6 Costo de pintura-----	90
Tabla 4.7 Cantidad de Horas Hombre para la fabricación de Piezas -----	91
Tabla 4.8 Costo Soles/hora de Horas Hombre -----	91
Tabla 4.9 Resumen de los costos Materiales y Fabricación-----	91
Tabla 4.10 Resumen de los costos totales -----	92
Tabla 4.11 Valor de venta final al usuario-----	92

## INTRODUCCIÓN

Hoy en día el 12.8% de la población en todo el Perú, según el INEI-CONADIS-2000 al 2017, padece de alguna discapacidad ya sea motriz, visual, en el habla, la audición, el intelecto o en la conducta que no le permite desarrollarse “normalmente” en la sociedad. Además, para atenuar dicha discapacidad se necesita una prótesis, una silla de ruedas para el caso de personas parapléjicas, etc. En el caso de la silla de ruedas, es un medio de transporte que ayuda a desplazarse y también logra la participación e inclusión del individuo en la sociedad. Sin embargo, la disponibilidad de una silla de ruedas a la medida de la persona es limitada ya que normalmente estas sillas se deben importar, cuyo costo de adquisición suele estar desde los US\$200 para sillas con mecanismos simples, y superar US\$1000 para sillas con mecanismos eléctricos.

Estos aparatos deben tener como principal característica la funcionalidad, comodidad y movilidad del usuario, esto nos conduce a que las sillas de ruedas tienen que amoldarse al usuario y no al revés. Por eso existen en el medio diferentes variedades de sillas ya sean manuales o eléctricas que son transportables, desmontables, plegables, ajustable ya sea en el espaldar, los posa brazos, la anchura del asiento, el reposapiés, etc. Todos estos elementos pueden ser de distintos materiales y mecanismos para su regulación.

En el Perú algunos tipos de sillas, como las manuales, son fabricadas en nuestro medio, pero en algunos casos son adaptaciones. Es decir, éstas pueden ser muy pesadas, muy anchas, con estructuras no modulares que limitan el traslado de un lugar a otro. Así también, es necesidad una silla de ruedas que permita posicionar verticalmente al usuario desde la posición sentada. Esta función ayudaría a la persona a tener mayor independencia, ya que tendría más opciones a alcanzar objetos que están a mayor altura, como también tener un cambio de posición de la forma habitual de estar sentando a estar verticalmente, lo cual ayudaría a la circulación de los fluidos internos, aireación muscular para evitar la formación de escaras.

Por tal motivo en este trabajo se propone el diseño mecánico de una silla de ruedas que contemple un sistema que permita posicionar verticalmente al usuario, además seleccionar la forma geométrica adecuada y los materiales para la silla de ruedas

que sea una solución económica para las personas con discapacidad física: paraplejía. Este sistema tendrá un mecanismo que permita levantar a la persona desde su posición sentada hasta su posición vertical.

Esta propuesta de silla de rueda busca una ventaja económica en el medio local y considerará los cálculos de diseño y los planos de fabricación de la estructura.



## CAPÍTULO I

### PARAPLEJÍA EN EL PERÚ Y SILLA DE RUEDAS

Este primer capítulo se aborda la definición de discapacidad y paraplejía, así como las diferentes situaciones que tienen que enfrentar una persona con discapacidad, especialmente los que tienen paraplejía. Además, se muestran los diferentes tipos de silla de rueda y sus componentes, los que deben cumplir con las normativas técnicas peruanas (NTP) e internacionales (RESNA e ISO) para desarrollo y fabricación de silla de ruedas.

#### 1.1 Problemática de las personas con paraplejía

Antes de describir la situación actual de las personas con discapacidad en el Perú, específicamente los que tiene paraplejía, se abordará el significado del término “Discapacidad”.

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), en su Clasificación Internacional de Deficiencias, Discapacidades y Minusvalías (CIDDM), publicada en 1980, señala que una discapacidad “es toda restricción o ausencia (debida a una deficiencia) de la capacidad de realizar una actividad en la forma o dentro del margen que se considera normal para un ser humano”. En la actualidad, la “discapacidad es un término general que abarca las deficiencias, las limitaciones de la actividad y las restricciones de la participación. Las deficiencias son problemas que afectan a una estructura o función corporal; las limitaciones de la actividad son dificultades para ejecutar acciones o tareas, y las restricciones de la participación son problemas para participar en situaciones vitales. Por consiguiente, la discapacidad es un fenómeno

complejo que refleja una interacción entre las características del organismo humano y las características de la sociedad en la que vive”.

En el Perú la Ley General de la Persona con Discapacidad, establece la siguiente definición: “La persona con discapacidad es aquella que tiene una o más deficiencias evidenciadas con la pérdida significativa de alguna o algunas de sus funciones físicas, mentales o sensoriales, que impliquen la disminución o ausencia de la capacidad de realizar una actividad dentro de formas o márgenes considerados normales, limitándola en el desempeño de un rol, función o ejercicio de actividades y oportunidades para participar equitativamente dentro de la sociedad.”

Con estas definiciones dadas se resume que, la discapacidad es toda limitación en la actividad diaria de la persona y restricción en la participación en la sociedad, que se origina en una deficiencia y que afecta a una persona en forma permanente.

Los tipos de discapacidades que existen, según la Organización Mundial de la Salud (OMS), son:

- ❖ Discapacidad Intelectual
- ❖ Discapacidad física o motora
- ❖ Discapacidad auditiva
- ❖ Discapacidad visual

Según la Clasificación Internacional del Funcionamiento (CIF), de la Discapacidad y de la Salud de la OMS, la paraplejia está clasificada dentro del capítulo de Enfermedades del sistema nervioso que son:

- ❖ (G00-G09) Enfermedades inflamatorias del sistema nervioso central.
- ❖ (G10-G13) Atrofias sistémicas con afección primaria del sistema nervioso central.
- ❖ (G20-G26) Trastornos extrapiramidales y del movimiento.
- ❖ (G30-G32) Otras enfermedades degenerativas del sistema nervioso.
- ❖ (G35-G37) Enfermedades desmielinizantes del sistema nervioso central.
- ❖ (G40-G47) Trastornos episódicos y paroxísticos.
- ❖ (G50-G59) Trastornos de los nervios, de las raíces y de los plexos nerviosos.

- ❖ (G60-G64) Polineuropatías y otros trastornos del sistema periférico.
- ❖ (G70-G73) Enfermedades musculares y de la unión neuromuscular.
- ❖ (G80-G83) Parálisis cerebral y otros síndromes paralíticos.
- ❖ (G90-G99) Otros trastornos del sistema nervioso.

Entre estas agrupaciones, la paraplejia se encuentra dentro del grupo de G80-G83. Y ésta, a su vez, se clasifica en:

- ❖ (G80) Parálisis cerebral.
- ❖ (G81) Hemiplejia
- ❖ (G82) Paraplejia y tetraplejia
  - (G82.0) Paraplejia flácida: Extrema debilidad de los músculos y pérdida de tono.
  - (G82.1) Paraplejia espástica: Rigidez progresiva del tono muscular.
  - (G82.2) Paraplejia sin especificar
  - (G82.3) Tetraplejia flácida
  - (G82.4) Tetraplejia espástica
  - (G82.5) Tetraplejia sin especificar
- ❖ (G83) Otras parálisis

El grupo G80-G83 indica que la paraplejia es una consecuencia de los problemas en nuestro sistema nervioso.

En el Perú, en el año 2017, se realizó una encuesta de las principales características de las personas con discapacidad, por tipo de Limitaciones. En la Figura 1.1<sup>1</sup> se muestra que la mayor cantidad de personas con discapacidad este comprendida entre los 10 y los 59 años de edad. Además, la Figura 1.2 se muestra que el 62,4% tiene una deficiencia músculo esqueléticas de los cuales el 32.9% tiene una limitación de la locomoción según se muestra en la Figura 1.3.

---

<sup>1</sup> Consejo Nacional para la Integración de la persona con discapacidad-CONADIS.2018. Compendio Estadístico 2000-2017. CONADIS. [Compendio-Estadístico-del-RNPCD-2000-2017 \(1\).pdf](#). [16/01/2021].

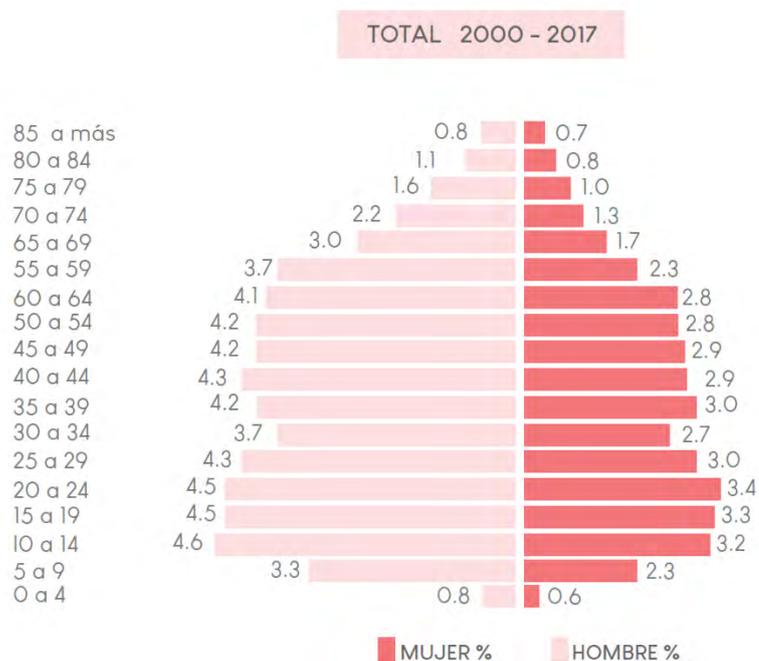


Figura 1.1 Principales Características de la Persona con Discapacidad

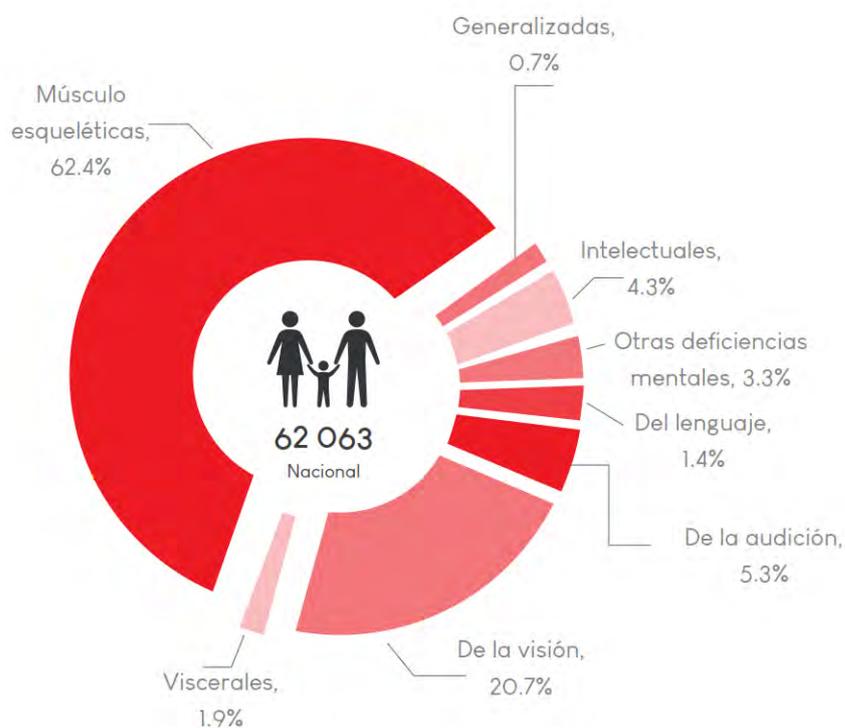


Figura 1.2 Población inscrita en el registro nacional de la persona con discapacidad con sola una deficiencia, 2000-2017<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Consejo Nacional para la Integración de la persona con discapacidad-CONADIS.2018. Compendio Estadístico 2000-2017. CONADIS. [Compendio-Estadístico-del-RNPCD-2000-2017 \(1\).pdf](#). [16/01/2021]

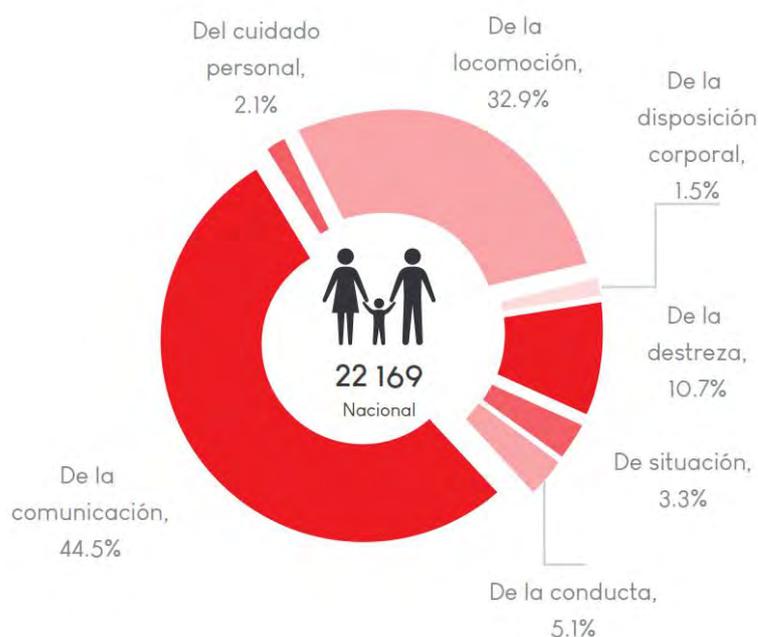


Figura 1.3 Población inscrita en el registro nacional de la persona con discapacidad con sola una limitación, 2000-2017<sup>3</sup>

Esta limitación de la locomoción no permite que la persona pueda desplazarse de un lugar a otro por sí mismo. Por ello, es importante que las personas con esta discapacidad tengan la accesibilidad de movilidad, comunicación y comprensión y no haya barreras en la sociedad.

La falta de accesibilidad de las personas con discapacidad es percibida solamente cuando ésta obstaculiza o impide el desplazamiento de una persona en una infraestructura, lo que conlleva a la desigualdad, marginación y pérdida en la calidad de vida.

### 1.1.1 Causas de la paraplejía

La “paraplejía” es una enfermedad por la cual la parte inferior del cuerpo queda paralizada y carece de funcionalidad. Normalmente es resultado de una lesión medular o de una enfermedad congénita como la espina bífida (malformación congénita que se manifiesta por una protuberancia en la parte inferior de la espalda del niño). Una polineuropatía (disminución en la capacidad para moverse o sentir

<sup>3</sup> Consejo Nacional para la Integración de la persona con discapacidad-CONADIS.2018. Compendio Estadístico 2000-2017. CONADIS. [Compendio-Estadístico-del-RNPCD-2000-2017 \(1\).pdf](#). [16/01/2021]

(sensibilidad) debido a un daño neurológico) puede tener también como consecuencia la paraplejía.

Las causas de la paraplejía van desde la traumática (lesión medular grave: seccionamiento o compresión de la médula espinal, usualmente por fragmentos de hueso de una fractura vertebral o un traumatismo obstétrico en los niños o una bala, por ejemplo) a tumores (compresión crónica de la médula), mielitis transversa y esclerosis múltiple, también como consecuencia del Mal de Pott. Otras causas pueden ser:

- ❖ Lesiones durante el parto, que suelen afectar a la columna vertebral en la zona del cuello.
- ❖ Caídas.
- ❖ Accidentes de tráfico (cuando la persona va como pasajero en un automóvil o en caso de atropello de un peatón).
- ❖ Lesiones deportivas.
- ❖ Accidentes al saltar al agua de cabeza.
- ❖ Accidentes en un trampolín.
- ❖ Violencia (disparos o puñaladas).

En la Tabla 1.1 se muestra que el origen de las discapacidades puede ser por diversas razones. Además, nos indica que un 28% es por causa de alguna enfermedad, el 16% es causa congénita, el 16% por edad avanzada y un 9% es por causa de un accidente o alguna actividad deportiva.

Tabla 1.1: Origen de la discapacidad<sup>4</sup>

Origen de la Discapacidad por Sexo						
Origen	Total		Hombres		Mujeres	
Total	434 229	100%	215 091	100%	219 138	100%
Congénito	71 525	16%	40 080	19%	31 445	14%
Enfermedad	119 715	28%	50 063	23%	69 652	32%
Accidente común	44 511	10%	22 469	10%	22 042	10%
Accidente de tránsito	16 137	4%	10 011	5%	6 126	3%
Accidente laboral	16 857	4%	14 512	7%	2 345	1%
Actividades deportivas	2 396	1%	1 825	1%	571	0%
Violencia Común	4 156	1%	3 375	2%	781	0%
Violencia familiar	10 088	2%	4 564	2%	5 524	3%
Violencia Terrorista	1 001	0%	801	0%	200	0%
Desastre natural	158	0%	0	0%	158	0%
Edad avanzada	67 600	16%	29 395	14%	38 205	17%
Negligencia médica	8 031	2%	3 979	2%	4 052	2%
Alcohol y drogas	742	0%	580	0%	162	0%
No sabe	7 1312	16%	33 437	16%	37 875	17%

<sup>4</sup> Instituto Nacional de Rehabilitación. 2008. Análisis de la situación de la discapacidad en el Perú 2007. MINSA. [LIBRO INSTITUTO 2008 \(inr.gob.pe\)](#). [16/01/2021]

### **1.1.2 Entorno físico**

El entorno físico significa que cualquier ambiente construido por el hombre, todas las personas, incluidas aquellas con discapacidad, deben tener las facilidades necesarias para poder desarrollar las actividades previstas para estos espacios en condiciones de autonomía, comodidad y seguridad.

Entonces, hay que tener en consideración las normas que fijan las condiciones para hacer que las edificaciones y el mobiliario urbano (semáforos, postes de señalización y similares, carteles publicitarios, cabinas telefónicas, bancas, restaurant, tachos, toldos, marquesinas, kioscos, paraderos de transporte y otros), los espacios públicos (calzadas, aceras, estacionamientos, plazas y parques, etc.) y las edificaciones sean accesibles y cumplan con las características necesarias para el desplazamiento y el acceso adecuado para las personas con discapacidad. Esto quiere decir que todas las personas tengan o no discapacidad, deberían poder llegar a todos los lugares y edificios que deseen, dónde se ofrezca cualquier tipo de servicio sin realizar esfuerzos adicionales, hacer uso de las instalaciones que se presten y en caso sea necesario poder ser evacuados en condiciones de seguridad.

### **1.1.3 Accesibilidad de las personas en silla de ruedas**

Como se dijo anteriormente, la falta de accesibilidad de las personas con discapacidad es percibida solamente cuando ésta obstaculiza o impide el desplazamiento de una persona en una infraestructura, lo que conlleva a la desigualdad, marginación y pérdida en la calidad de vida.

La accesibilidad podemos entenderla en función de tres formas básicas de la actividad humana: movilidad, comunicación y comprensión, y que las dificultades que se presentan para la realización de estas actividades generan lo que llamamos barreras:

- Barreras urbanísticas: Se encuentran en los espacios públicos incluyendo la ubicación del mobiliario urbano.
- Barreras arquitectónicas: Se presentan en la dificultad o impedimento del acceso a infraestructuras.
- Barreras en el transporte: Son las que impiden el acceso a las unidades de transporte de todo tipo.

- Barreras en las comunicaciones: Son las que afectan la comprensión y captación de los mensajes visuales, verbales o por medios técnicos.

Lo más importante es considerar las dimensiones de los espacios, teniendo en cuenta las condiciones que se requiere para el desplazamiento y su utilización, cuando las personas requieren compensaciones biomecánicas o de otro tipo para su movilidad.

Las condiciones de acceso adecuado para una persona en silla de rueda son<sup>5</sup>:

- i. Ingresos: Deberán cumplir con condiciones de accesibilidad mediante rampas con un ancho mínimo de 90 cm y una pendiente máxima de 14%, de acuerdo a la longitud de la pendiente. Si en caso no hubiera rampa contar con algún medio mecánico.
- ii. Puertas principales e interiores: Para las puertas principales de un establecimiento público el ancho mínimo debe ser de 1,2m y altura mínima de 2,1m. Las manijas deben ser de tipo palanca y su altura desde el piso debe ser como máximo 1,2m.
- iii. Pasadizos: Para pasadizos simples y cortos el ancho mínimo debe ser 1,2m, pero para pasadizos dobles el ancho mínimo debe ser de 1,5m que permita el giro de una silla de ruedas.
- iv. Escaleras: Deben tener un ancho mínimo de 1,2m y ser antideslizante. Además, debe contar con pasamanos colocados a una altura de 80cm. Los pasos y contrapasos deben tener dimensiones uniformes.
- v. Ascensores: Las dimensiones interiores mínimas para uso público es de 1,5m de ancho y 1,4m de profundidad.
- vi. Servicios Higiénicos: Las dimensiones mínimas interiores de un baño para el uso de una persona en silla de ruedas es de 1,5m de ancho y 2,0m de profundidad.
- vii. Señalización: Todo lugar de uso público debe estar debidamente señalizado que indique el lugar para uso de una persona con discapacidad.

---

<sup>5</sup>Jaime Huerta Peralta. 2006. Discapacidad y Accesibilidad. La Dimensión desconocida. Lima: Fondo Editorial del congreso del Perú. [TOMO5-accesib.indd \(minsa.gob.pe\)](#). [16/01/2021]

## 1.2 Leyes y Normativa

Existen muchas Leyes y Normas que permiten salvaguardar la integridad física y la no discriminación de la persona con discapacidad. Como también establecer la accesibilidad de los edificios públicos y privados para el uso de los mismos. Mencionamos algunas Normas y Leyes importantes:

- Norma Técnica de Edificación NTE A.060 Adecuación Arquitectónica para Personas con Discapacidad.
- Norma Técnica de Edificación NTE U.190 Adecuación Urbanística para Personas con Discapacidad.
- Ley N°27050 - Ley General de la Persona con Discapacidad.
- Ley N°28164 - Modifica diversos artículos de la Ley N°27050.
- Ley N°23347 - Ley en favor de los impedidos físicos que utilizan sillas de ruedas.
- Ley N°27920 – Establece sanciones por el incumplimiento de normas técnicas de edificación NTE U. 190 y NTE A. 060, sobre adecuación urbanística y arquitectónica para personas con discapacidad
- Ley N°28084 – Regula el parqueo especial para vehículos ocupados por personas con discapacidad.

## 1.3 La Silla de Ruedas

La silla de ruedas es un aparato<sup>6</sup> que permite el desplazamiento de aquellas personas con problemas de locomoción o movilidad reducida.

Se cree que la primera silla de ruedas se fabricó en el año 4000 AC junto con la invención de la rueda. Muchos años después en 1595 se fabrica, para el Monarca Felipe II, una silla con ruedas similar a las sillas de ruedas actuales, como se observa en la Figura 1.4.

---

<sup>6</sup> “Conjunto organizado de piezas que cumple una función determinada”. REAL ACADEMIA ESPAÑOLA: *Diccionario de la lengua española*, 23.ª ed., [versión 23.4 en línea]. <https://dle.rae.es> [16/01/2021].

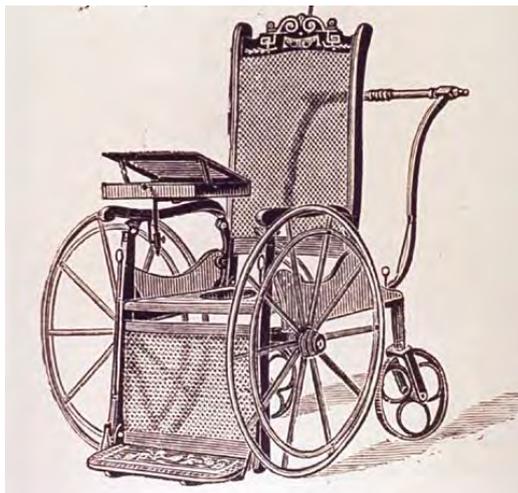


Figura 1.4 Silla con ruedas acopladas del año 1595<sup>7</sup>

### 1.3.1 Tipos de Sillas de Ruedas

Las sillas de ruedas se clasifican por el tipo de propulsión: manuales y eléctricas, pero dentro de cada una de estos tipos existen variantes, de los cuales se presentarán los más relevantes.

a) *Sillas de Ruedas Manuales*: Como se ve en la Figura 1.5, son aquellas propulsadas por uno mismo o por un ayudante. Usualmente tienen ruedas traseras de entre 20 y 26 pulgadas de diámetro fijadas a un eje y posicionadas de forma que los usuarios pueden moverlas empujando hacia abajo o tirando hacia arriba los bordes.



Figura 1.5 Silla de Ruedas propulsada manualmente<sup>8</sup>

<sup>7</sup> Historia de la Silla de Ruedas. Guiamovilidad, [<http://www.guiamovilidad.com/noticias/129-historia-de-las-sillas-de-ruedas.htm>]. [05/05/2021]

<sup>8</sup> Silla de Ruedas Manual. Disponible en: [<http://www.dfarmacia.com/ficheros/images/4/4v24n08/grande/4v24n08-13078588fig01.jpg>]. [05/05/2021]

b) *Sillas de Tipo Scooter*: Tienen cuatro pequeñas ruedas que se extienden desde una plataforma baja como se ve en la Figura 1.6. La silla montada sobre esta plataforma varía de acuerdo con la discapacidad y las necesidades del usuario. Una de las ventajas del scooter es que la silla puede pivotar y permitir al usuario subirse de cualquiera de los lados. Una desventaja es que el usuario debe mantener una postura “rígida” cuando maneja. Esto significa que las sillas tipo scooter rara vez son apropiadas para los discapacitados graves.



Figura 1.6 Silla de Ruedas tipo scooter<sup>9</sup>

c) *Sillas de ruedas deportivas*: Diseñadas para uso deportivo, ya sea tenis, baloncesto, atletismo, rugby o incluso baile. Cada disciplina deportiva tiene su silla específica con un diseño propio. Algunas características comunes: defensas, centro de gravedad bajo, ruedas inclinadas, sistemas antivuelco. Dentro de esta clasificación están la Hand Bikes para competición, triciclos de mano.

Las principales características de este tipo de sillas son que están fabricados de chasis livianos y rígidos, y que brindan una gran estabilidad como se muestra en la Figura 1.7.

<sup>9</sup> Silla de Ruedas tipo scooter. Disponible en: [\[MOCHILA MINI SILLAS DE RUEDAS O SCOOTERS - ORTOPEDIA ORTOJOBEL\]](#) [3/06/2021]



Figura 1.7 Silla de ruedas deportivas<sup>10</sup>

d) *Sillas de ruedas para levantarse*: Cuentan con mecanismo que permite que el usuario cambie su posición sentada a parada como se muestra en la Figura 1.8. Usualmente utilizan la energía hidráulica que acciona estos mecanismos. Esta es una característica importante ya que le permite al usuario alcanzar un artículo en un estante alto.



Figura 1.8 Silla de ruedas para levantarse<sup>11</sup>

e) *Sillas de ruedas para subir escaleras*: Es el mayor desafío que se pueda presentar para desplazarse en la silla de ruedas, pero no por ello deja de haber soluciones a este problema, como se aprecia en la Figura 1.9.

<sup>10</sup> Silla de ruedas deportivas. Disponible en: [[Bicicleta Eliminator OSR Invacare - ORTOPEDIA ORTOJOBEL \(sillasderuedas.es\)](https://www.ortopediortojosbel.com/sillasderuedas)] [3/06/2021]

<sup>11</sup> Silla de ruedas para levantarse. Disponible en: [[MANUAL STANDING WHEELCHAIR HERO - ORTOPEDIA ORTOJOBEL \(sillasderuedas.es\)](https://www.ortopediortojosbel.com/manual-standing-wheelchair-hero)] [3/06/2021]



Figura 1.9 Silla de ruedas para subir escaleras<sup>12</sup>

f) *Sillas de ruedas pediátricas*: Diseñadas para niños y adolescentes. Cuentan con regulaciones que permiten ajustar el ancho y distintos componentes conforme el niño va creciendo como se observa en la Figura 1.10.



Figura 1.10 Silla de ruedas pediátricas<sup>13</sup>

g) *Sillas de ruedas postura o reclinables*: Para usuarios con movilidad reducida o nula y que precisan de un control postural eficiente. Para su diseño se deja de lado factores como el tamaño o el peso a favor de conseguir una posición sentada correcta. Posee respaldar reclinable y un asiento basculante. También cuentan con reposapiés ajustables, controles adicionales y cabeceros para un control postural total como lo vemos en la Figura 1.11.

<sup>12</sup> Sillas de ruedas para subir escaleras. Disponible en: [[YACK 912 SALVAESCALERAS - ORTOPEDIA ORTOJOBEL \(sillasderuedas.es\)](#)] [3/06/2021]

<sup>13</sup> Sillas de ruedas pediátricas. Disponible en: [[Silla de ruedas manual - R82 Kudu - Etac - pediátrica / de exterior / de interior \(medicalexp.es\)](#)] [3/06/2021]



Figura 1.11 Silla de ruedas posturales<sup>14</sup>

h) *Silla de ruedas eléctrica*: Las sillas de ruedas con motor eléctrico son ideales para cualquiera que no posea la fuerza o la habilidad para manejar una silla de ruedas manual. Las baterías recargables montadas bajo el asiento suministran la energía para los motores eléctricos que impulsan dos o bien las cuatro ruedas. Los diferentes arreglos de tracción determinan la forma en que la silla de ruedas se mueve y maniobra. Pero generalmente la rueda motriz es la que tiene mayor tamaño como se ve en la Figura 1.12. Sus principales componentes son:

- El chasis: Donde van montadas todas las piezas que conforman la silla, el tipo de material suele ser de acero, aunque también puede ser fabricadas en aluminio.
- El motor: La mayoría de las sillas de ruedas eléctricas cuentan con 2 motores, uno a cada lado, que dirigen tanto la velocidad de la silla como su dirección, las ruedas delanteras giran libremente 360 grados para poder dirigirse hacia donde le ordenan los motores. En caso de avería de algunos de los motores éstos están provistos de embragues que liberan la rueda. En su posición normal el motor bloquea la rueda de forma que solo se mueva cuando accionamos el mando de control.
- El sistema de control: El más comercial son el joystick. Estos pueden ser modular e integral. El modular es cuando el sistema de potencia se encuentra fuera del joystick. El integral es cuando el sistema de potencia se encuentra dentro del joystick. El sistema de potencia está encargado de enviar la energía a los motores.

<sup>14</sup> Sillas de ruedas posturales. Disponible en: [[SILLA INFANTIL SPECTRA BLITZ - ORTOPEDIA ORTOJOSBEL \(sillasderuedas.es\)](http://sillasderuedas.es)]. [3/06/2021]

- Las baterías: Vienen en tres tipos: célula-húmeda (son las más livianas y son las más baratas), célula-gel (son más pesadas y duran más tiempo que las baterías de célula-húmeda), y AGM (son pesadas y costosas y no necesitan de mantenimiento).
- El cargador: Componente que carga las baterías. Pueden ser automáticos (no hay problema en dejarlo enchufado muchas horas, pues éste dejará de cargar cuando la batería tenga la energía completa). Cada silla de ruedas tiene su propio tipo de cargador.



Figura 1.12 Silla de ruedas eléctricas<sup>15</sup>

### 1.3.2 Componentes Básicos de una Silla de Ruedas

La silla de ruedas consta de los siguientes componentes necesarios, sea ésta manual o eléctrica. En la Figura 1.13 se puede ver los componentes básicos de la silla de rueda.

- Chasis: Puede ser rígido o plegable. La diferencia es que el rígido se aprovecha mejor la energía aplicada por el usuario (se aprovecha 15-20% del impulso), que en una plegable (aprovecha 5 - 8% del impulso) esto debido a que en la silla plegable se pierde en el movimiento de su estructura por los puntos de articulación
- Las ruedas: El tamaño de las ruedas dependen del tipo uso que le dará el usuario. Pueden ser macizas, neumáticas, mixto.
- Aros de las Llantas: Pueden ser de plástico, con rayos de aluminio o algún otro material como las fibras de carbono.

<sup>15</sup> Sillas de Ruedas Eléctricas. Disponible en: [[Silla de Ruedas Eléctrica Mistral 10 - ORTOPEDIA ORTOJOSBEL \(sillasderuedas.es\)](http://sillasderuedas.es)]. [3/06/2021]

- Aros de propulsión: Pueden ser de aluminio, acero, titanio, o recubiertos de plástico.
- Frenos: Pueden ser frenos de tijera, zapata, manos, tambor.
- Reposabrazos: Pueden ser fijos, desmontables, regulables en altura, tipo escritorio, tubulares.
- Reposapiés: Pueden ser fijos regulables, elevables.
- Asientos: Son de tejido fuerte.
- Respaldos: De construcción similar al asiento, de tejido fuerte.



Figura 1.13 Componentes de la Silla de Ruedas<sup>16</sup>

#### 1.4 Mecanismos de elevación

Los mecanismos de elevación que se encuentra en el medio son operados por tres tipos de energía principalmente, manual, eléctrica e hidráulica.

En la Figura 1.14 se observa una estructura articulada que posicione verticalmente al usuario con la ayuda de unos resortes de gas comprimido como se aprecia en la Figura 1.15. Además, podemos indicar que los mangos (#51 que indica la Figura 1.15) sirven no solo como apoya brazos del usuario sino también como bloqueo de los resortes de gas que los mantiene comprimido.

<sup>16</sup> Componentes de la silla de ruedas. Disponible en: [<http://www.dfarmacia.com>]. [3/06/2021]

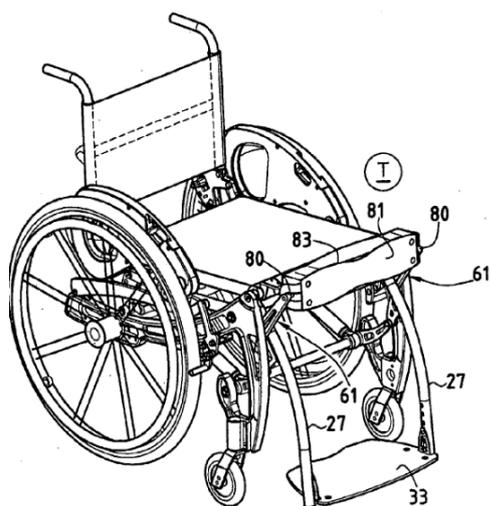


Figura 1.14 Silla de rueda articulada en posición horizontal<sup>17</sup>

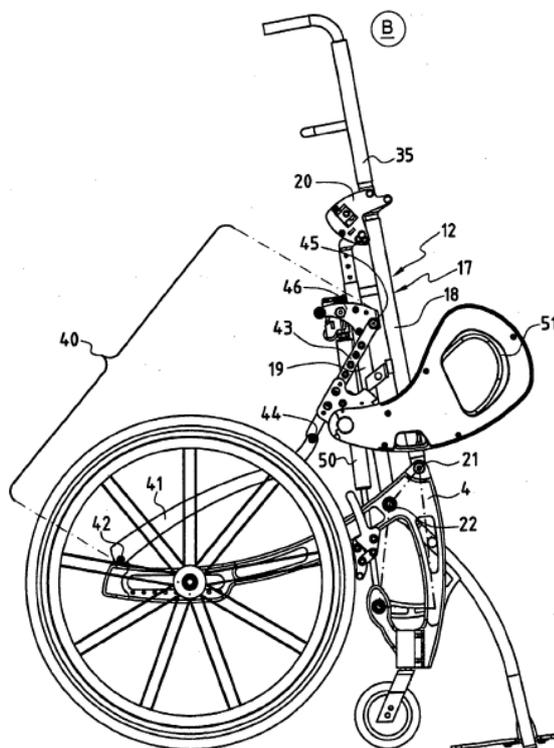


Figura 1.15 Silla de rueda articulada en posición vertical<sup>18</sup>

Otro mecanismo de elevación son los actuadores eléctricos como se observa en la Figura 1.16. El actuador eléctrico es el #31 en dicha figura. Este es accionado por sistema eléctrico alimentado por una batería, que al ser accionado mueve un conjunto

<sup>17</sup> Imagen tomada de patente: EP1488 769 B1 Stand-up wheelchair with removable leg support means

<sup>18</sup> Imagen tomada de patente: EP1488 769 B1 Stand-up wheelchair with removable leg support means

de mecanismos que permite poner en posición vertical al usuario como se observa en la Figura 1.17.

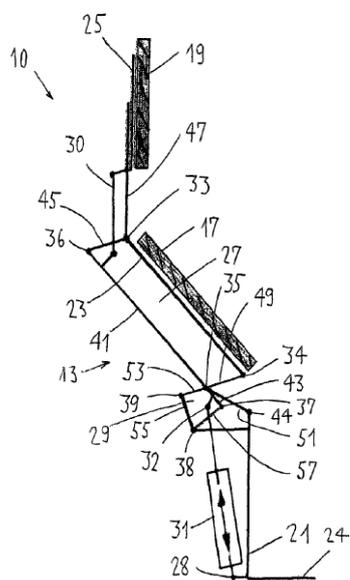


Figura 1.16 Mecanismo de silla de ruedas que pone en posición vertical al usuario<sup>19</sup>

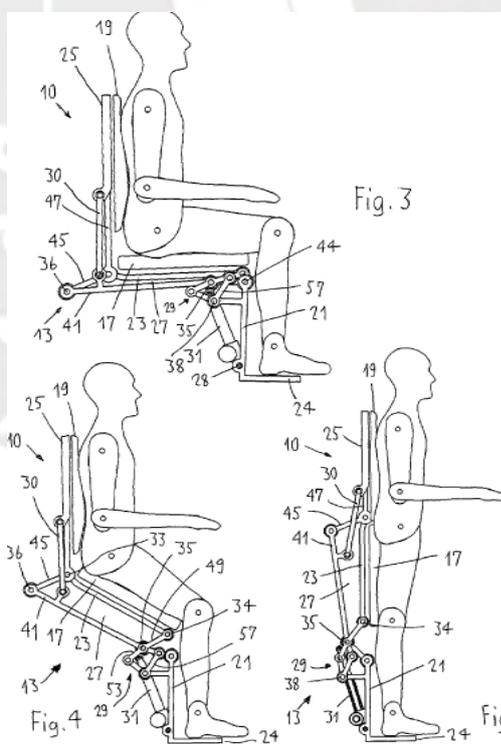


Figura 1.17 Funcionamiento de mecanismo de silla de ruedas<sup>20</sup>

<sup>19</sup> Imagen tomada de patente: US 8403352 B2 Stand-up unit for stand-up wheelchairs and chairs, particularly therapy chairs

<sup>20</sup> Imagen tomada de patente: US 8403352 B2 Stand-up unit for stand-up wheelchairs and chairs, particularly therapy chairs

## 1.5 Consideraciones biomecánicas

Un diseño adecuado para una silla de ruedas debe tener en consideración la comodidad y seguridad del usuario sin que ésta le cause algún efecto negativo a su integridad física. Es por ello que es necesario tener en cuenta el aspecto Biomecánico<sup>21</sup> en el diseño de la silla de ruedas. Analizamos los siguientes aspectos<sup>22</sup>:

### A.- Postura del usuario en la silla de rueda:

- Tamaño del asiento: Da la correcta distribución del peso del usuario y la estabilidad de la silla de ruedas. La longitud óptima del asiento debe ser aquella que estando el usuario bien sentado (erguido) deje una distancia aproximada de dos dedos de espacio entre el final del asiento y la zona interna de las rodillas del usuario.
- Forma y ángulo del asiento: Una postura adecuada es aquella cuyo ángulo entre los muslos y el tronco es de 90°. La mejor forma de conseguir este ángulo es utilizando un cojín adaptado a la forma humana.
- Soporte de los pies: El ángulo adecuado para los tobillos de usuario es también de 90°, aunque pueda ligeramente hasta unos 82° para evitar chocar con los bordes de las escaleras (Figura 1.18).
- Altura del respaldo: El respaldo debe ser lo bastante alto como para estabilizar la región lumbar superior.
- Reposabrazos: La función de los reposabrazos es dar descanso a los brazos y músculos del cuello. Cuando se ajustan de manera adecuada, los antebrazos del usuario apoyados deben quedar a 90° del codo.

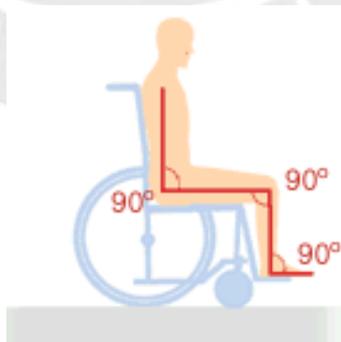


Figura 1.18 Ángulos adecuados para el uso de la silla de ruedas

<sup>21</sup> El término biomecánico se refiere al estudio de los modelos, fenómenos y leyes que sean relevantes en el movimiento y al equilibrio de los seres vivos.

<sup>22</sup> Fuente: SUNRISE MEDICAL Co.- Consideraciones Biomecánicas. [Consideraciones Biomecánicas en la silla de ruedas manual \(ortopediarehabilitacion.com\)](https://www.ortopediarehabilitacion.com). [3/06/2021]

### B.- Propulsión:

- Grado de movilidad: El grado de movilidad dependerá que el usuario tenga una buena movilidad en las articulaciones como la columna, hombro, codo, muñeca y dedos que delimitará la posibilidad de realizar un recorrido de propulsión óptimo que se inicia con la flexión de los músculos de los brazos por detrás del tronco hasta terminar a la altura de los muslos.
- Postura: Para la propulsión de la silla de rueda, el usuario debe estar sentado en una posición erguida y simétrica.
- Altura y posición de la rueda: Una adecuada y posición de la rueda es cuando el usuario en una posición relajada y con los brazos estirados pueda tocar los ejes de la rueda.
- Tamaño de la rueda: Es usual usar ruedas traseras de 24" de diámetro.
- Distancia entre ejes: De acuerdo al tipo de uso de la silla de ruedas, se elige una distancia larga entre ejes trasero y delantero que permite mantener un rumbo más recto, pero se usa más energía para su propulsión. O una distancia de ejes corta que gira con mayor facilidad y que requiere menor gasto de energía para su propulsión.
- Ángulos de las ruedas: La propulsión óptima se realiza con las ruedas traseras que formen un ángulo de 90° con el piso.

### C.- Rozamiento a rodar:

- La distribución del peso: Mayor peso sobre las ruedas delanteras provoca mayor rozamiento, pero al mismo tiempo hace que la silla sea más estable. Una silla de ruedas standard tiene una distribución del peso de 50/50, mientras que una silla ligera ajustable (según el ajuste) tiene una distribución del peso de 80% en la rueda trasera y 20% en la delantera (aproximadamente). Esto hace que ruede mejor que un standard pero que sea menos estable.
- El terreno: Donde la silla se va desplazar es muy importante ya que en un terreno o superficie duro(a) el rozamiento es menor que en un terreno blando.
- Tamaño y tipo de rueda: Una rueda de mayor diámetro presenta un mejor agarre con la superficie de contacto y por ende mayor rozamiento, en cambio una rueda de menor diámetro presenta un menor agarre y por ende un menor rozamiento. Una rueda neumática presente una mejor amortiguación, pero presenta mayor rozamiento que una rueda maciza.
- Tamaño de las ruedas delanteras: Para decidir un correcto tamaño de las ruedas hay que tener en consideración la distribución del peso y el tipo de terreno. Si

elegimos una distribución 80/20 es correcto utilizar una rueda de menor diámetro si es la superficie de desplazamiento en plana y dura. Pero si es un terreno a desnivel sería mejor una rueda de mayor diámetro.

- Centro de gravedad de la silla de ruedas: Si se lleva el centro de gravedad (CG) hacia abajo y adelante se reduce maniobrabilidad y se gana estabilidad, pero se aumenta el rozamiento, pero si se lleva el CG hacia atrás y arriba se gana maniobrabilidad y se reduce el rozamiento, pero se pierde estabilidad. Es por ello hay que un equilibrio que no conlleve a ninguno de los extremos.
- Distancia entre ejes de ruedas delanteras y traseras: Una menor distancia entre ejes se gana maniobrabilidad en el manejo, pero más inestable para mantener el rumbo en cambio una mayor distancia es más estable para mantener el rumbo, pero se pierde suavidad en la maniobrabilidad.
- Ángulo de las ruedas traseras: Un ángulo positivo (más ancho en la base) hace que la silla de ruedas sea más estable, pero se pierde una postura cómoda del usuario. Un ángulo negativo (menos ancho en la base) hace que la silla de ruedas sea menos estable. Un ángulo neutro es lo más óptimo para una silla de rueda estándar.
- Ángulo de las ruedas delantera: Si el ángulo es más abierto (superior a  $90^\circ$ ) la silla girará más rápido, pero al detenerse tenderá a irse hacia atrás y la parte delantera del armazón quedará más elevada. Si el ángulo es inferior a  $90^\circ$  se dificulta el giro y cuando se quiera detener la silla, esta tenderá a seguir rodando, y la parte delantera de la silla queda más baja que la trasera.

### **1.6 Antropometría y Ergonomía**

La antropometría estudia las medidas y dimensiones del cuerpo humano y la ergonomía estudia el diseño de los lugares del trabajo, herramientas y tareas que coinciden con las características fisiológicas, anatómicas, psicológicas y las capacidades del trabajador. Por tanto, se analizará las medidas del cuerpo humano en el Capítulo 2 y se concluirá cuál es la medida de la silla de rueda adecuada.

### 1.7 Opinión Especialista

En el desarrollo de este trabajo se consultó a un especialista lo siguiente, ¿Qué opina usted de las sillas de ruedas que pone al paciente en posición vertical y para que tipos de paciente podría servirle?

*“Esa silla de ruedas podría evitar el estrés de por ejemplo usar dos elementos como puede ser una silla de rueda y a la vez un bipedestador y el hecho que una misma silla cumpla la misma función facilita que el paciente sea más independiente en sus actividades de la vida diaria y hasta en sus actividades laborales y esa silla está más destinada para los pacientes que si conservan sus miembros inferiores pero que tienen la mayoría de la función motora... ósea no pueden caminar o no puede haber una...un movimiento voluntario de los segmentos para ponerlo desde la posición sentada a la posición bípeda. No interesa aquí un poco la patología sino la función abolida, entonces tenía que destinarse específicamente el estudio a esos tipos de sillas. Y si tiene un costo social, no simplemente ayudaría a las personas q manejan un dinero como para adquirirlo sino también a las personas de bajos recursos o de repente algunas entidades podrían encargarse del financiamiento y destinarlos a estos pacientes de mayores necesidades”.*

*Lic. Sergio Reynoso  
Terapeuta Ocupacional INR*

## **CAPÍTULO II**

### **DISEÑO CONCEPTUAL**

Este capítulo tendrá en cuenta los requerimientos y consideraciones para la silla de rueda tomando en cuenta el dimensionamiento básico, seguridad, materiales de fabricación, normatividad, mantenimiento, y los mecanismos de elevación. Todo esto será resumido en una lista de requerimientos para luego obtener nuestra matriz de funciones y finalmente un diseño conceptual óptimo, esto sobre la base de la metodología del diseño de la Norma Alemana VDI 2221.

#### **2.1 Consideraciones y requerimientos de la silla de ruedas**

Con el propósito de proponer un diseño conceptual, se toma en cuenta ciertos parámetros y características que ayudan a focalizar y entender los elementos principales y secundarios de la silla de rueda. Por lo tanto, en esta sección se establecerán los requerimientos para el diseño de la silla de ruedas.

##### **2.1.1 Público objetivo**

El público objetivo para la silla de ruedas son las personas adultas entre 20 a 64 años, ya que en este rango de edades se concentra la mayor cantidad de personas con paraplejía o con algún problema psicomotor, según se muestra en la Figura 1.1 del Capítulo 1. Además, es una etapa de la vida dónde se tiene una mayor carga de actividad sea laboral, estudio, familia, etc. La silla de ruedas soportará 100 kg como carga útil máxima, considerando que el peso promedio del peruano en el rango de

edad mencionado no supera los 70 kg según el informe del Estudio Nutricional en el Perú del Instituto Nacional de Salud (ver Tabla 2.1).

La silla de ruedas, además de facilitar el desplazamiento, permitirá al usuario pasar de la posición sentada a la bípeda, lo que ayudará al usuario alcanzar objetos ubicados a mayor altura, así como a una mejor circulación de los fluidos corporales. Además, también ayudará al usuario en su interacción con otras personas en un mismo plano de comunicación.

Tabla 2.1 Tabla extraída de Distribución de Talla y Peso para mayores de 2 años<sup>23</sup>

EDAD(AÑOS)	VARÓN		MUJER	
	PESO (kg)	TALLA (cm)	PESO (kg)	TALLA (cm)
20	60.3	164.3	53.5	152.7
21	62.2	165.1	54.7	152.9
22	62.4	164.9	55.1	153.3
23	62.7	163.7	55.1	152.7
24	63.3	164.7	56.0	152.5
25	65.6	165.0	56.4	152.6
26	65.0	164.5	57.9	152.4
27	65.7	164.5	58.4	152.3
28	65.2	163.7	57.7	152.2
29	66.7	164.6	59.5	152.1
30	66.3	163.7	59.6	152.0
31	67.1	164.1	60.2	152.1
32	67.7	164.5	58.9	152.3
33	67.0	163.6	60.4	152.1
34	66.8	163.7	60.1	151.3
35	66.5	163.6	59.3	151.4
36	67.2	164.0	61.0	151.8
37	66.2	163.1	59.2	150.7
38	67.6	164.0	60.7	151.6
39	67.8	162.7	61.6	151.7
40	69.3	163.5	61.6	150.9
41	68.5	163.6	62.6	151.4
42	67.5	162.7	61.9	151.6
43	67.6	163.2	62.4	151.6
44	68.0	163.2	62.2	150.8
45	66.6	163.2	61.2	151.0
46	68.2	162.5	62.3	151.0
47	67.7	163.0	63.2	150.8
48	67.5	162.3	63.0	151.3
49	67.5	162.7	61.9	151.2
50	67.6	162.6	60.7	150.0
51	67.9	162.5	60.8	150.3
52	68.9	162.4	61.0	149.6
53	66.9	161.5	62.5	150.8
54	66.2	161.7	60.3	150.2
55	67.8	162.0	60.6	149.5
56	66.4	160.2	59.0	149.8
57	65.8	160.5	59.7	148.4
58	65.7	162.0	58.8	148.9
59	64.5	160.3	60.7	148.7
60	64.8	160.4	59.2	148.3
61	64.4	160.1	57.3	148.3
62	65.2	160.8	59.2	147.8
63	64.6	159.6	58.8	148.1
64	61.7	159.5	57.1	148.0

<sup>23</sup> Estado Nutricional en el Perú 2009-2010. Instituto Nacional de Salud. Fecha u última revisión 31-05-2021  
[https://web.ins.gob.pe/sites/default/files/Archivos/cenan/van/vigilancia\\_poblacion/Estado\\_Nutricional\\_en\\_el\\_Per%C3%BA\\_2009-2010.pdf](https://web.ins.gob.pe/sites/default/files/Archivos/cenan/van/vigilancia_poblacion/Estado_Nutricional_en_el_Per%C3%BA_2009-2010.pdf)

### **2.1.2 Normas a utilizar**

El diseño de la silla de rueda tendrá como lineamiento la Norma Técnica de Edificación peruana para dimensiones referenciales, la norma RESNA (*Rehabilitation Engineering and Assistive Technology Society of America*) y la ISO (*The International Organization for Standardization*)

### **2.1.3 Seguridad**

La seguridad en la silla de ruedas será proporcionada por el correcto funcionamiento y duración de todos los mecanismos que se incluya. Cuando haya un desplazamiento en posición sentada del usuario se tendrá en cuenta los cinturones de seguridad montados en el bastidor o chasis, el cual estará a la altura de la pelvis. Además, se considera un cinturón de seguridad a la altura del pecho para evitar que el usuario caiga al momento de posicionarse verticalmente.

En situaciones en la cual el usuario necesite estacionarse en alguna pendiente u otro lugar, el diseño contará con un mecanismo que bloquee las ruedas y así evitar posibles accidentes.

Como el diseño de la silla de rueda permitirá colocar al usuario verticalmente, es necesario contar con un cinturón de sujeción de tipo almohadilla que se encontrará a la altura de las rodillas para evitar el pandeo de las piernas.

Se contará con ruedas anti vuelco en la parte posterior de la silla de ruedas para estabilizar la silla en caso de volcadura.

### **2.1.4 Propulsión y Rozamiento a Rodar**

Es necesario que en el diseño se considere la distribución de peso de la silla de ruedas, para así lograr una buena propulsión. La distribución de masa será de 80/20 (trasera/delantera), esto ayudará que sea más ligero en la parte delantera para una mayor maniobrabilidad. Esta distribución cambia cuando el usuario está en posición

bípeda, por ello se consideran ruedas antivuelco delantero como se muestra en la Figura 2.1.



Figura 2.1 Ruedas anti vuelvo<sup>24</sup>

Es importante saber el tipo de terreno en donde se va a desplazar la silla de rueda, ya que de ello depende la composición de las ruedas a seleccionar. Consideramos que la silla de rueda se desplazará en terreno duro, por lo que la composición de las ruedas puede ser neumática. Estas ruedas neumáticas presentan una mayor amortiguación, son más ligeras y presentan buen agarre en la mayoría de superficies; su desventaja es que puede presentar picadura, y es necesario darle un mantenimiento adecuado. Las ruedas también pueden ser macizas, ya que presentan menor rozamiento al rodar y no necesitan mantenimiento, sin embargo, son más pesadas.

Es importante considerar la distancia entre ejes de las ruedas. Cuánto mayor distancia se tiene, se gana estabilidad y es más fácil mantener el rumbo, pero se pierde la suavidad, ocurre lo contrario para distancia corta. Por tanto, se mantendrá la distancia estándar de las sillas de ruedas 50 cm<sup>25</sup>.

Consideraciones para el tamaño y ángulo de las ruedas:

a) *Ruedas Posteriores*: En este caso las ruedas posteriores serán macizas. Además, como se mencionó en el Capítulo 1, se recomienda un tamaño de rueda de 24" de diámetro (600mm). Esta medida del aro será fácilmente reemplazable en caso se necesite de mantenimiento.

El aro y los rayos para la llanta serán de aluminio que es más ligero y absorbe mejor las irregularidades del terreno. Además, la disposición de los rayos será cruzados porque hace que tenga una estructura más fuerte.

<sup>24</sup> Ruedas giratorias. Consulta 30/09/2021. [[http://www.scrosssam.com/index.php?main\\_page=product\\_info&products\\_id=494663](http://www.scrosssam.com/index.php?main_page=product_info&products_id=494663)]

<sup>25</sup> [Accessibility Design Manual : 5-Appendices : 2-Anthropometrics 1/2 \(un.org\)](#)

El aro de propulsión será de aluminio ya que presenta un mayor agarre con las manos y, para montarlo al aro de la llanta, se usarán proyecciones como se muestra en la Figura 2.2.

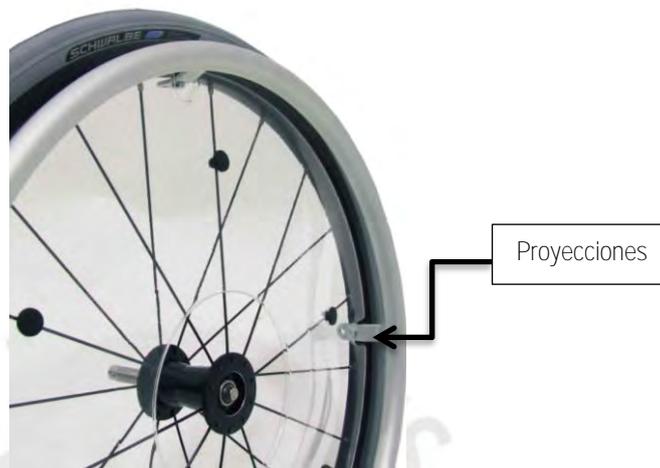


Figura 2.2 Aros de propulsión con proyecciones<sup>26</sup>

b) *Ruedas delanteras*: Se recomiendan ruedas de 6" (150mm) para usos en interiores y exteriores. Asimismo, se recomienda la composición de la llanta maciza ya que presenta menor rozamiento y no necesita de mantenimiento. El aro de la llanta será plástico y con aros de plástico<sup>27</sup> como se muestra en la Figura 2.3.



Figura 2.3 Ruedas Delanteras<sup>28</sup>

<sup>26</sup> Aros de propulsión. Consulta 15/12/2020. [<https://www.rehagirona.com/producto/protectores-radio-faro/>]

<sup>27</sup> Peso máximo de soporte 58.9 kg. Consulta 22/12/2020 [Rollerblade Office Chair Wheels | 110% Money-Back Guarantee – The Office Oasis](#)

<sup>28</sup> Ruedas delanteras. Consulta 05/06/2013. [[http://www.meyar.ints.com.ar/alta\\_gama.html](http://www.meyar.ints.com.ar/alta_gama.html)]

c) *Ángulos de las ruedas:* Para lograr una óptima propulsión de la silla de ruedas se recomienda, según el Capítulo 1, usar ángulo de 90° respecto de la horizontal tanto para la rueda delantera como la rueda trasera.

### 2.1.5 Antropometría y Ergonomía

Además de tener las dimensiones de la silla de ruedas, es necesario conocer las medidas del público usuario peruano. Para ello se requiere conocer el rango de medidas antropométricas del cuerpo humano para usuarios entre 20 a 64 años de edad. Según el manual antropométrico del hombre peruano que publicó el Instituto de Investigación Tecnológica Industrial y de Normas Técnicas (ITINTEC), menciona que la altura promedio del hombre peruano es de 1.66 m como se muestra en la Figura 2.4. Además, en este manual se detallan las medias cuando la persona se encuentra en posición sentada (Figura 2.5).

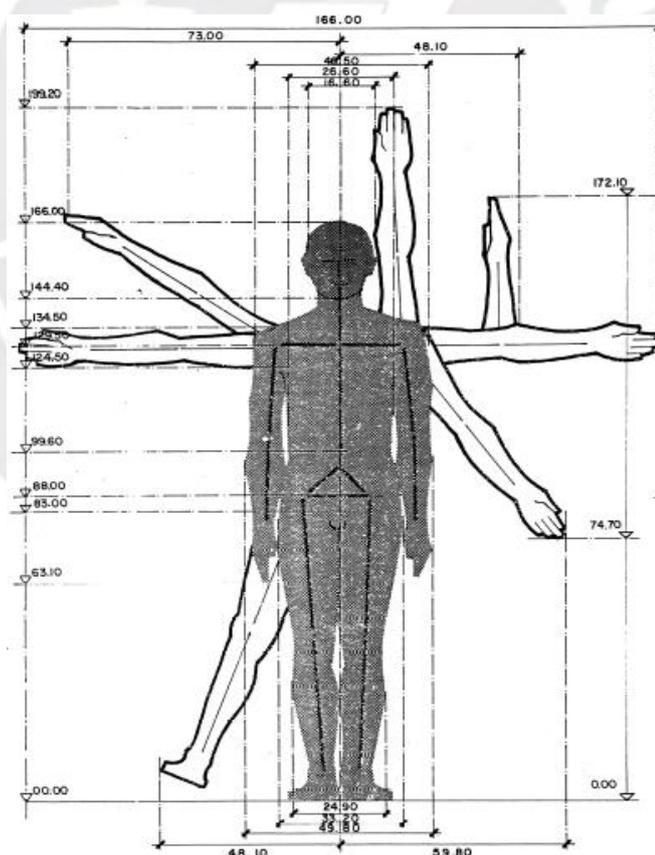


Figura 2.4 Medidas antropométricas del hombre peruano en posición vertical.<sup>29</sup>

<sup>29</sup> Santiago Barbuy G., Jorge Reynoso M., Melitón Arce. 1987. ITINTEC. Manual antropométrico del hombre peruano para el diseño industrial. Lima.

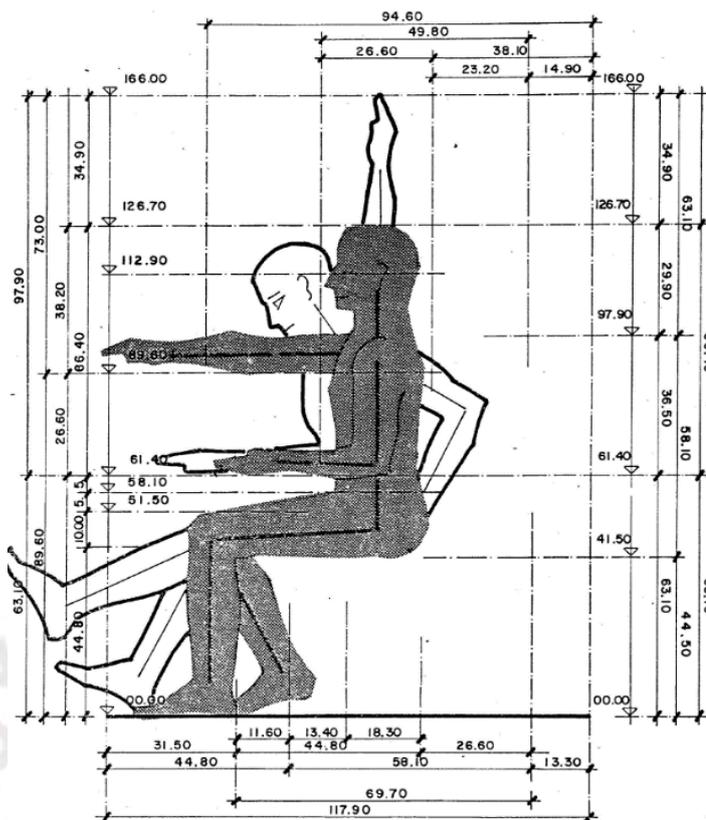


Figura 2.5 Medidas antropométrica del hombre peruano en posición sentada.<sup>30</sup>

Estas medidas antropométricas se pueden comparar con las medidas brindadas por el software Antropojeto.<sup>31</sup> (Anexo 1). Con los datos obtenidos y con la ayuda de “Como elegir tu silla de ruedas manual”<sup>32</sup>, del Instituto de Biomecánica de Valencia (IBV), se establecen las dimensiones generales de la silla de ruedas.

Tabla 2.2 Dimensiones generales de la silla de ruedas

Dimensiones Generales (m)	
Ancho	0.65 a 0.7
Alto	0.94 a 1-1
Largo <sup>33</sup>	1.1 a 1.2

Luego de realizar un análisis más específico, en la Tabla 2.3 se presentan las dimensiones principales de la silla de rueda. Asimismo, respecto de la ergonomía de la silla de ruedas se considerará lo recomendado en la Sección 1.5 del Capítulo 1.

<sup>30</sup> Ver referencia #27.

<sup>31</sup> Este software ANTROPOJETO fue realizado por la Universidad de Federal de Juiz de Fora (Brazil).

<sup>32</sup> Como elegir tu silla de ruedas manual. IBV 2002.

<sup>33</sup> Referencia tomada de CONADIS Argentina .Directrices de accesibilidad física para viviendas de interés social. Consulta 05/06/2013. [http://www.conadis.gov.ar/doc\\_publicar/access/directrices\\_accesibilidad.pdf](http://www.conadis.gov.ar/doc_publicar/access/directrices_accesibilidad.pdf)

Tabla 2.3 Dimensiones principales de la silla de ruedas

Dimensiones Específicas (m) <sup>34</sup>	
Ancho del asiento	0.39
Longitud del asiento	0.42
Altura del asiento	0.48-0.52
Longitud del respaldo	0.45
Ancho del respaldo	0.39
Altura del reposapiés	0.1 - 0.13
Ángulo del respaldo respecto del asiento	100° - 110°
Ángulo del asiento respecto de la horizontal	1° - 4°

### 2.1.6 Bajo costo

Un objetivo a cumplir de la silla de ruedas es el bajo costo de la misma, de manera que sea asequible a todas las personas de recursos económicos medio y bajo. En Perú una silla de ruedas convencional, sin tantas prestaciones cuesta al alrededor de S/. 400. Pero una silla de ruedas con mayores características, como por ejemplo las sillas de ruedas eléctricas, las sillas de rueda para paseo, etc., puede costar desde S/. 1,500 hasta S/. 7,000.

Por tanto, los materiales y componentes para la silla de ruedas a seleccionar se deben encontrar en el mercado local y ser estandarizados, en la medida de lo posible, de tal manera que la silla de ruedas tenga un costo final al usuario de S/.3500 o menos con una utilidad del 20%.

El mantenimiento debe poder hacerse en cualquier taller local de reparación de silla de ruedas.

### 2.1.7 Mecanismo de accionamiento a posición bípeda

El mecanismo de elevación, o accionamiento, a posición bípeda debe soportar hasta 100 kg de peso máximo de un usuario

<sup>34</sup> Ver referencia #29 y #30.

### 2.1.8 Resumen de requerimientos

Con los requerimientos mencionados en las secciones anteriores se procede a resumir todos estos en la Tabla 2.4. En el Anexo 2 se encuentra un cuadro resumen detallado de los requerimientos.

Tabla 2.4 Resumen de Requerimientos

REQUERIMIENTOS	
Usuario Objetivo	Personas entre 20 y 64 años aprox. Que tengan un peso máximo de 100 kg.
Normas a utilizar	Norma Técnica Peruana, RESNA e ISO.13570-1:2005
Seguridad	Cinturones a la altura de la pelvis, altura del pecho, cinturón de sujeción a la altura de la rodilla y ruedas antivuelco en la parte delantera.
Propulsión y rozamiento a rodar	Las dimensiones, tipo de recubrimiento y ángulo de ruedas son tales que permite el movimiento de la silla de ruedas con una fuerza de fricción baja (menor rozamiento)
Antropometría y ergonomía	Según Tablas 2.1 y 2.2
Bajo costo	Costo máximo de S/.4500
Mecanismo de elevación	Se usará el mecanismo de elevación para permitir el bloqueo del avance de la silla de ruedas.

### 2.2 Estructura de Funciones

Con los parámetros de diseño definidos, y según la metodología VDI 2221, ahora se procederá a establecer la estructura de funciones que nos permitirá entender el funcionamiento del equipo.

En la estructura de funciones se indicarán los procesos a seguir para el uso correcto de la silla de ruedas. Además, se indicarán cuáles son las variables de entrada y las actividades a realizar para lograr la salida deseada.

#### 2.2.1 Entradas

Son los criterios que permitirán el inicio de las funciones de los componentes de la silla de ruedas para el uso del paciente. Se describe:

- **Energía Humana:** Será la fuente de energía que accionará los dispositivos de seguridad, regulación, activación y desplazamiento de la silla de ruedas. Esta energía será producida por el mismo usuario o por una persona que lo asista.

- Usuario y/o Paciente: Después del accionamiento de regulación, seguridad, activación y desplazamiento se necesita al paciente y/o usuario como criterios de entrada para comenzar con las siguientes actividades a realizarse dentro del sistema

### 2.2.2 Actividades en el sistema

Las actividades permitirán regular el funcionamiento de la silla de ruedas, activar y/o desactivar el mecanismo de elevación, activar y/o desactivar los dispositivos de seguridad y permitir el desplazamiento del mismo. En la estructura de funciones hay 3 actividades principales.

- ❖ Bloquear silla de ruedas: Permite el bloqueo de las ruedas posteriores para posicionar al usuario. Luego de posicionarlo, se activa el sistema de seguridad. Posteriormente se desbloquea las ruedas posteriores para el desplazamiento.
- ❖ Activar el mecanismo de elevación: Permite activar el mecanismo de elevación es necesario estacionar o parar el movimiento. Luego se activa el dispositivo de seguridad y el bloqueo de las ruedas posteriores. Posteriormente se activa el mecanismo de elevación de la silla de ruedas para posicionar verticalmente al usuario.
- ❖ Desactivar el mecanismo de elevación: Este proceso se inicia cuando se activa el mecanismo retráctil de la silla de ruedas. Luego se desactiva los dispositivos de seguridad y posteriormente se desbloquea las ruedas posteriores para el desplazamiento del usuario.

### 2.2.3 Salidas

Es el resultado que se obtiene luego de realizarse las actividades dentro del sistema.

- ❖ Usuario en Posición Sentado: Luego de colocarse los sistemas de seguridad de la silla de ruedas, el usuario puede desplazarse en la silla de ruedas solo en la posición sentada.
- ❖ Usuario en Posición Vertical: Luego de estacionar la silla de ruedas y activar los dispositivos de seguridad y activar el mecanismo de elevación se obtiene al usuario en posición vertical para las actividades a realizar por el usuario.
- ❖ Calor, Ruido y Vibración: Al activar los mecanismos, hay movimientos relativos que genera fricción entre los componentes y el producto de ello es calor, ruido y vibraciones en la silla de ruedas.

**DISEÑO DE UNA SILLA DE RUEDAS CON UN SISTEMA ADICIONAL QUE PERMITA AL USUARIO ALANZAR LA POSICIÓN BIPEDA**

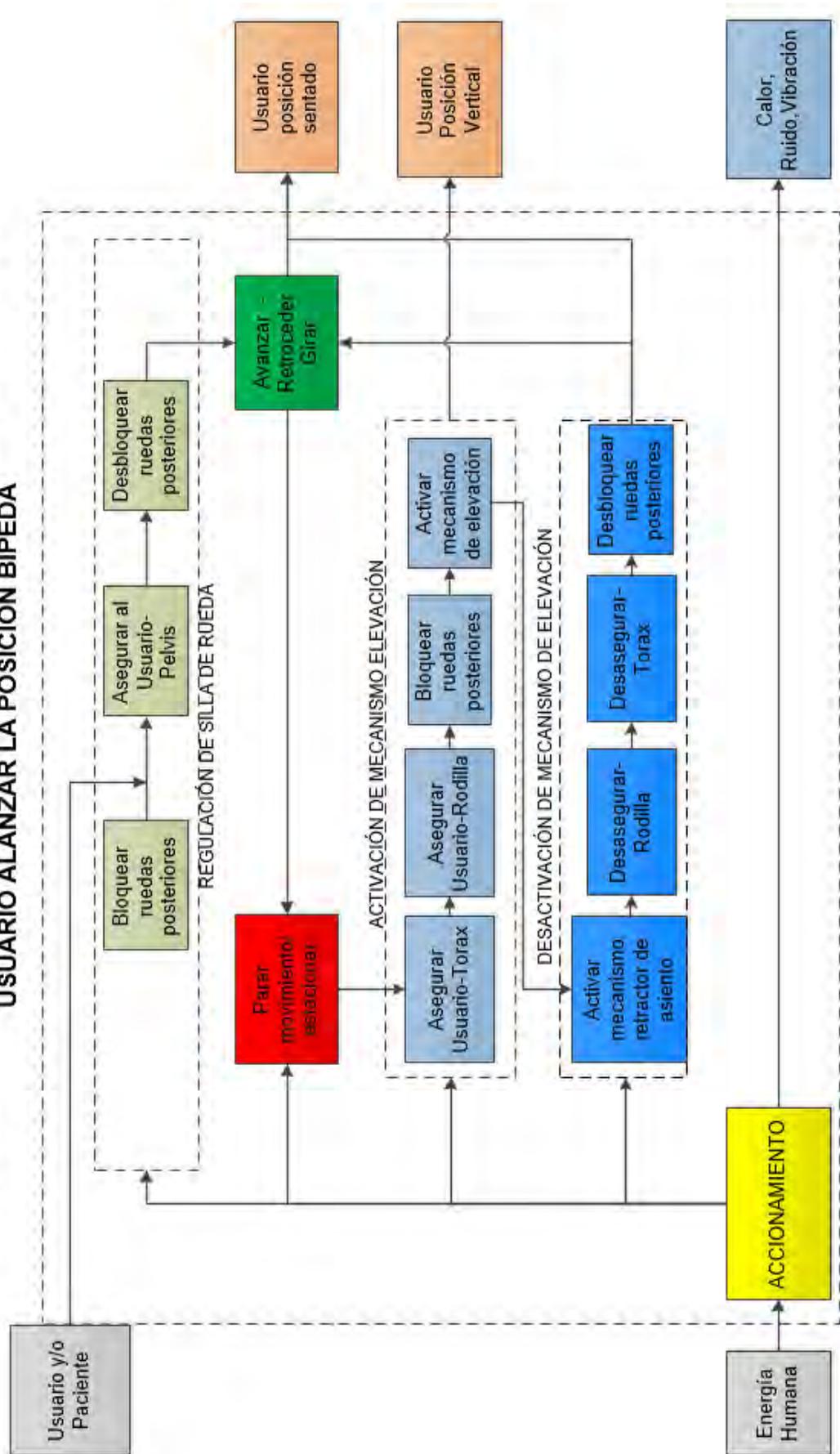


Figura 2.6 Estructura de Funciones

## 2.3 Matriz Morfológica

En la matriz morfológica se colocan todas las actividades o subprocesos que van a realizar para poder cumplir con los objetivos del proyecto. En cada actividad o **subproceso** se colocan todas las posibles soluciones que ayuden a cumplir con el objetivo.

Estas posibles soluciones son los diversos componentes que conformarán la silla de ruedas. De esta manera tendremos un conocimiento amplio de todos los componentes principales de la silla de ruedas. Así podremos escoger el elemento y con la evaluación técnico económica decidiremos cuál será el concepto solución óptimo. En el Anexo 3 se ha colocado la matriz morfológica realizada siguiendo la metodología VDI 2225.

## 2.4 Conceptos de Solución

Los conceptos solución son el resultado de una selección cuidadosa de todos los elementos principales que ayudarán a realizar las actividades en la silla de ruedas. Toda esta selección de elementos nos da como resultado un conjunto de mecanismos que tendrá la silla de ruedas. Para la selección de cada elemento, se basará en la matriz morfológica, con la cual se han obtenido tres conceptos solución que serán sometidos a la evaluación técnica y económica correspondiente.

### 2.4.1 Concepto solución 1

Este concepto solución permite regular el ángulo de verticalidad con una perilla reguladora. La altura de los reposapiés son fijos. Para el estacionamiento de la silla de ruedas se cuenta con frenos tipo tambor. Para el sistema de seguridad se cuenta con cinturón de dos puntos a la altura de la pelvis y otro a la altura de la rodilla, también un cinturón de seguridad de dos puntos para la zona pectoral. Tiene rueda delantera fija y una rueda trasera del mismo tamaño dirijible. Es una silla de ruedas totalmente asistida por un tercero, y de chasis rígido. Para el sistema de elevación se cuenta con una gata de tijera accionada por una manivela.

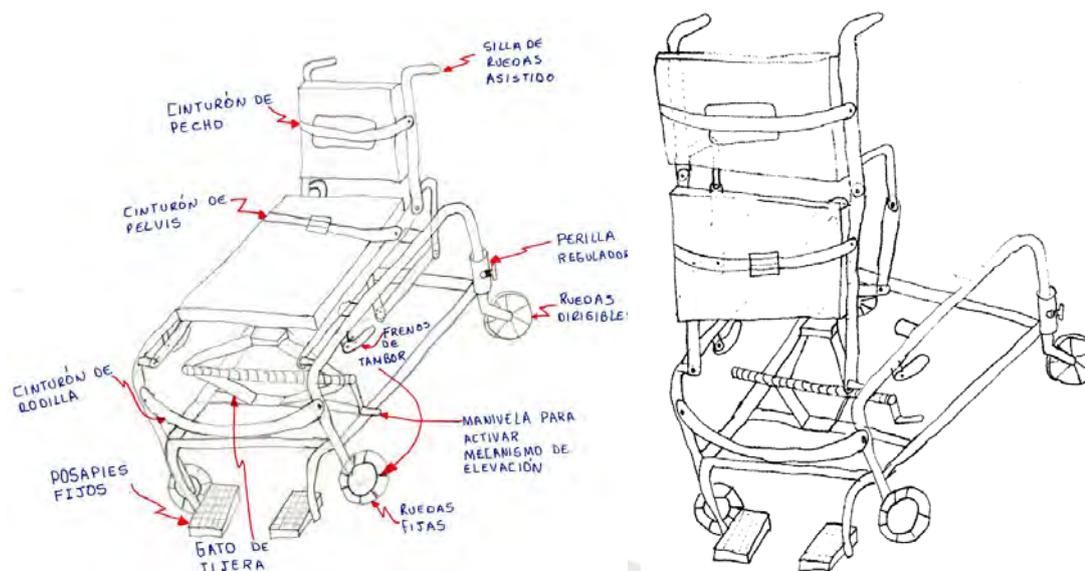


Figura 2.7 Concepto solución 1

### 2.4.2 Concepto solución 2

Este concepto solución cuenta con un chasis rígido el cual lo hace liviano. Cuenta con una perilla reguladora para la variación del ángulo de verticalidad. El posapiés es regulable en altura con perno pasantes, para el estacionamiento se cuenta con frenos en V. Para la seguridad del usuario se cuenta con un cinturón pectoral de 5 puntos y una correa de seguridad de dos puntos a la altura de la rodilla. Cuenta con ruedas delanteras dirigibles y con ruedas traseras de un aro del mismo tamaño que la delantera. Es una silla de ruedas totalmente asistida por un tercero. Para el sistema de elevación cuenta con una gata hidráulica que es accionada por palanca.

### 2.4.3 Concepto solución 3

Este concepto de solución mantiene el ángulo de verticalidad fijo. La altura de los reposapiés es fijo, y para el estacionamiento cuenta con frenos tipo tijera. El sistema de seguridad cuenta con un cinturón de dos puntos a la altura de la pelvis y otro a la altura de la rodilla, un cinturón de seguridad pectoral de dos puntos y ruedas antivuelco en la parte delantera. Para el desplazamiento de la silla de ruedas cuenta con rueda delantera dirigible y una rueda trasera de mayor tamaño fija. La dirección y propulsión puede ser asistida, o manual con aros de empuje por el propio usuario,

mientras que el sistema de elevación cuenta con resorte de gas comprimido (actuador) accionado por una palanca. En este caso el chasis también es rígido.

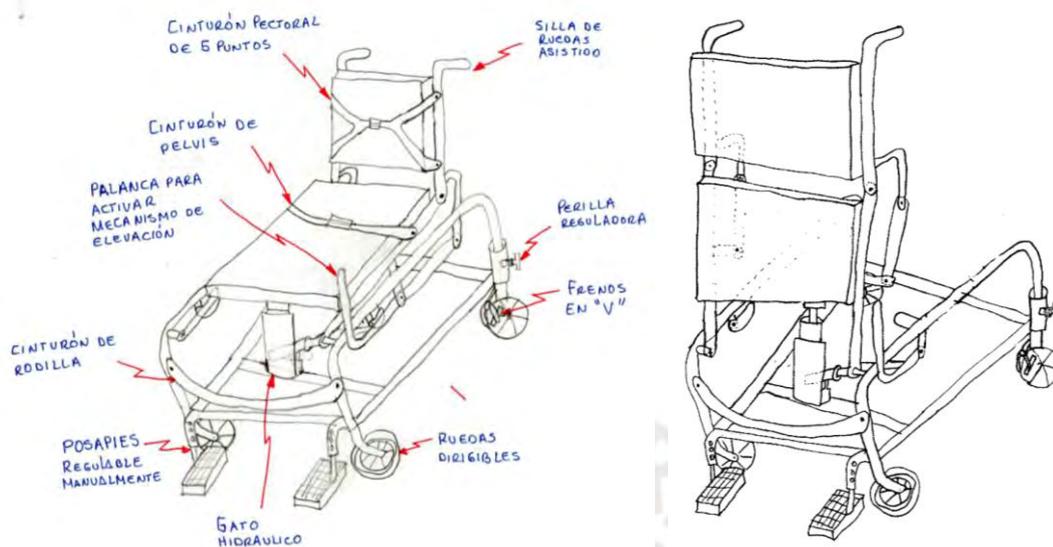


Figura 2.8 Concepto solución 2

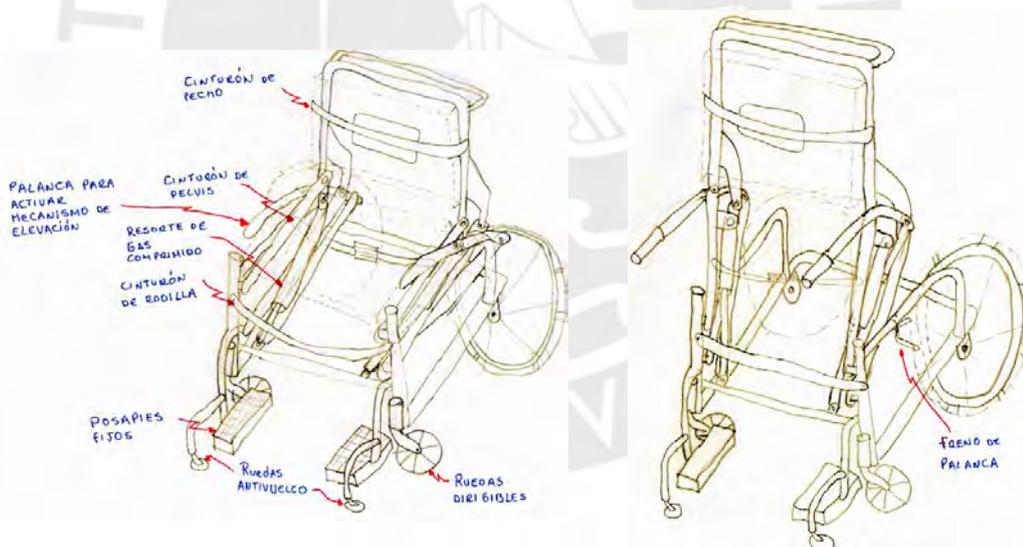


Figura 2.9 Concepto solución 3

## 2.5 Evaluación Técnica y Económica del los conceptos solución

Según la norma VDI 2225, que guía el diseño de este trabajo, es necesario hacer un análisis técnico económico, ver Tabla 2.5 y 2.6, la cual dará una valoración que permitirá definir cuál de estas tres opciones es la óptimo.

Tabla 2.5 Evaluación Técnica según VDI 2225

Proyecto de Tesis: Valor Técnico					Ingeniería Mecánica					
Pontificia Universidad Católica del Perú					Carlos Mauricio Atarama Del Águila			Fecha: 08/01/2021		
<p>p: puntaje de 0 a 4            0 = No satisface; 1 = Aceptable; 2 = Suficiente; 3 = Bien; 4 = Muy bien(ideal)            g: es el peso ponderado en función de la importancia de los criterios de evaluación</p>										
Variantes de Concepto / Proyectos			Solución1		Solución 2		Solución 3		Solución Ideal	
Nr.	Criterios de evaluación	g	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp
1	Función	4	3	12	3	12	3	12	4	16
2	Ergonomía	4	3	12	2	8	3	12	4	16
3	Seguridad	3	2	6	3	9	2	6	4	12
4	Mantenimiento	3	2	6	1	3	2	6	4	12
5	Manipulación	2	3	6	1	2	2	4	4	8
6	Facilidad de manejo	3	2	6	2	6	3	9	4	12
7	Complejidad	2	3	6	2	4	3	6	4	8
8	Montaje	3	2	6	2	6	2	6	4	12
Puntaje Máximo		24	20	60	16	50	20	61	32	96
Valor Técnico xi			0.83		0.69		0.85		1	

Tabla 2.6 Evaluación Económica según VDI 2225

Proyecto de Tesis: Valor Económico					Ingeniería Mecánica					
Pontificia Universidad Católica del Perú					Carlos Mauricio Atarama Del Águila			Fecha: 08/01/2021		
<p>p: puntaje de 0 a 4            0 = No satisface; 1 = Aceptable; 2 = Suficiente; 3 = Bien; 4 = Muy bien(ideal)            g : es el peso ponderado en función de la importancia de los criterios de evaluación</p>										
Variantes de Concepto / Proyectos			Solución1		Solución 2		Solución 3		Solución Ideal	
Nr.	Criterios de evaluación	g	p	gp	p	gp	p	Gp	p	gp
1	Costo de la tecnología	4	3	12	3	12	3	12	4	16
2	Costo de Material	3	2	6	2	6	3	9	4	12
3	Costo de Fabricación	3	2	6	3	9	2	6	4	12
4	Costo Mantenimiento	2	2	4	1	2	2	4	4	8
Puntaje Máximo		12	9	28	9	29	10	31	16	48
Valor Económico yi			0.78		0.81		0.86		1	

Como se puede observar en la gráfica de decisión, el diseño conceptual 3 (solución 3) es el que más se aproxima a la recta de 45°. Por lo tanto, la alternativa 3 se constituye como el diseño conceptual óptimo.

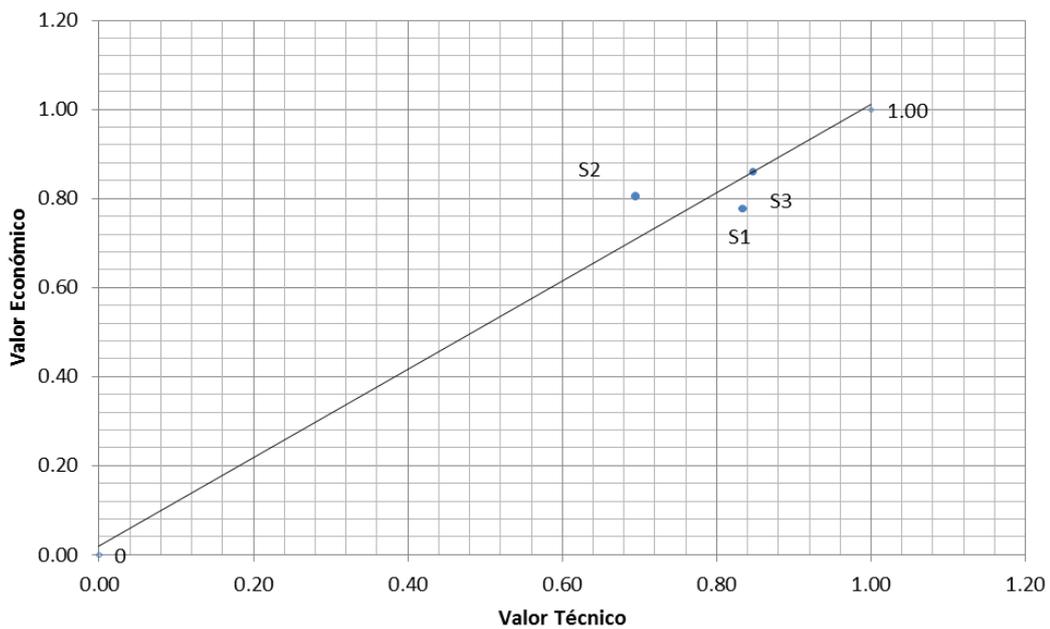
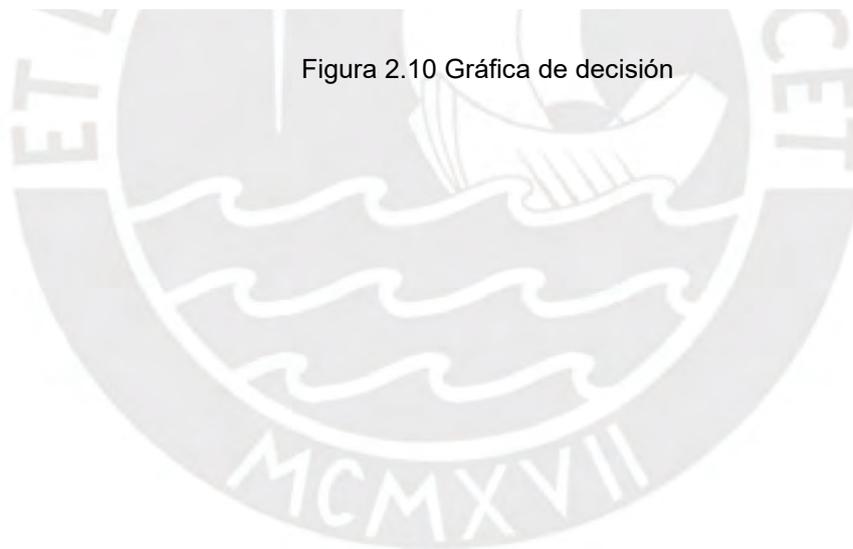


Figura 2.10 Gráfica de decisión



## CAPÍTULO III

### DISEÑO DEL MECANISMO Y SELECCIÓN DEL ACTUADOR

En éste capítulo se analizarán los diversos componentes que serán montados a la silla de ruedas. Además se analizará la estructura basado en el cálculo estático, dinámico y la verificación de estabilidad de la silla de ruedas. Con los análisis matemáticos se demostrará que la estructura diseñada cumplen con los objetivos del proyecto y será capaz de resistir el peso del usuario.

#### 3.1 Dimensionamiento de la silla de ruedas

Con el fin de obtener una estructura definida en donde se van a apoyar los mecanismos y resistir el peso del usuario, se procede a dimensionar parcialmente la silla de ruedas. Para ello en la Figura 3.1 se muestra la silla de ruedas en la posición de sentado del usuario y en la Figura 3.2 se muestra la posición bípeda con el respaldo en posición vertical, en ambas figuras se modela las estructuras del chasis, el respaldo y el asiento. En la Tabla 3.1 se describen las variables dimensionales mostradas en las Figuras 3.1 y 3.2, indicando para cada una de ellas si es fija o variable, y de que depende que sea variable dicha medida.

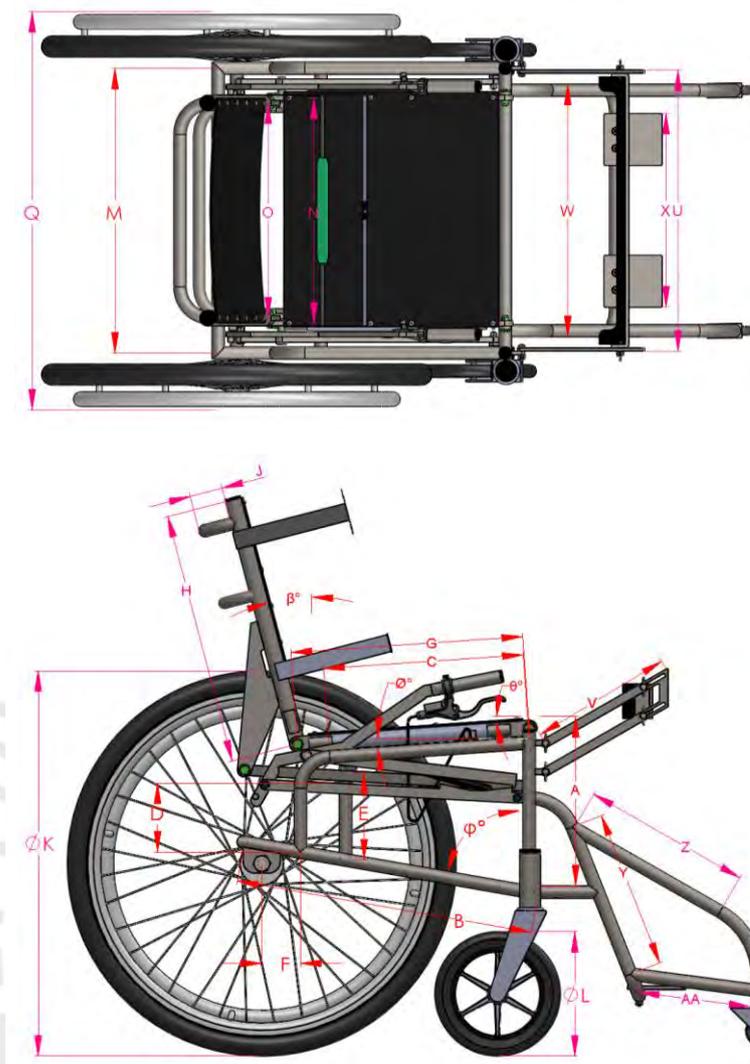


Figura 3.1 Esquema de la silla de ruedas en posición sentada y sus medidas geométricas



Figura 3.2 Esquema de la silla de ruedas en posición Bípeda y sus medidas geométricas

Tabla 3.1 Dimensiones principales de la estructura de silla de ruedas

Medida	Descripción	Tipo	Comentario
A	Longitud del tubo vertical delantero del chasis	Fijo	
B	Longitud del tubo base del chasis	Fijo	
C	Longitud del tubo superior del chasis	Fijo	
D	Longitud del tubo vertical posterior del chasis	Fijo	
E	Longitud del tubo vertical para tope del asiento	Fijo	
F	Distancia entre eje del tubo vertical posterior y eje de ruedas	Fijo	
G	Longitud del tubo de la estructura del asiento.	Fijo	
H	Longitud del tubo de la estructura del respaldo.	Fijo	
J	Radio de curvatura del tubo rigidizador de respaldo.	Fijo	
K	Diámetro de la rueda posterior.	Fijo	
L	Diámetro de la rueda delantera.	Fijo	
M	Ancho del chasis	Fijo	
N	Ancho del asiento	Fijo	
O	Ancho del respaldo.	Fijo	
Q	Ancho total de la silla de ruedas.	Fijo	
R	Alto total de la silla de rueda en posición vertical.	Fijo	
S	Distancia entre eje del tubo de tope y tubo base.	Fijo	
T	Distancia entre tubos transversales del respaldo.	Fijo	
U	Ancho de seguro para rodilla	Fijo	
V	Longitud de seguro para rodilla	Fijo	
W	<b>Ancho del tubo en "U" para posapies</b>	Fijo	
X	Distancia entre posapies	Fijo	
Y	Longitud de tubo diagonal de posapies	Fijo	
Z	Longitud de tubo para estructura de ruedas antivuelco	Fijo	
AA	Longitud de tubo para estructura de ruedas antivuelco	Fijo	
$\theta$	Ángulo de posición inicial del asiento respecto de la horizontal	Variable	Requiere activar mecanismo
$\emptyset$	Ángulo de inclinación del tubo superior del chasis.	Fijo	
$\beta$	Ángulo de posición inicial del respaldo.	Variable	Requiere activar mecanismo
$\varphi$	Ángulo de inclinación del tubo base respecto del tubo vertical	Fijo	

### 3.1.1 Selección y medida de los perfiles para la estructura de la silla de ruedas

Las medidas para los tubos son  $\frac{1}{2}$ ",  $\frac{3}{4}$ " y de 1" con espesor, que corresponde a cédula 40, se muestran en la Tabla 3.2, y sus propiedades mecánicas en la Tabla 3.3.

Tabla 3.2 Dimensión, Peso y radio de curvatura de Tubo cédula 40<sup>35</sup>

NPS(DN)	Diámetro Exterior in.(mm)	Espesor Nominal in.(mm)	Peso nominal por longitud kg/m	Radio de Curvatura mínimo in.(mm) con FC=2*
$\frac{1}{2}$ " (15)	0.840 (21.3)	0.109 (2.77)	1.27	1.68 (42.67)
$\frac{3}{4}$ " (20)	1.050 (26.7)	0.113 (2.87)	1.69	2.1 (53.34)

\*FC=Factor de curvatura aceptable de 2 a 3.

<sup>35</sup> Instituto Técnico de la Estructura en Acero. Tomo 15: Estructuras Tubulares. [http://www.webaero.net/ingenieria/]

Tabla 3.3 Propiedades Mecánicas<sup>36</sup>

	Resistencia Tracción MPa	Límite de fluencia MPa
Grado A	330	205

### 3.1.2 Dimensionamiento de la estructura del Asiento

La estructura del asiento del diseño óptimo para la silla de ruedas es el que se muestra en la Figura 3.3.



Figura 3.3 Estructura de asiento de silla de ruedas

La longitud G, cuyo diámetro del tubo es  $\frac{3}{4}$ ", y el ancho N del asiento son 400 y 390 mm respectivamente. Estas medidas han sido recomendadas en la Tabla 2.2 del Capítulo 2. El tubo de  $\frac{1}{2}$ " ayuda a rigidizar a la estructura. Además, se muestra las "orejas" para soporte del eje que conecta con el mecanismo de levante y las "orejas" para soporte de los actuadores. Agujeros que conecta con el chasis y agujeros en la parte posterior para conexión con respaldar a través de pines.

### 3.1.3 Selección del material para el asiento

El tipo de material seleccionado para la silla de ruedas es capa vinil, reforzado interiormente con tela de neopreno y capa de espuma. En la Figura 3.4a se observa el interior de la tapicería de vinil. El ensamble del asiento en la estructura del asiento se indica en la Figura 3.4b.

<sup>36</sup> Norma: ASTM A53/A53M-99b

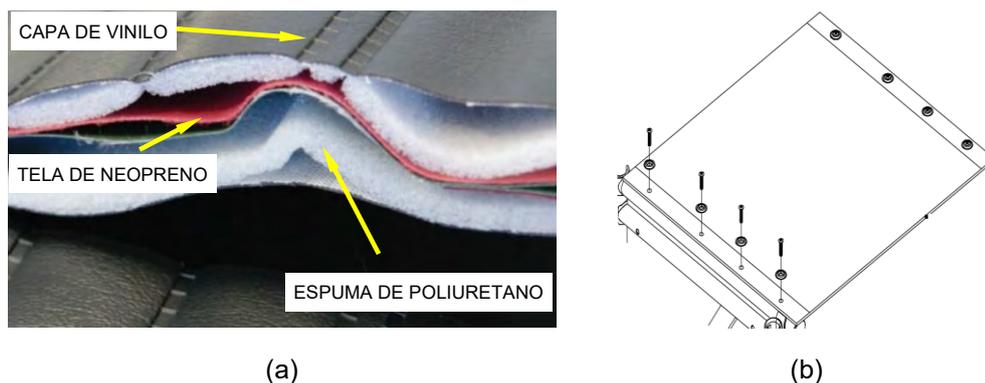


Figura 3.4 (a) Asiento de Silla de Rueda<sup>37</sup>. (b) Ensamblaje con estructura de asiento<sup>38</sup>

### 3.1.4 Dimensionamiento de la estructura del Espaldar

Las dimensiones del respaldar son las recomendadas en la Tabla 2.3 del Capítulo 2. El ancho  $O$  se estableció en 372mm y la altura  $H$  en 439mm. El respaldar posee tubos transversales para rigidizar la estructura y dar apoyo al cojín del respaldo. Además, se han colocado aletas en la parte trasera del respaldar que sirven de soporte y guía al activar el mecanismo de levante. La Figura 3.5 muestra estas características.



Figura 3.5 (a) Estructura de respaldar de silla de ruedas. (b) Tapicería de vinilo del respaldar<sup>39</sup>.

<sup>37</sup> Wheelchair Parts Catalog Medline.

<sup>38</sup> User Manual 9000 Series Wheelchair.

<sup>39</sup> Vinyl upholstery wheelchair. Página visitada 23/04/2015 [[http://www.indemedical.com/Vinyl-Embossed-Wheelchair-Seat--EJ-Style\\_p\\_1340.html](http://www.indemedical.com/Vinyl-Embossed-Wheelchair-Seat--EJ-Style_p_1340.html)]

### 3.1.5 Dimensionamiento del chasis de la silla de ruedas

El chasis para la silla de ruedas es el que se muestra en la Figura 3.6.

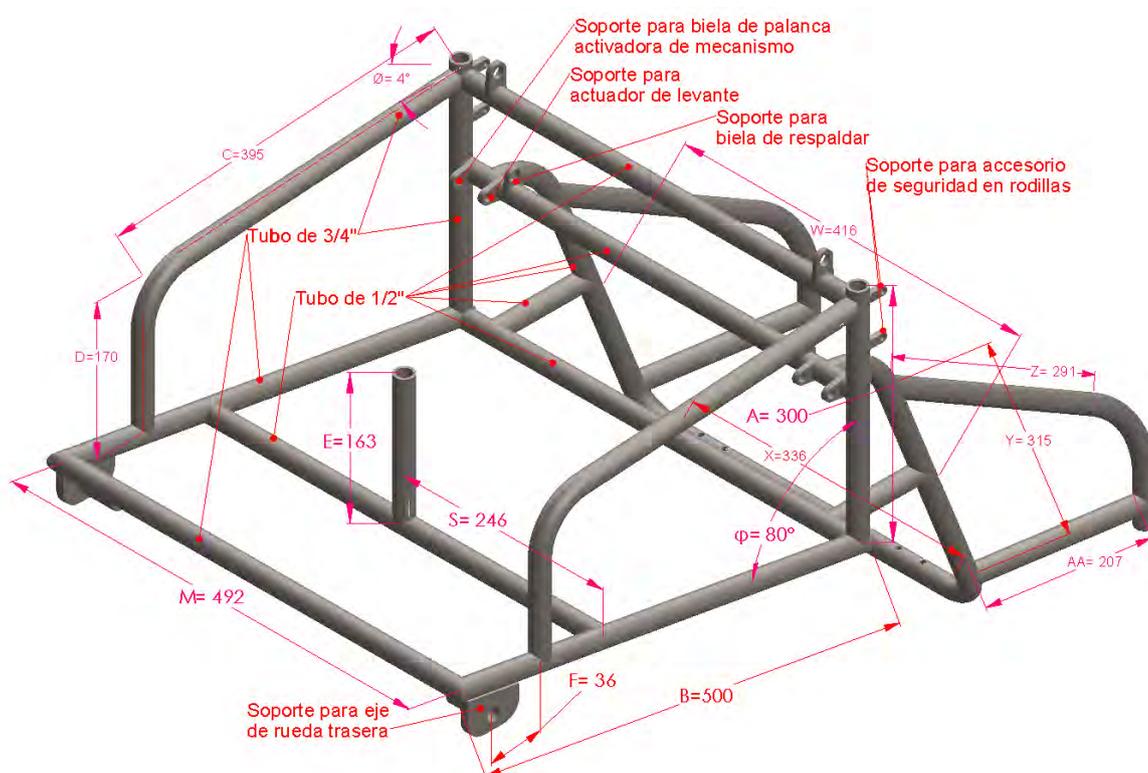


Figura 3.6 Estructura óptima del Chasis de la silla de ruedas

- El ancho  $M$  de chasis se definió en 492mm. Se deja espacio de 50mm entre los laterales del asiento y la estructura del chasis para que encaje los elementos del mecanismo de levante. Como se indica la vista de planta de la Figura 3.1.
- El largo del tubo base  $B$  se definió en una longitud de 500mm para dar una buena estabilidad a la silla de ruedas. Además, permite que las ruedas delanteras y traseras no rocen entre sí.
- La longitud  $A$  del tubo vertical se definió en una longitud de 300mm para dar una altura adecuada al asiento respecto del piso.
- La longitud  $C$  del tubo superior del chasis se definió en una longitud de 345mm que permite rigidizar a la estructura.
- La longitud  $D$  del tubo vertical del chasis se definió en una longitud de 120mm que resulta de la distancia entre el tubo superior y el tubo base.

- La longitud E del tubo vertical para soporte del asiento se definió en una longitud de 163mm que resulta entre la distancia del tubo transversal del asiento y el tubo transversal base del chasis. La función que guarda este elemento es el de restringir y soportar la estructura del asiento.
- La longitud S es la mitad (246mm) del ancho del chasis.
- El ángulo  $\phi$  entre el tubo base y el tubo vertical del chasis se aproximó a  $80^\circ$  por diferencia de longitudes entre la rueda delantera y la rueda trasera.
- El ángulo  $\emptyset$  entre el tubo superior y la horizontal se consideró igual al ángulo del tubo del asiento con la horizontal que tiene  $4^\circ$ . Esto se explicará en el siguiente acápite de selección ángulos para el usuario.
- Además, se indica en la Figura 3.6 cuáles son los tubos que tienen diámetros de  $\frac{1}{2}$ " y  $\frac{3}{4}$ ". También se observa que cuenta con orejas que sirve como base para el mecanismo de levante del asiento y una plancha con agujero central soldado a la estructura que funciona como soporte para el eje de la rueda.
- La distancia X se seleccionó de acuerdo a las medidas antropométricas según la Figura 2.4.
- La longitud Y es el resultado de la antropometría del hombre peruano según la Figura 2.5.
- La distancia W es el resultado de la antropometría del hombre peruano según la Figura 2.4.
- La distancia Z se seleccionó según la distancia máxima del pie del usuario según la Figura 2.4.
- La distancia W se seleccionó según la distancia máxima del pie del usuario según la Figura 2.4.

### 3.1 6 Selección de ángulos para el usuario en silla de ruedas

La selección de los ángulos de la silla de ruedas ayudan a delimitar la posición inicial (sentada) y posición final (parada) del usuario. Se considera como parte del diseño del mecanismo.

**i) En posición sentada:** La Figura 3.7 indica los ángulos ideales para posicionar al usuario en una silla de ruedas. En consecuencia, para el ángulo  $\theta$  del asiento con

respecto a la horizontal se considera  $4^\circ$ . El ángulo  $\beta$  del respaldo respecto de la vertical se considera  $14^\circ$ . Las medidas de los ángulos han sido referenciados en la Tabla 2.3 del Capítulo 2.

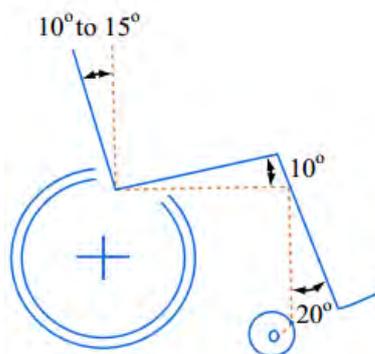


Figura 3.7 Rangos ideales para una posición sentada del usuario<sup>40</sup>

**ii) En posición vertical:** En la posición vertical se estableció como referencia el ángulo del respaldo  $\beta=14^\circ$ . Es decir, al finalizar el movimiento del mecanismo de levante del asiento, en su posición levantada, este tenga un ángulo de  $14^\circ$  con la vertical como se observa en la Figura 3.8.

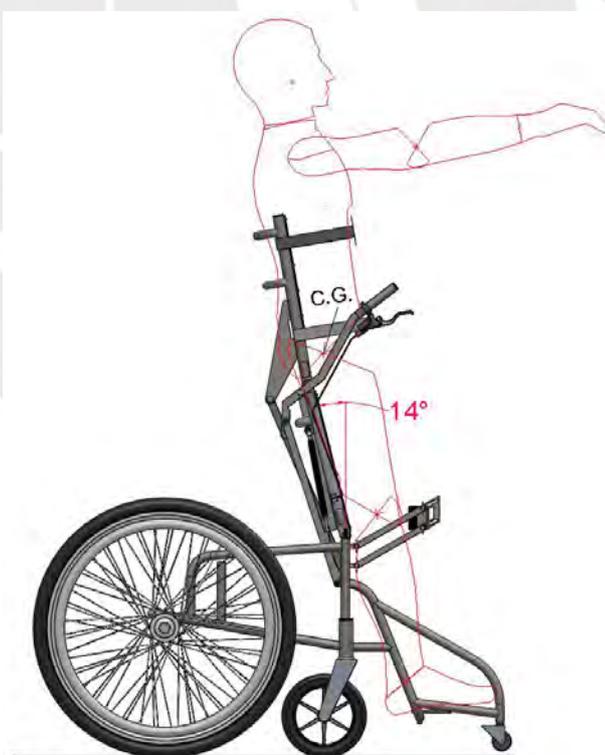


Figura 3.8 Ángulo de  $14^\circ$  respecto de la vertical

<sup>40</sup> Posición correcta en silla de ruedas. Disponible en: [ <http://ocw.mit.edu/courses/special-programs/sp-784-wheelchair-design-in-developing-countries-spring-2009/lecture-notes/> ], 2013.

### 3.2 Cálculo del centro de gravedad

El cálculo del centro de gravedad indica el peso del usuario concentrado en un punto lo que permite hacer los cálculos estáticos y dinámicos del usuario y el cálculo de estabilidad de la silla de ruedas.

#### 3.2.1 Cálculo del centro de gravedad del usuario en posición sentada

El cálculo del centro de gravedad del usuario se halla usando el método del peso segmental<sup>41</sup>. Para este método se utiliza como base una persona sentada con un ángulo del respaldo de 14° como indica la Figura 3.9. En el Anexo 4 se muestra el resultado del centro de gravedad respecto del punto referencia, calculado por cada segmento del cuerpo como indica la Tabla 3.4.

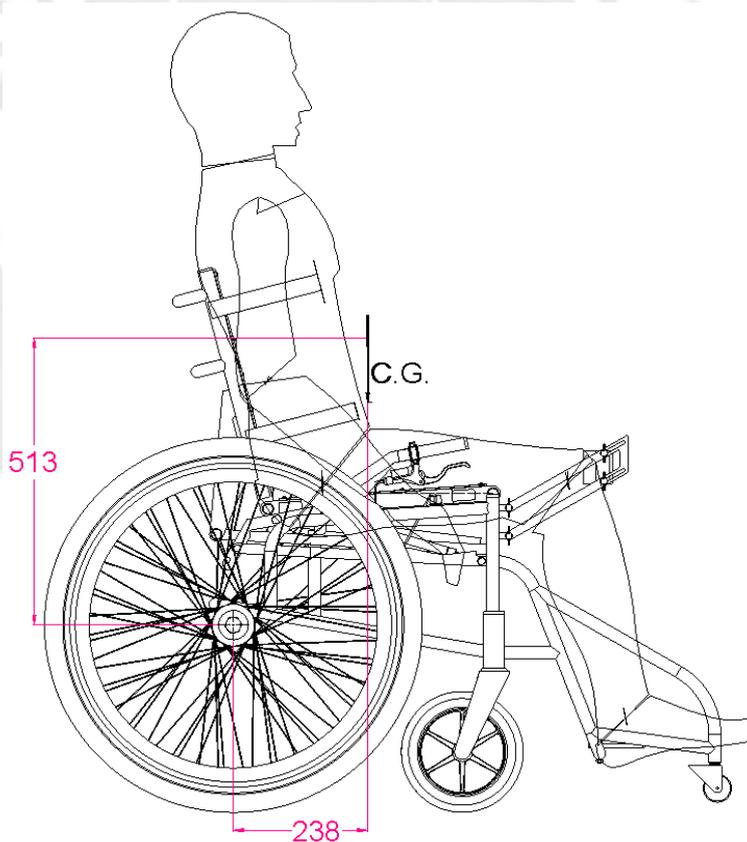


Figura 3.9 Centro de gravedad del usuario en posición sentada respecto al eje de la rueda trasera

<sup>41</sup> Extraída de: [<http://www.saludmed.com/Requisit/Centro-G.html>]

Tabla 3.4 Centro de Gravedad en posición sentada

Segmento del Cuerpo	% Peso Segmental	Valor de la Coordenada X	Productos (X) (%Peso)	Valor de la Coordenada Y	Productos (Y) (%Peso)
Cabeza y Cuello	0,079	127	10,0	1361	107,5
Tronco	0,511	211	107,8	891	455,3
Brazo superior derecho	0,027	304	8,2	1132	30,6
Brazo Inferior Derecho	0,016	585	9,4	1140	18,2
Mano derecha	0,006	819	4,9	1159	7,0
Brazo superior izquierdo	0,027	304	8,2	1132	30,6
Brazo inferior izquierdo	0,016	585	9,4	1140	18,2
Mano izquierda	0,006	819	4,9	1159	7,0
Muslo derecho	0,097	487	47,2	652	63,2
Pierna inferior derecha	0,045	712	32,0	439	19,8
Pie derecho	0,014	767	10,7	201	2,8
Muslo izquierdo	0,097	487	47,2	652	63,2
Pierna inferior izquierda	0,045	712	32,0	439	19,8
Pie izquierdo	0,014	767	10,7	201	2,8
TOTAL	1		342,9		846,0

De la Tabla 3.4, para la posición sentada con ángulo de respaldo de 14° e inclinación del asiento de 4°, como se estableció en el acápite 3.1, se determina que el centro de gravedad C.G. se encuentra aproximadamente (según Figura 3.9) a 21 cm (horizontal) medido desde el eje de la rueda grande, y aproximadamente a 52 cm (vertical) medido desde el mismo eje referencia.

### 3.2.2 Cálculo del centro de gravedad del usuario en posición bípeda

En el cálculo del centro de gravedad del usuario para posición bípeda, como se indica en la Figura 3.10, se considera ángulo de inclinación del asiento de 14° respecto de la vertical. En la Figura 3.10, el C.G. se encuentra a 75 cm aprox. (vertical) medido desde el eje de la rueda grande y aproximadamente a 49 cm (horizontal) desde el mismo eje de referencia.

La Tabla 3.5 indica el C.G. de la persona en posición vertical desde el eje de la rueda posterior. En el Anexo 5 se muestra una imagen con la posición relativa del centro de gravedad para cada segmento del cuerpo, según lo indica la Tabla 3.5, lo que permitió determinar el centro de gravedad.



Figura 3.10 Centro de Gravedad de usuario en posición vertical

Tabla 3.5 Centro de Gravedad en posición Vertical

Segmento del Cuerpo	% Peso Segmental	Valor de la Coordenada X	Productos (X) (%Peso)	Valor de la Coordenada Y	Productos (Y) (%Peso)
Cabeza y Cuello	0,079	599	47,3	1711	135,2
Tronco	0,511	603	308,1	1225	626,0
Brazo superior derecho	0,027	752	20,3	1473	39,8
Brazo Inferior Derecho	0,016	1035	16,6	1480	23,7
Mano derecha	0,006	1267	7,6	1499	9,0
Brazo superior izquierdo	0,027	752	20,3	1473	39,8
Brazo inferior izquierdo	0,016	1035	16,6	1480	23,7
Mano izquierda	0,006	1267	7,6	1499	9,0
Muslo derecho	0,097	646	62,7	761	73,8
Pierna inferior derecha	0,045	699	31,5	330	14,9
Pie derecho	0,014	753	10,5	92	1,3
Muslo izquierdo	0,097	646	62,7	761	73,8
Pierna inferior izquierda	0,045	699	31,5	330	14,9
Pie izquierdo	0,014	753	10,5	92	1,3
TOTAL	1		653.7		1085.9

### 3.3 Selección del actuador

Al seleccionar el actuador se siguen las recomendaciones del manual técnico “Indicaciones para calcular y determinar el pistón a gas adecuado”<sup>42</sup>.

La estructura del asiento es el elemento a mover que se encuentra conectado a la estructura del respaldo, es decir, que la estructura del asiento va a impulsar el movimiento de la estructura del respaldo.

El actuador se conectará a través de un pin a la estructura del asiento y generará el giro del mismo. La estructura del asiento gira alrededor de un pin de giro mostrado en la Figura 3.11. Las dimensiones del asiento son  $A=400\text{mm}$  y  $B=390\text{mm}$  como se indicó en la Figura 3.3.

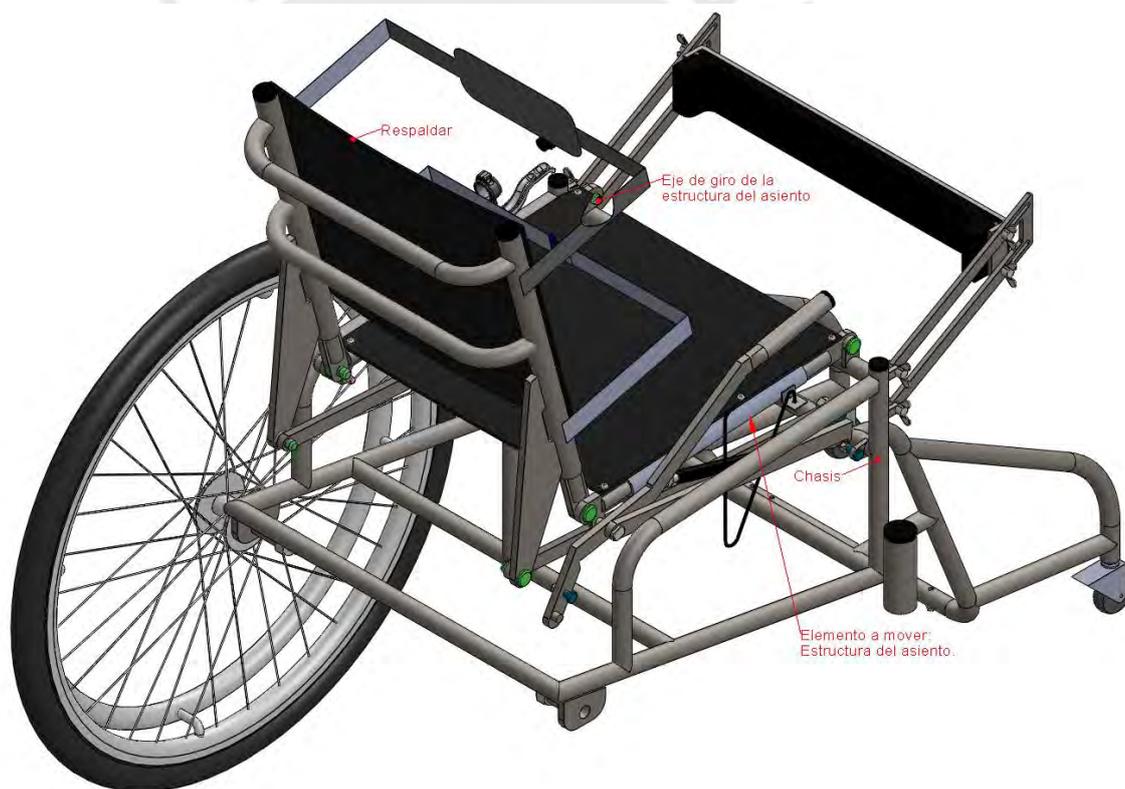


Figura 3.11 Elementos del mecanismo a mover

<sup>42</sup> Indicaciones para calcular y determinar el pistón a gas adecuado. DICTADOR Technik. Cálculo y selección. Barcelona. España. Pagina visitada el 30/07/2021 [<https://en.dictador.de/wp-content/uploads/14-Indicaciones-para-calculary-determinar.pdf>]

- Los ejes de referencia Z y W se colocan en el punto de giro del asiento (visto lateralmente). El eje Z se coloca desde la posición inicial y el eje W hasta la posición final del asiento. En la Figura 3.12 se muestra lo explicado.

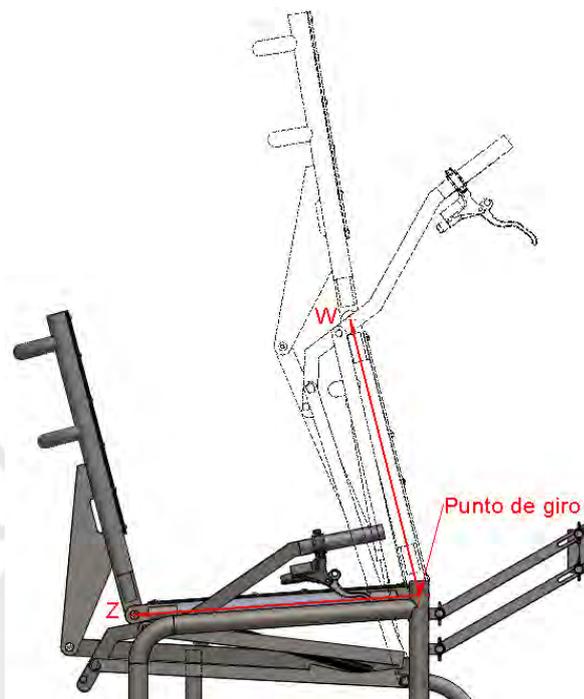


Figura 3.12 Posición de ejes de referencia

- El siguiente paso es hallar el punto fijo de giro R del actuador (primer punto de fijación). Dicho punto pertenece a la estructura del chasis de la silla de ruedas. Para hallar el punto R se traza una línea paralela al eje Z cuya distancia es de 120mm y una distancia horizontal de 20mm desde el punto de giro del asiento. En la Figura 3.13 se muestra lo explicado.
- Seguidamente, se halla el segundo punto de fijación del actuador. Primero, se trazan paralelas a una distancia de 25mm a los ejes de referencias Z, W. Segundo, se selecciona la longitud de extendido para el actuador, en este caso se establece en 400mm (Figura 3.14a). Tercero, se traza la circunferencia C1 con radio 400mm y centro en el punto "R". La intersección de la paralela al eje de referencia W con la circunferencia C1 genera el punto "Kaux" en la posición del asiento levantado. Cuarto, se traza la circunferencia C2 con centro en el punto de giro del asiento y su radio es la distancia entre el punto "Kaux" y el punto de giro. La intersección de la paralela al eje Z con la circunferencia C2 genera el punto "K" en la posición horizontal del asiento. De esta manera, se tienen los dos puntos de fijación del actuador. En la Figura 3.14b se encuentra graficado lo explicado anteriormente.

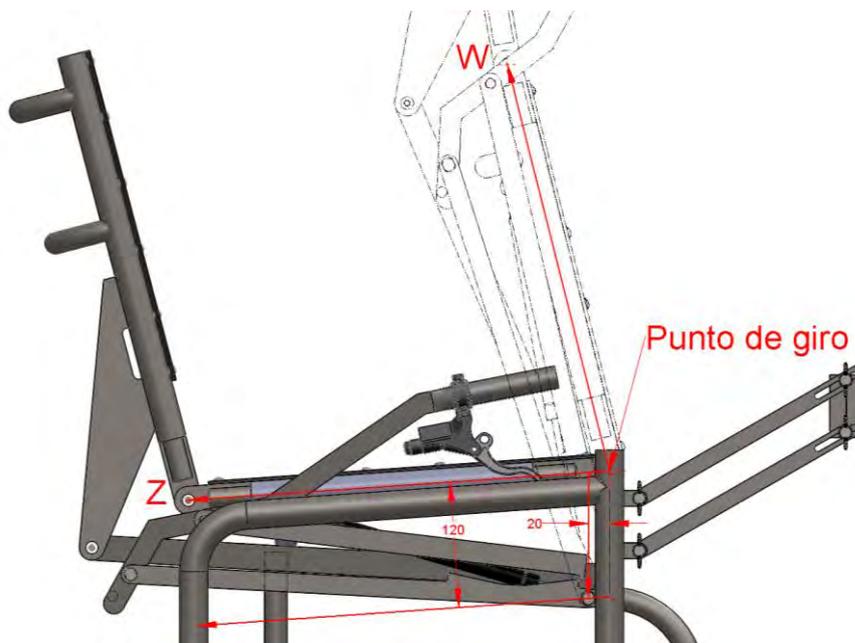


Figura 3.13 Posición de línea paralela al eje de referencia Z

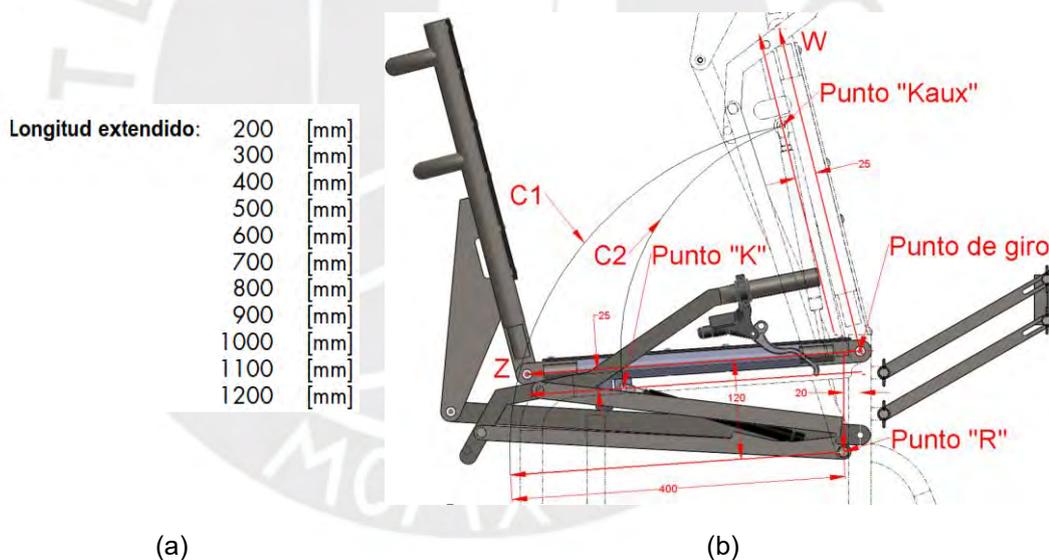


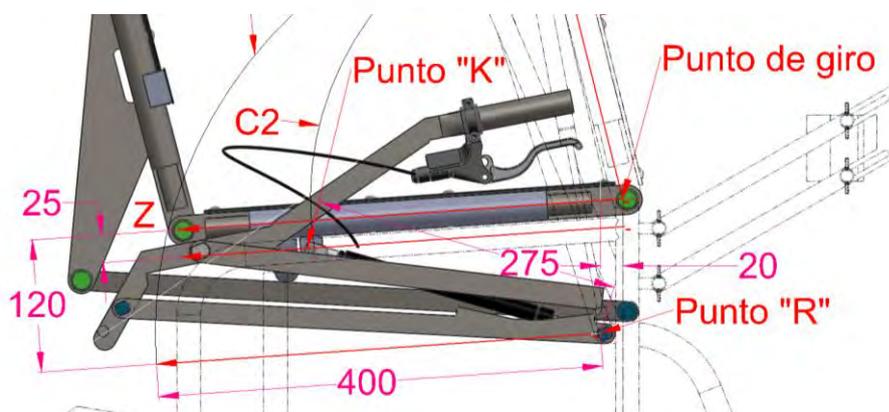
Figura 3.14: Selección del actuador. (a) Longitud de extendido del actuador (b) Puntos de fijación del actuador

- Se verifica la longitud del actuador comprimido. La distancia entre el punto K y el punto R es mayor que la longitud mínima del actuador comprimido (250mm) que se muestra en la Figura 3.15a. Esta distancia es de 275mm indicado en la Figura 3.15b. La distancia entre punto Kaux y punto R es 400mm. La diferencia de estas dos longitudes, 125mm, es la carrera del pistón, es decir, cuando el actuador está estirado y comprimido.

La	Le	Carrera
200	150	50
300	200	100
400	250	150
500	300	200
600	350	250
700	400	300
800	450	350
900	500	400
1000	550	450
1100	600	500

La = Longitud extendido    R-K<sub>abierto</sub>  
Le = Longitud comprimido    R-K<sub>cerrado</sub>

(a)



(b)

Figura 3.15 Selección del actuador. (a) Longitud de actuador comprimido<sup>43</sup> (b) Longitud del actuador para el mecanismo

- El siguiente paso es calcular la fuerza en el actuador para saber si podrá levantar al usuario. Se considera solo el peso máximo(100kg) y mínimo(60kg) del usuario y el peso aproximado P de los elementos que se moveran al momento de activar el actuador aproximadamente 14 kg. Se omite para este paso la fricción entre los elementos. El mayor requerimiento de la fuerza en el actuador es cuando el usuario se encuentra en la posición sentada. En la Figura 3.16 indica la fuerza actuante F en el pistón, asumiendo una gravedad de  $10 \text{ m/s}^2$ .

<sup>43</sup> Indicaciones para calcular y determinar el pistón a gas adecuado. DICTADOR Technik. Cálculo y selección. Barcelona. España. Página visitada el 30/07/2021 [<https://en.dictador.de/wp-content/uploads/14-Indicaciones-para-calculary-determinar.pdf>]

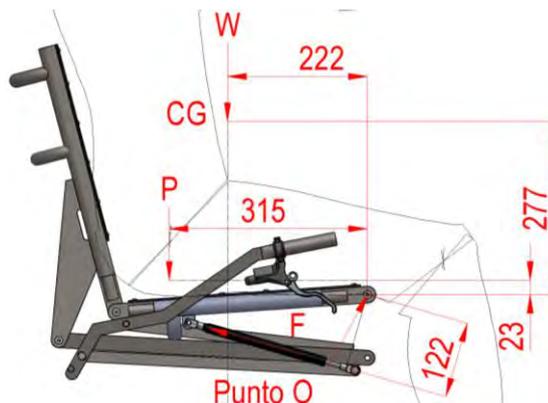


Figura 3.16 Distribución de fuerzas actuantes en actuador

De la Figura 3.16 se obtiene la Ecuación 3.1. Con la posición mostrada en la Figura 3.16 se construye la Tabla 3.6 donde se muestra la fuerza en el pistón con un peso de 60kg, 80kg y 100kg.

$$\sum M_O = 0: Fx122 - Px315 - Wx222 = 0 \quad (3.1)$$

Dónde:

$F$  = Fuerza del pistón a gas comprimido (N)

$P$  = Peso aproximado de los elementos (N)

$W$  = Peso del usuario (N)

Tabla 3.6 Fuerzas de elevación en el pistón

PESO W(kg)	F(N)	Fnom(N)	Fnom/pistón(N)
60	1350	1038	519
80	1714	1318	659
100	2078	1598	799

Dónde:

$F$  = Fuerza necesaria para elevar al usuario.

$${}^{44}F_{NOM} = \text{Fuerza nominal de empuje de salida del pistón} \rightarrow \frac{F}{1.3}$$

$$\frac{F_{NOM}}{PISTÓN} = F_{NOM} \text{ entre el numero de pistones} \rightarrow \frac{F_{NOM}}{2}$$

En la Tabla 3.7 se muestran las fuerzas necesarias que el pistón tiene que ejercer para elevar al usuario. Las posiciones se muestran cada 10°.

Tabla 3.7 Fuerza para colocar al usuario en posición bípeda en 9 posiciones angulares.

<sup>44</sup> Efecto de la Progresividad: Cuando el vástago entra en el cilindro, el volumen resultante para el gas disminuye generando que la presión del gas y la fuerza del pistón, aumenten. Este efecto genera un 30% más de fuerza.

PESO W(kg)	Ángulo ( $\theta^\circ$ )	F(N)	Fnom(N)	Fnom/pistón(N)	Referencia
60	-4	1350	1038	519	1
	6	1337	1029	514	2
	16	1281	986	493	3
	26	1197	921	460	4
	36	1066	820	410	5
	46	844	649	325	6
	56	499	384	192	7
	66	-21	-16	-8	8
	76	-1045	-804	-402	9
80	-4	1714	1318	659	1
	6	1692	1301	651	2
	16	1613	1241	621	3
	26	1498	1152	576	4
	36	1322	1017	508	5
	46	1027	790	395	6
	56	568	437	219	7
	66	-118	-91	-45	8
	76	-1469	-1130	-565	9
100	-4	2078	1598	799	1
	6	2046	1574	787	2
	16	1946	1497	748	3
	26	1799	1384	692	4
	36	1577	1213	607	5
	46	1210	931	465	6
	56	638	491	245	7
	66	-214	-165	-82	8
	76	-1893	-1456	-728	9

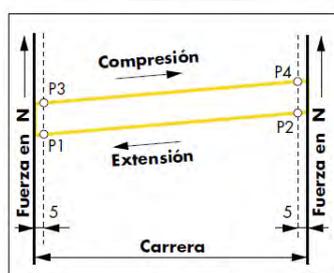
- Calculada la fuerza Fnon/pistón, en este caso resulta 400 N para cada actuador, se selecciona el correspondiente actuador, cuyos datos técnicos se muestran en la Figura 3.17.

Ø vástago	3	4	6	8	10	14	20	25	30
Ø cilindro	10	12	15	19	23	28	40	55	65
Carrera H mín. (mm)	10	10	20	40	40	50	50	100	100
Carrera H max. (mm)	80	200	300	500	700	700	600	1000	1000
Tipos amortiguación	0, 1	0, 1	0, 1, 2, 3	0, 1, 2, 3	0, 1, 2, 3	0, 1, 2, 3	0, 1, 2, 3	1	1
Fuerza mín.	10/15 N	10 N	40 N	80 N	100 N	150 N	300 N	500 N	750 N
Fuerza max.	100 N	180 N	400 N	700 N	1200 N	2500 N	5000 N	7500 N	10000 N
L comprim. (GZ-GZ)*	Lextend.-H	Lextend.-H	Lextend.-H	Lextend.-H	Lextend.-H	Lextend.-H	Lextend.-H	Lextend.-H	Lextend.-H
L extendido (GZ-GZ)*	2x H + 32	2x H + 32	2x H + 30	2x H + 45	2x H + 45	2x H + 46	2x H + 100	2x H + 140	2x H + 160
Conexiones	GZ, A, G WG	GZ, A, G WG	GZ, A, G WG, KGA, GK	GZ, G	GZ, G				
Cámara aceite (4)*	no	no	L + 15	no	no				
Válvula (5)	si	si	si	si	si	si	si	estándar	estándar
Tubo de protección(6)*	L + 5	L + 5	L + 5	L + 5	L + 5	L + 5	L + 5	L + 5	L + 5
Muelle integrado (7)*	no	no	no	no	no	no	no	no	no
Ø Tubo de protección	12	15	19	23	28	32	45	60	70

\* Carrera (H) y cotas de longitud (L) + longitudes adicionales siempre en mm [Ejemplo serie 8-19; carrera 50; longitud extendida= 2 x 50 + 45 = 145 mm]

Figura 3.17 Datos técnicos del actuador seleccionado: Pistón a gas de empuje D 8-19 <sup>45</sup>

- Al seleccionar el actuador, permite obtener la curva de la trayectoria de la fuerza en el pistón como se indica en la Figura 3.18.



- P1** La fuerza indicada en la descripción del pedido y en la etiqueta ( $F_{nominal}$ ) es la **fuerza de empuje de salida** aprox. 5 mm antes de acabar el recorrido.
- P2** Un pistón a gas cuando está comprimido, la fuerza mayor por el valor de la progresividad (aprox. un 30 %). Cuando el vástago entra más en el cilindro, mayor es la compresión del gas y, por consiguiente, el aumento de fuerza (ver página 06.009.00).
- P3** La **fuerza** necesaria para la **entrada del vástago** en el cilindro, es mayor que la fuerza de empuje, debido al rozamiento.
- P4** Cuando más entra el vástago en el cilindro, más se comprime el gas, y la fuerza de empuje en la salida, aumenta. Por razones de seguridad deben colocarse topes al final de carrera, a una distancia mínima de 5 mm del límite de la carrera.

Figura 3.18 Trayectoria de la Fuerza del Pistón<sup>46</sup>

- Se construye la curva de la Figura 3.18, considerando el peso mínimo (Figura 3.19a), intermedio (Figura 3.19b) y máximo (Figura 3.19c) del usuario, dónde  $P1 = F_{min}$ . P4 es la Fuerza max. La fuerza P2 es 70% de Fuerza max. Como se observa en la Figura 3.19a el usuario de 60kg tiene que ejercer una fuerza sumatoria además del pistón en todo el recorrido excepto cuando llega al recorrido final porque el usuario tiene que contener al pistón, lo mismo ocurre con el usuario de 80kg en la Figura 3.19b y con el usuario de 100kg en la Figura 3.19c que tiene que ejercer una mayor fuerza sumatoria además del pistón en todo su recorrido excepto cuando llega al final de su recorrido porque tiene que ejercer

<sup>45</sup> Indicaciones para calcular y determinar el pistón a gas adecuado. DICTADOR Technik. Cálculo y selección. Barcelona. España. Página visitada el 30/07/2021 [<https://en.dictador.de/wp-content/uploads/14-Indicaciones-para-calcul-y-determinar.pdf>]

<sup>46</sup> Indicaciones para calcular y determinar el pistón a gas adecuado. DICTADOR Technik. Cálculo y selección. Barcelona. España. Página visitada el 30/07/2021 [<https://en.dictador.de/wp-content/uploads/14-Indicaciones-para-calcul-y-determinar.pdf>]

una mayor fuerza de contención. En cada una de las figuras se hace referencia a los valores de la fuerza del pistón según Tabla 3.7.

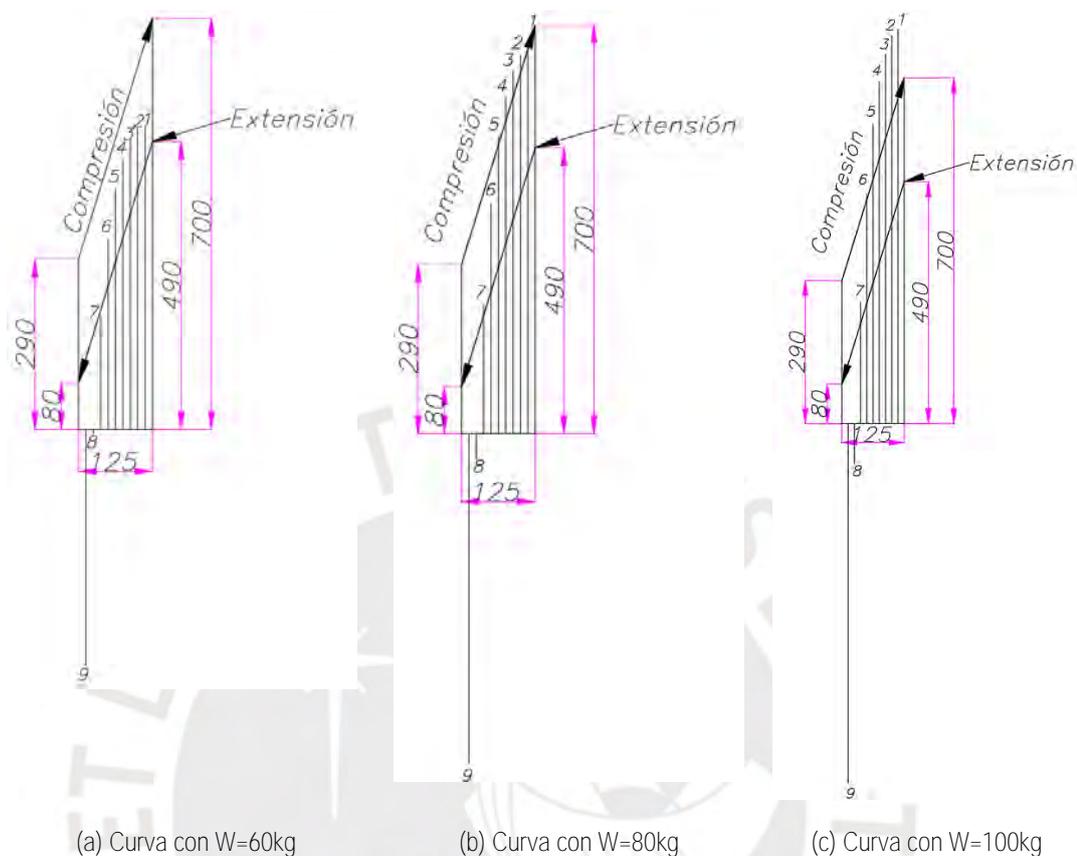


Figura 3.19 Curva de fuerzas en el pistón VS la fuerza requerida real en el pistón

### 3.3.1 Selección de conexiones del actuador

En la selección del tipo conexión del pistón se usa la recomendación de acuerdo al tipo de cilindro seleccionado, según Figura 3.20<sup>47</sup>. En este caso se selecciona la conexión tipo horquilla para el vástago y el cilindro, ya que este presenta mejor estabilidad en el actuador.

<sup>47</sup> Indicaciones para calcular y determinar el pistón a gas adecuado. DICTADOR Technik. Cálculo y selección. Barcelona. España. Pagina visitada el 30/07/2021 [<https://en.dictador.de/wp-content/uploads/14-Indicaciones-para-calculary-determinar.pdf>]

## Conexiones

en el vástago

en el cilindro

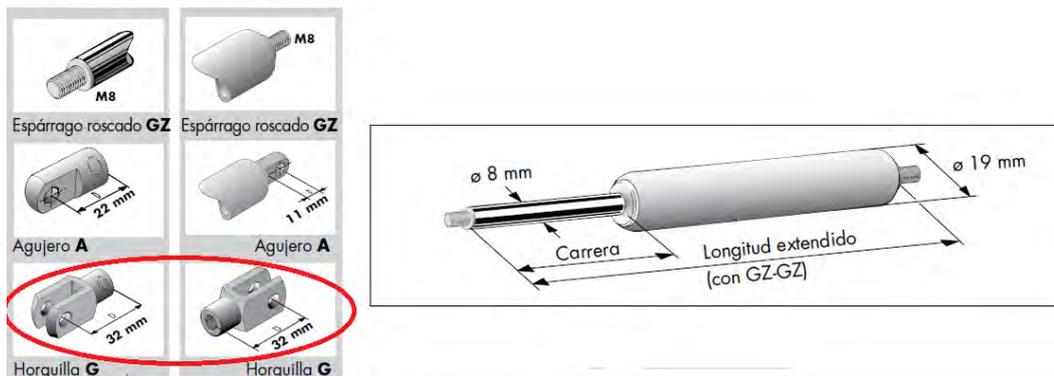


Figura 3.20 Medidas del actuador y selección del actuador

### 3.4 Diseño y análisis del mecanismo de levante

El diseño propuesto para el posicionamiento vertical del usuario consta respaldar, asiento y elementos de control para el actuador. Los elementos de control están colocados de tal manera que trabaja como un mecanismo tipo tijera. También consta de los elementos de control para el respaldar que permita posicionarlo en forma vertical a un ángulo de  $-14^\circ$  respecto a la vertical. Todos los elementos descritos tienen puntos de apoyo fijos situados en el chasis. En la Figura 3.21 se muestra lo explicado.



Figura 3.21 Partes principales de la silla de ruedas

### 3.4.1 Análisis dinámico del mecanismo de levante

En el cálculo dinámico de la silla de rueda se utilizará del método Newtoniano. El resultado de estos cálculos permitirá saber cuál es la fuerza que debe ejercer el usuario en la palanca del mecanismo de elevación para retornar a la posición sentada. El modelo dinámico que se desarrolla se basa teniendo las siguientes consideraciones:

- El movimiento del mecanismo es plano
- Los elementos del mecanismo se consideran rígido de masa  $m$ .
- El peso del usuario "M" se asumirá como una fuerza puntual y constante aplicada a una distancia " $X_{MD}$ " desde el Punto fijo PF1.
- Para efectos del cálculo solo se considera las barras implicadas directamente en la transmisión del movimiento
- Se considera como fuerza puntual y constante el peso del respaldo (4kg) aplicado en la conexión con el asiento y el peso de las barras de los posapiés (5kg) a una distancia " $X_{HF}$ ".

El análisis de estudio es desde la bípeda hacia la posición sentada, en la Figura 3.22 (a) se muestra el mecanismo de estudio, en la figura 3.22 (b) la posición angular desde bípeda a sentada que se realizará cada  $10^\circ$ , 9 posiciones de análisis.

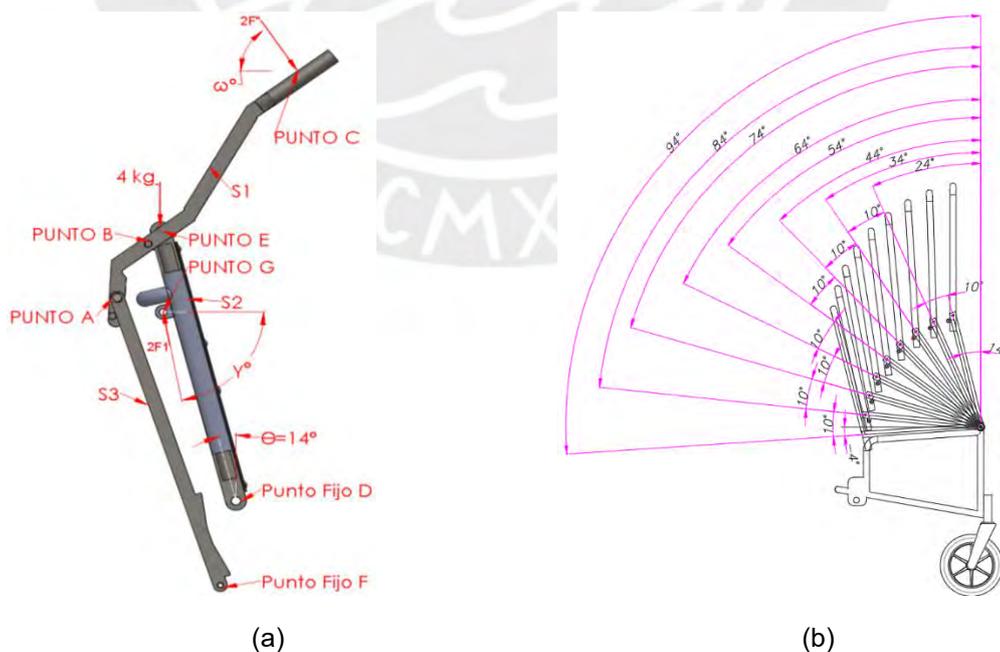


Figura 3.22 Análisis dinámico. (a) DCL para análisis dinámico, (b) Posición angular cada  $10^\circ$

- Aplicando equilibrio estático al diagrama de cuerpo libre del Cuerpo S1 (Figura 3.23) se obtienen las Ecuaciones 3.2 a 3.4.

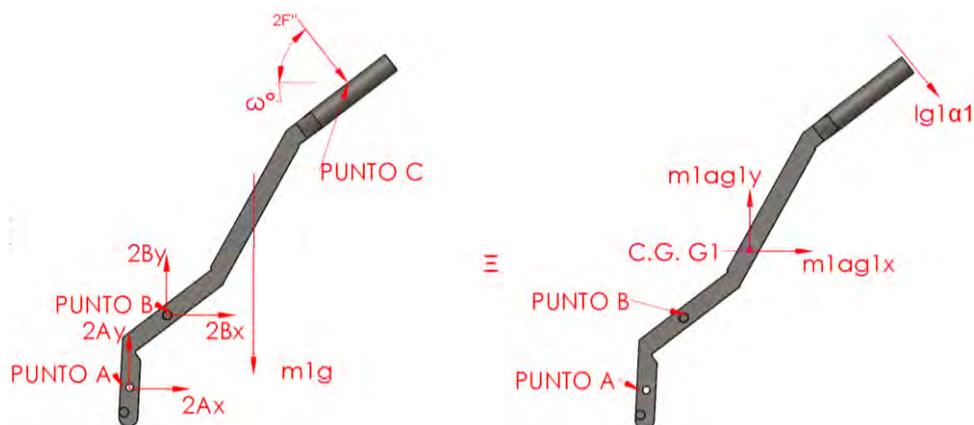


Figura 3.23 Diagrama de Cuerpo Libre del Cuerpo S1

$$2A_X + 2B_X + 2F'' \cos(\omega) = m_{1T} a_{G1}^X \quad (3.2)$$

$$2A_Y + 2B_Y - m_{1T} g - 2F'' \sin(\omega) = m_{1T} a_{G1}^Y \quad (3.3)$$

$$-2F'' \cos(\omega) * Y_{BC} - 2F'' \sin(\omega) * X_{BC} - m_{1TG1} * X_{BG1} - 2A_Y * X_{BA} + 2A_X * Y_{BA} = -m_{1TG1} * a_{G1}^X * Y_{GB} + m_{1TG} * a_G^Y * X_{GB} - I_B * \alpha_1 \quad (3.4)$$

- Aplicando equilibrio estático al diagrama de cuerpo libre del Cuerpo S2 (Figura 3.24) se obtienen las Ecuaciones 3.5 a 3.7.



Figura 3.24 Diagrama de Cuerpo Libre del Cuerpo S2

$$-2B_X - 2F_1 \cos(\gamma) + 2D_X = m_2 a_{G2}^X \quad (3.5)$$

$$-2B_Y - 10 * 4 - m_2 g + 2F_1 \sin(\gamma) + 2D_Y - M = m_2 a_{G2}^Y \quad (3.6)$$

$$\begin{aligned} 10 * 4 * X_{ED} + 2B_X * Y_{BD} + 2B_Y * X_{BD} + 2F_1 \cos(\gamma) * Y_{GD} - 2F_1 \sin(\gamma) * X_{GD} \\ - m_2 g * X_{G2D} - Mg * X_{MD} \\ = -m_2 * a_{G2}^X * Y_{G2/D} - m_2 * a_{G2}^Y * X_{G2/D} + I_D * \alpha_2 \end{aligned} \quad (3.7)$$

- Aplicando equilibrio estático al diagrama de cuerpo libre del Cuerpo S3 (Figura 3.25) se obtienen las Ecuaciones 3.8 a 3.10.

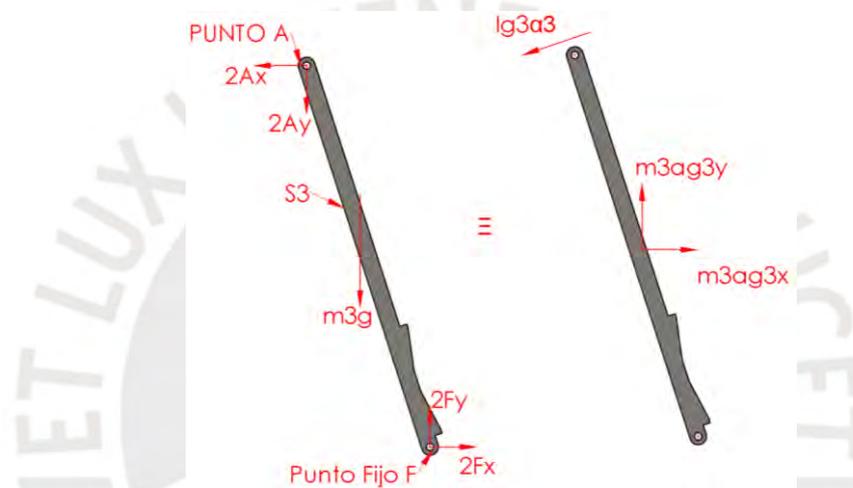


Figura 3.25 Diagrama de Cuerpo Libre del Cuerpo S3

$$-2A_X + 2F_X = m_3 a_{G3}^X \quad (3.8)$$

$$-2A_Y - m_3 g + 2F_Y = m_3 a_{G3}^Y \quad (3.9)$$

$$\begin{aligned} 2A_X * Y_{AF} + 2A_Y * X_{AF} + m_3 g * X_{GF} \\ = -m_3 * a_{G3}^X * Y_{GF} - m_3 * a_{G3}^Y * X_{GF} + I_F * \alpha_3 \end{aligned} \quad (3.10)$$

Como se puede observar de las Ecuaciones 3.2 a 3.10, se tienen 9 ecuaciones y 18 incógnitas ( $F''$ ,  $A_x$ ,  $A_y$ ,  $B_x$ ,  $B_y$ ,  $D_x$ ,  $D_y$ ,  $F_x$ ,  $F_y$ ,  $ag_{1x}$ ,  $ag_{1y}$ ,  $ag_{2x}$ ,  $ag_{2y}$ ,  $ag_{3x}$ ,  $ag_{3y}$ ,  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\alpha_3$ ). Por lo tanto, se requieren el análisis de velocidad y aceleración para completar las 18 ecuaciones. En este caso se asumirá que el giro del asiento tiene velocidad angular constante.  $\alpha_2=0\text{rad/s}^2$ , y que en el análisis de las velocidades y aceleraciones se considerarán las medidas geométricas en 9 posiciones

instantáneas del mecanismo, como se indicó en la Tabla 3.7. Previo a este análisis es necesario determinar los momentos de inercia de los cuerpos S1, S2, S3.

Elemento S1: En la Tabla 3.8 se muestran los momentos de inercia de masa respecto al centro de gravedad y al punto B del Elemento S1, en cada posición angular  $\Theta^\circ$  desde bípeda a sentada, que se muestra en la Figura 3.26. En la Tabla 3.9 se muestran las medidas geométricas relevantes.



Figura 3.26 Distribución de medidas respecto al centro de gravedad del Elemento S1

Tabla 3.8 Momentos de inercia de masa S1

$\Theta^{48}$	Masa(gr)	Momento de Inercia: $I_g(\text{kg} \cdot \text{mm}^2)$	$X_{bg}(\text{mm})$	$Y_{bg}(\text{mm})$	$I_b(\text{kg} \cdot \text{mm}^2)$
14°	1.372	26931.962	72	85	43957.11
24°	1.372	26931.962	72	85	43957.11
34°	1.372	26931.962	73	84	43924.182
44°	1.372	26931.962	75	82	43874.79
54°	1.372	26931.962	78	79	43841.862
64°	1.372	26931.962	83	75	44101.17
74°	1.372	26931.962	88	68	43900.858
84°	1.372	26931.962	94	59	43830.886
94°	1.372	26931.962	102	43	43743.078

Tabla 3.9 Posición relativa entre puntos A, B y C

$\Theta^\circ$	$\omega^\circ$	$Y_{bc}(\text{mm})$	$X_{bc}(\text{mm})$	$Y_{ba}(\text{mm})$	$X_{ga}(\text{mm})$	$Y_{ga}(\text{mm})$
14°	17	249	192	77	112	162
24°	19	249	191	78	111	163
34°	15	247	194	77	113	161
44°	12	242	201	76	118	158
54°	9	233	210	74	124	153
64°	10	222	222	72	132	147
74°	14	205	238	68	142	136
84°	21	180	257	62	155	121
94	34	137	283	52	172	95

<sup>48</sup> Ver figura 3.22 (b).

Elemento S2: En la Tabla 3.10 se muestran los momentos de inercia de masa respecto al centro de gravedad y al punto D del Elemento S2 que se muestra en la Figura 3.27. En la Tabla 3.11 se muestran las medidas geométricas relevantes.



Figura 3.27 Distribución de medidas respecto al centro de gravedad del Elemento S2

Tabla 3.10 Momentos de Inercia S2

$\Theta^\circ$	Masa(kg)	Momento de Inercia: $I_g(\text{kg} \cdot \text{mm}^2)$	$X_{gd}$	$Y_{gd}$	$I_d(\text{kg} \cdot \text{mm}^2)$	M(kg)	$X_{md}$	$Y_{md}$
14	2.727	41798.264	-63	216	177307.474	80	-91	515
24	2.727	41798.264	-99	201	176153.953	80	-27	510
34	2.727	41798.264	-133	181	176830.249	80	26	490
44	2.727	41798.264	-162	155	176336.662	80	73	458
54	2.727	41798.264	-187	125	177222.937	80	120	418
64	2.727	41798.264	-205	91	176437.561	80	155	383
74	2.727	41798.264	-218	54	176802.979	80	186	351
84	2.727	41798.264	-224	15	176696.626	80	211	313
94	2.727	41798.264	-223	-24	176434.834	80	222	278

Tabla 3.11 Posición relativa entre puntos B, D, E y m

$\Theta^\circ$	$F_1(\text{N})$	$\gamma^\circ$	$X_{ed}(\text{mm})$	$Y_{ed}(\text{mm})$	$X_{bd}(\text{mm})$	$Y_{bd}(\text{mm})$	$X_{Gd}$	$Y_{Gd}$
14	331	79	97	388	-113	370	-93	271
24	372	72	163	365	-175	344	-139	251
34	413	65	224	332	-232	309	-181	223
44	454	58	278	288	-283	264	-217	188
54	495	50	324	235	-324	211	-246	148
64	536	42	360	175	-356	151	-268	103
74	577	34	385	110	-377	87	-282	55
84	618	25	398	42	-386	20	-287	5
94	659	16	399	-28	-384	-47	-284	-45

- Elemento S3: En la Tabla 3.12 se muestran los momentos de inercia de masa respecto al centro de gravedad y al punto F del Elemento S3 que se muestra en la Figura 3.28. En la Tabla 3.13 se muestran las medidas geométricas relevantes.

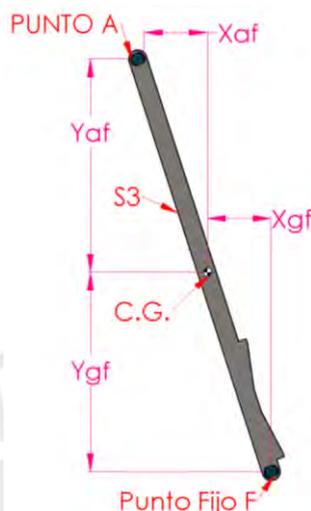


Figura 3.28 Distribución de medidas respecto al centro de gravedad del Elemento S3

Tabla 3.12 Momentos de Inercia S3

$\theta^\circ$	Masa(kg)	Momento de Inercia: $I_g(\text{kg} \cdot \text{mm}^2)$	$X_{gf}(\text{mm})$	$Y_{gf}(\text{mm})$	$I_f(\text{kg} \cdot \text{mm}^2)$
14	1.19	19847.95968	-63	200	72.065
24	1.19	19847.95968	-93	188	72.094
34	1.19	19847.95968	-122	171	72.251
44	1.19	19847.95968	-147	150	72.232
54	1.19	19847.95968	-168	125	71.923
64	1.19	19847.95968	-186	98	72.340
74	1.19	19847.95968	-198	68	71.898
84	1.19	19847.95968	-206	39	72.051
94	1.19	19847.95968	-209	12	71.895

Tabla 3.13 Distancia entre puntos A y F

$\theta^\circ$	$X_{af}(\text{mm})$	$Y_{af}(\text{mm})$
14	-133	414
24	-195	388
34	-253	353
44	-305	309
54	-350	258
64	-385	201
74	-411	141
84	-427	80
94	-434	23

### Relaciones cinemáticas

En la Figura 3.29 se muestra los polos del elemento S1 y con algunas relaciones de velocidad hallaremos la  $\omega_1$ (rad/s) y  $\omega_3$ (rad/s). Vea Anexo 6 donde se muestra la ubicación del polo O14

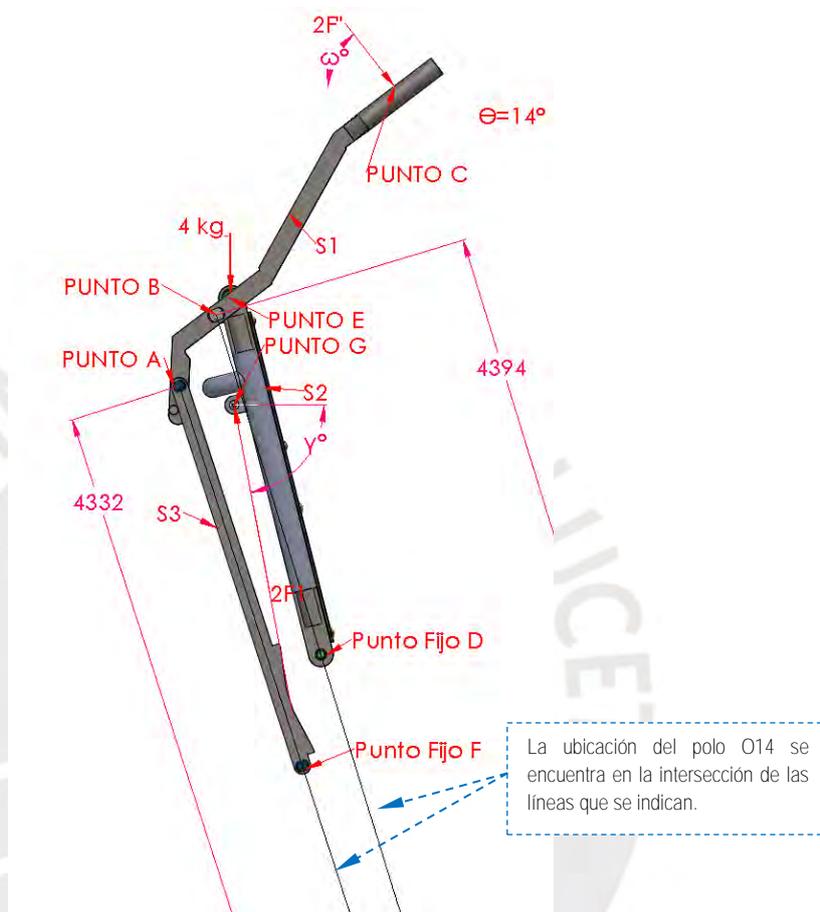


Figura 3.29 Ubicación de Polo

Según la Figura 3.29 se obtienen las Ecuaciones 3.11 a 3.13.

$$V_A = \omega_3 * |AF| = \omega_1 * |AO_{14}| \quad (3.11)$$

$$V_B = \omega_2 * |BD| = \omega_1 * |BO_{14}| \quad (3.12)$$

$$\omega_3 = \frac{\omega_2 * |BD|}{|BO_{14}|} * \frac{|AO_{14}|}{|AF|} \quad (3.13)$$

En la Tabla 3.14 se muestra los resultados de las velocidades angulares para distintas posiciones.

Tabla 3.14 Velocidades angulares en distintas posiciones

$\Theta^\circ$	AF(mm)	BD(mm)	AO10(mm)	BO10(mm)	$\omega_2(\text{rad/s})$	$\omega_1(\text{rad/s})$	$\omega_3(\text{rad/s})$
14	434	387	4332	4394	0	0.0000	0.0000
24	434	387	12061	12010	0.2182	0.0070	0.1954
34	434	387	3317	3279	0.2182	0.0257	0.1968
44	434	387	2057	2034	0.2182	0.0415	0.1967
54	434	387	1472	1467	0.2182	0.0576	0.1952
64	434	387	1080	1094	0.2182	0.0772	0.1921
74	434	387	768	802	0.2182	0.1053	0.1863
84	434	387	496	549	0.2182	0.1538	0.1758
94	434	387	245	318	0.2182	0.2655	0.1499

Continuando con el análisis, se obtienen las Ecuaciones 3.14 a 3.19, que representan las aceleraciones de los elementos.

- Elemento S1:

$$\vec{a}_{G1} = \vec{a}_A + \vec{a}_{G1/A}^t + \vec{a}_{G1/A}^n \quad (3.14)$$

$$\vec{a}_B = \vec{a}_A + \vec{a}_{B/A}^t + \vec{a}_{B/A}^n \quad (3.15)$$

- Elemento S2:

$$\vec{a}_{G2} = \vec{a}_D + \vec{a}_{G/D}^t + \vec{a}_{G/D}^n \quad (3.16)$$

$$\vec{a}_B = \vec{a}_D + \vec{a}_{B/D}^t + \vec{a}_{B/D}^n \quad (3.17)$$

- Elemento S3:

$$\vec{a}_{G3} = \vec{a}_F + \vec{a}_{G/F}^t + \vec{a}_{G/F}^n \quad (3.18)$$

$$\vec{a}_A = \vec{a}_F + \vec{a}_{A/F}^t + \vec{a}_{A/F}^n \quad (3.19)$$

Resolviendo las Ecuaciones 3.14 a 3.19 se obtienen los siguientes resultados:

$$\vec{a}_A = (-\alpha_3 * Y_{AF} - \omega_3^2 * X_{AF}; \alpha_3 * X_{AF} - \omega_3^2 Y_{AF}) \quad (3.20)$$

$$\vec{a}_{G3} = (-\alpha_3 * Y_{GF} - \omega_3^2 * X_{GF}; \alpha_3 * X_{GF} - \omega_3^2 Y_{GF}) \quad (3.21)$$

$$\bar{a}_B = (-\alpha_2 * Y_{BD} - \omega_2^2 * X_{BD}; \alpha_2 * X_{BD} - \omega_2^2 Y_{BD}) \quad (3.22)$$

$$\bar{a}_{G2} = (-\alpha_2 * Y_{GD} - \omega_2^2 * X_{GD}; \alpha_2 * X_{GD} - \omega_2^2 Y_{GD}) \quad (3.23)$$

$$\bar{a}_B = (-\alpha_3 * Y_{AF} - \omega_3^2 * X_{AF} + \alpha_1 * Y_{BA} - \omega_1^2 * X_{BA}; \alpha_3 * X_{AF} - \omega_3^2 Y_{AF} - \alpha_1 * X_{BA} - \omega_1^2 Y_{BA}) \quad (3.24)$$

$$\bar{a}_{G1} = (-\alpha_3 * Y_{AF} - \omega_3^2 * X_{AF} + \alpha_1 * Y_{GA} - \omega_1^2 * X_{GA}; \alpha_3 * X_{AF} - \omega_3^2 Y_{AF} - \alpha_1 * X_{GA} - \omega_1^2 Y_{GA}) \quad (3.25)$$

Se igualan las componentes “X” e “Y” de las Ecuaciones 3.22 y 3.24

$$\text{Eje X: } -\alpha_2 * Y_{BD} - \omega_2^2 * X_{BD} = -\alpha_3 * Y_{AF} - \omega_3^2 * X_{AF} + \alpha_1 * Y_{BA} - \omega_1^2 * X_{BA}$$

$$\text{Eje Y: } \alpha_2 * X_{BD} - \omega_2^2 Y_{BD} = \alpha_3 * X_{AF} - \omega_3^2 Y_{AF} - \alpha_1 * X_{BA} - \omega_1^2 Y_{BA}$$

En la Tabla 3.15 se muestran los resultados de las aceleraciones para diversas posiciones del modelo dinámico. Cabe resaltar que estos resultados se obtuvieron usando las Ecuaciones 3.14 a 3.19.

Tabla 3.15 Aceleraciones en diferentes posiciones

$\Theta^\circ$	rad/s			mm/s <sup>2</sup>									
	$\alpha_2$	$\alpha_1$	$\alpha_3$	aAx	aAy	aG3x	aG3y	aBx	aBy	aG2x	aG2y	aG1x	aG1y
14	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
24	0	0.21	0.04	-8.00	-22.57	-3.93	-10.88	8.33	-16.37	4.71	-9.57	26.12	-45.81
34	0	0.15	0.03	-0.83	-21.29	-0.42	-10.29	11.04	-14.71	6.33	-8.61	23.97	-38.85
44	0	0.11	0.02	5.46	-18.23	2.61	-8.83	13.47	-12.57	7.71	-7.38	22.07	-31.06
54	0	0.07	0.01	10.50	-13.68	5.03	-6.61	15.42	-10.04	8.90	-5.95	20.58	-22.68
64	0	0.04	0.00	14.47	-6.89	6.99	-3.36	16.94	-7.19	9.76	-4.33	19.33	-12.83
74	0	0.02	-0.02	17.43	4.35	8.40	2.09	17.94	-4.14	10.38	-2.57	18.08	0.53
84	0	0.00	-0.08	19.68	32.15	9.53	15.50	18.37	-0.95	10.66	-0.71	16.28	28.95
94	0	0.00	-0.59	23.35	256.09	11.79	123.30	18.28	2.24	10.61	1.14	10.97	249.84

De las Ecuaciones 3.2 a 3.10 ya conocemos 9 incógnitas de las 18 que tenemos. Quedan por conocer 9 restantes ( $F''$ ,  $A_x$ ,  $A_y$ ,  $B_x$ ,  $B_y$ ,  $D_x$ ,  $D_y$ ,  $F_x$ ,  $F_y$ ,) y se determinan usando métodos matriciales para la solución del conjunto de ecuaciones (3.2 a 3.10) para cada posición del mecanismo.

Forma matricial:  $A * X = C$

A: Matriz de coeficientes.

X: Matriz columna que contiene las incógnitas.

C: Matriz de términos independientes

Aplicando matriz inversa obtenemos:  $X = A^{-1} * C$ , donde

$$A = \begin{bmatrix} 2 & 2 & 2\cos(\omega) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -2\cos(\omega) & 2 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 Y_{BA} & 0 & -2\cos(\omega) Y_{BC} - 2\cos(\omega) X_{BC} & -2X_{BA} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -2 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -2 & 0 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 2 Y_{BA} & 0 & 0 & -2 X_{BD} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 \\ 2 Y_{AF} & 0 & 0 & -2 X_{AF} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$X = \begin{bmatrix} AX \\ BX \\ F'' \\ AY \\ BY \\ DX \\ DY \\ FX \\ FY \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} m_1 a_{G1}^X \\ m_1 a_{G1}^Y + m_1 g \\ -m_{1G} * a_G^X * Y_{GB} + m_{1G} * a_G^Y * X_{GB} - I_{1B} * \alpha_1 + m_{1G} * X_{1BG} \\ m_2 a_{G2}^X - 2F_1 \cos(\gamma) \\ m_2 a_{G2}^Y + 4 * 10 + m_2 g - 2F_1 \sin(\gamma) \\ -m_2 * a_{G2}^X * Y_{G2/D} + m_2 * a_{G2}^Y * X_{G2/D} + I_D * \alpha_2 - 4 * 10 * X_{ED} - 2F_1 \cos(\gamma) \\ * Y_{BD} - 2F_1 \sin(\gamma) * X_{BD} + m_2 g * X_{GD} - Mg * X_{MD} \\ m_3 a_{G3}^X \\ m_3 a_{G3}^Y + m_3 g \\ -m_3 * a_{G3}^X * Y_{GF} + m_3 * a_{G3}^Y * X_{GF} + I_F * \alpha_3 + m_3 g * X_{GF} \end{bmatrix}$$

Los resultados de resolver este sistema de ecuaciones permiten conocer cuál es la fuerza  $F''$  que el usuario ejerce sobre la palanca del mecanismo para retornar a la posición sentada. Los resultados se muestran en las Tablas 3.16 y 3.17 para usuarios de 100kg y 60kg respectivamente.

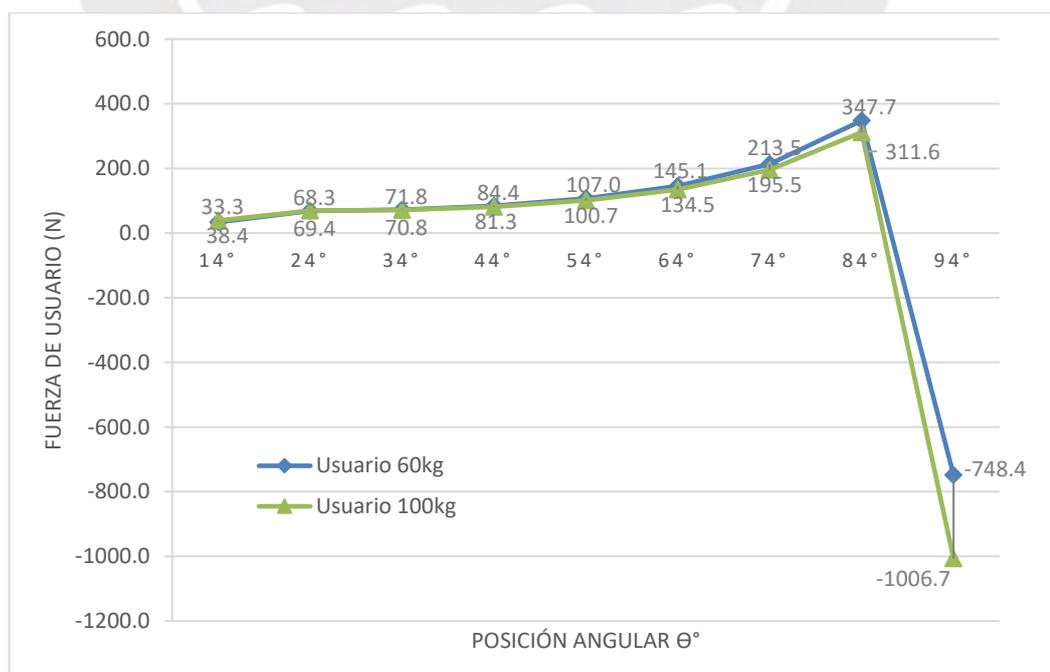
Tabla 3.16 Fuerzas actuantes en el mecanismo para usuario de 100kg

$\Theta^\circ$	Ax(N)	Bx(N)	F''(N)	Ay(N)	By(N)	Dx(N)	Dy(N)	Fx(N)	Fy(N)
14	55.8	-92.5	38.4	-176.4	194.5	-155.6	-96.8	55.8	-170.4
24	79.8	-127.5	69.4	-156.3	154.4	-236.1	-178.8	77.5	-156.8
34	103.9	-155.9	70.8	-144.7	143.3	-321.8	-209.2	103.7	-144.9
44	146.1	-210.5	81.3	-149.1	151.6	-440.6	-209.9	147.7	-148.4
54	209.5	-294.8	100.7	-156.5	163.5	-600.9	-190.2	212.5	-154.4
64	327.2	-446.3	134.5	-173.8	195.2	-831.4	-135.7	331.3	-169.8
74	564.0	-741.3	195.5	-197.8	252.3	-1205.5	-40.2	569.0	-190.6
84	1114.2	-1393.9	311.6	-216.6	355.0	-1939.5	126.5	1119.8	-201.4
94	-4650.0	5492.1	-1006.7	208.1	-592.8	4873.1	-739.2	-4643.0	287.2

Tabla 3.17 Fuerzas actuantes en el mecanismo para usuario de 60kg

$\Theta^\circ$	Ax	Bx	F''	Ay	By	Dx	Dy	Fx	Fy
14	48.4	-80.3	33.3	-153.4	170.0	-143.4	-121.2	48.4	-147.5
24	77.8	-124.5	68.3	-152.2	149.9	-233.0	-183.3	75.4	-152.7
34	106.1	-159.0	71.8	-147.7	146.5	-324.9	-205.9	105.8	-147.9
44	153.3	-220.6	84.4	-156.4	159.5	-450.7	-202.0	154.8	-155.7
54	224.9	-316.5	107.0	-167.8	175.9	-622.5	-177.8	227.9	-165.8
64	355.2	-484.9	145.1	-188.4	211.7	-869.9	-119.2	359.4	-184.5
74	617.3	-812.0	213.5	-216.0	274.9	-1276.2	-17.6	622.3	-208.9
84	1242.0	-1555.4	347.7	-240.5	391.8	-2101.0	163.3	1247.6	-225.4
94	-3389.6	4017.5	-748.4	141.3	-381.5	3398.5	-528.0	-3382.6	220.4

En la Figura 3.30 se muestra la curva de la fuerza del usuario que tiene que ejercer sobre la palanca para retornar a la posición sentada.

Figura 3.30 Fuerza de usuario(N) vs Posición de asiento respecto de la vertical ( $\Theta^\circ$ )

### 3.4.2 Análisis estático del mecanismo de levante

En la Figura 3.31 se muestra las distintas posiciones angular. El siguiente análisis es cuando el usuario mantiene el asiento en posición inicial y no se activa el mecanismo de levante.

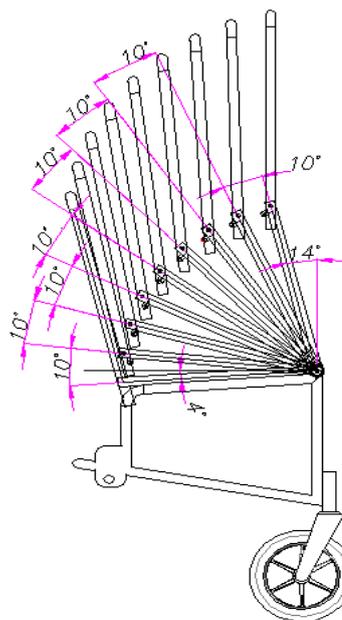


Figura 3.31 Las 9 posiciones de análisis estático

### 3.4.3. Análisis de Respaldar

Analizamos el componente respaldar de la silla de rueda en la posición sentada ( $-4^\circ$ ), colocando las cargas críticas a las que podría estar sometido dicho elemento.

La carga crítica se da cuando el usuario reclina todo el peso de su tronco, cerviz y cabeza sobre el respaldar. Considerando el peso del tronco, cerviz, cabeza, brazo superior, brazo inferior y manos, resulta  $F_R=30\text{kg}$  (37%) que soporta el peso de una persona de 100 kg, el peso del respaldar  $W_r=4,7\text{ kg}$ . En la Figura 3.32 se indica el D.C.L. del respaldar.

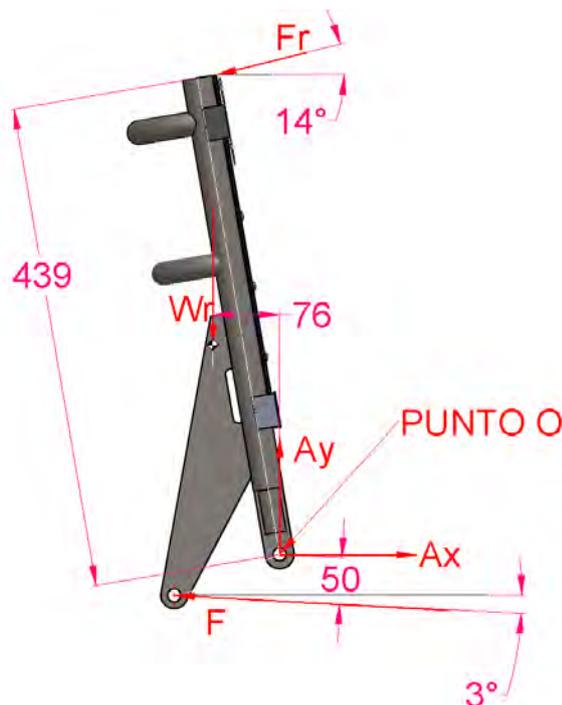


Figura 3.32 Diagrama de cuerpo libre del respaldar sometido a fuerza crítica

$$A_x = F_R * \cos(14^\circ) + F * \cos(3^\circ) \quad (3.26)$$

$$A_y = F_R * \sin(14^\circ) - F * \sin(3^\circ) + W_r \quad (3.27)$$

$$F * 50 = F_R * 439 + W_r * 76 \quad (3.28)$$

De la Ecuación 3.28, usando los valores de  $F_R = 30\text{kg}$  y  $W_r = 4,7\text{ kg}$  definidos, se obtiene  $F = 2697,8\text{N}$ . Luego, reemplazando los estos valores en las Ecuaciones 3.26 y 3.27 se obtiene  $A_x = 2985,2\text{N}$  y  $A_y = -64,4\text{N}$ .

Los resultados de estas ecuaciones permiten analizar los esfuerzos actuantes en los demás elementos que soportan al respaldar, como es el caso de la bielas y los pines de unión. En la Figura 3.33 se muestra el esfuerzo máximo actuante en el respaldar cuando se aplica la fuerza  $F_R = 30\text{kg}$  en la parte superior del elemento. Los resultados del esfuerzo máximo se determinan con la ayuda del programa solidwork Simulation, cuyos resultados son:

$\sigma_{eqM} \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$	$\sigma_F \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$	FS
84,4	250	FS $\geq$ 2,9

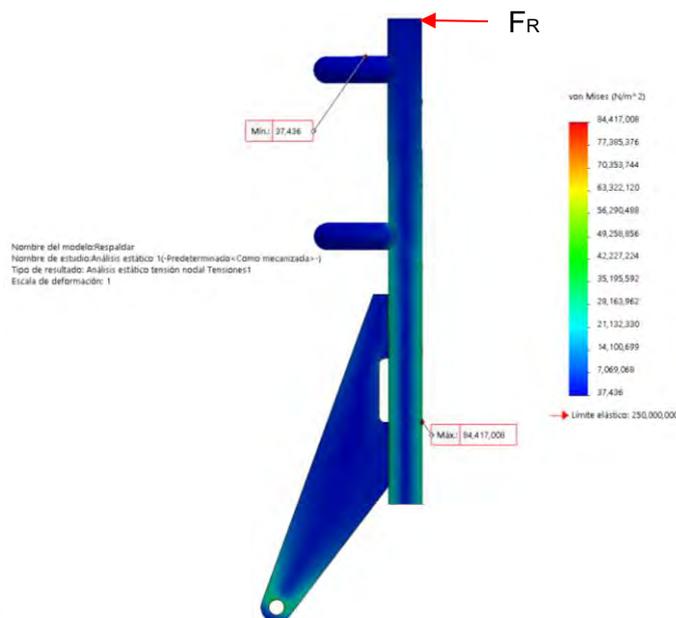


Figura 3.33 Análisis por elementos finitos de la estructura respaldar.

#### 3.4.4 Análisis del pin para la articulación del respaldar y asiento.

Este pin tiene  $\varnothing=12\text{mm}$  y de material St70<sup>49</sup>. Como se ve en la Figura 3.34, el pin esta sometido a la resultante  $A'$ . Esta resultante es la mitad de la resultante de las fuerzas  $A_x$  y  $A_y$ , ya que se considera que la carga se reparte por igual entre los dos pines para la articulación del respaldar y asiento.



Figura 3.34 Diagrama de cuerpo libre en el pin de la articulación entre asiento y respaldar.

<sup>49</sup> St70: Material para piezas sometidas a cargas considerables; piezas resistentes al desgaste, pasadores, etc.

En este caso la carga  $A'$  se determina usando la Ecuación 3.29.

$$A' = \frac{\sqrt{A_x^2 + A_y^2}}{2} = 1493N \quad (3.29)$$

En la verificación por flexión, por corte y por aplastamiento se usan las Ecuaciones 3.30 a 3.32. Esta verificación se considera el material St70

$$\sigma_{fMAX} = \frac{32 * M_{fMAX}}{\pi(d)^3} \leq \sigma_{fADM} \quad (3.30)$$

$$\tau_c = \frac{4 * A'}{\pi(d)^2} \leq \tau_{CADM} \quad (3.31)$$

$$p = \frac{A'}{b(d)} \leq p_{ADM} \quad (3.32)$$

Donde:  $b = 9 \text{ mm}$ ,  $d = 12 \text{ mm}$  y  $M_{fMAX} = A' * b = 13437 \text{ N mm}$ . Reemplazando se obtiene  $\sigma_{fMAX} = 79,2 \text{ N/mm}^2$ ,  $\tau_c = 13,2 \text{ N/mm}^2$  y  $p = 13,8 \text{ N/mm}^2$ . Estos valores son menores a los valores admisibles de  $670 \text{ N/mm}^2$  (esfuerzo normal admisible),  $360 \text{ N/mm}^2$  (esfuerzo de corte admisible) y  $360 \text{ N/mm}^2$  (presión superficial admisible) para el material St70. Por lo que el pin para la articulación del respaldar y asiento satisface las condiciones de resistencia mecánica.

### 3.4.5 Análisis del pin para la articulación del asiento y chasis

De manera similar, se realiza el análisis con la carga crítica (usuario de 100 kg) del pin para la articulación del asiento y el chasis. En este caso también se realiza el diagrama de cuerpo libre del asiento (Figura 3.35) cuando el usuario ejerce una carga de 30kg sobre el respaldar (Figura 3.32) y sobre la estructura del asiento la diferencia,  $W_p = 70 \text{ kg}$ .



Figura 3.35 Diagrama de cuerpo libre del asiento cuando se ejerce la carga crítica

Plantenando las condiciones de equilibrio estático se obtienen las Ecuaciones 3.33 a 3.35, donde C es el peso total del conjunto del mecanismo de levante.

$$A_x + P * \cos 16^\circ = B_x \quad (3.33)$$

$$B_y + A_y + P * \sin 16^\circ + B' = W_p + W_a + C \quad (3.34)$$

$$\begin{aligned} A_x * 28 + P * 122 + A_y * 399 + B' * 306 \\ = W_p * 222 + C * 384 + W_a * 219 \end{aligned} \quad (3.35)$$

En el apartado anterior se determinó que  $A_x = 2985,2N$  y  $A_y = 64,4N$ . Asimismo, se sabe que  $W_p = 70kg$ . La fuerza P se calculó en la Figura 3.19 cuyo valor es 490 N, y  $W_a = 3,2kg$  es el peso de diseño para la estructura del asiento que con el software SolidWorks nos arroja este dato (vea Anexo 7), por lo que reemplazando en las Ecuaciones 3.33 a 3.35 se obtiene  $B' = 41,0N$ ,  $B_x = 3456,2N$  y  $B_y = 46,6N$ .

La estructura del asiento está articulada con el chasis con dos pines como se indicó en la Figura 3.21, por tal motivo la resultante R de las fuerzas  $B_x$  y  $B_y$  se reparte simétricamente entre ambos pines, resultando  $R/2 = \sqrt{B_x^2 + B_y^2} / 2 = 1728,3N$ .

En la Figura 3.36 se muestra el D.C.L del pin de  $\varnothing = 12mm$ . En dicha figura se muestra la fuerza distribuida  $R/2$  y la reacción distribuida que ejerce el chasis sobre el pin. Material del pin St70.



Figura 3.36 Diagrama de cuerpo libre en el pin de la articulación entre asiento y chasis.

En la Figura 3.37 se muestra análisis de estudios de elementos finitos del pin, para determinar el esfuerzo máximo. Los resultados principales son los siguientes:

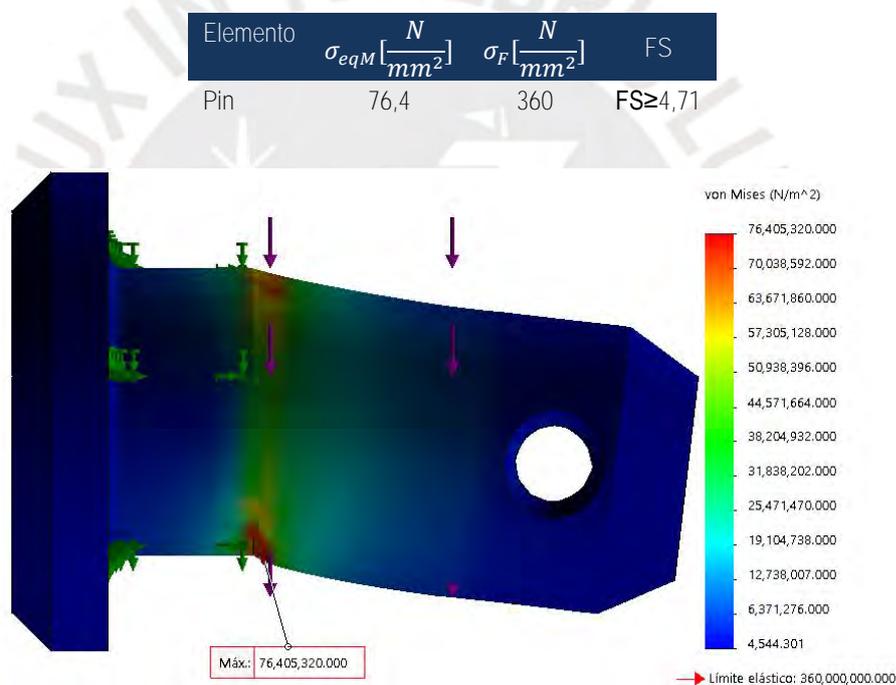


Figura 3.37 Análisis por elementos finitos en el pin de la articulación asiento-chasis

### 3.4.6 Análisis del pin de articulación de respaldar y biela.

Como se muestra en la Figura 3.21, se verifica el pin de la articulación para el respaldar y la biela. Este elemento es un pin de  $\varnothing=12\text{mm}$  de material St70. Como se ve en la Figura 3.38 el pin está sometido a una fuerza  $F'$ , cuyo valor se obtiene a partir de la Ecuación 3.28. En este caso resulta  $F'=F/2=1348,9\text{N}$ , la que se aplica directamente al pin.



Figura 3.38 Fuerzas distribuidas en el pin de la articulación entre respaldar y biela

Del resultado de la Ecuación 3.28,  $F'=F/2=1348,9N$ . Esta fuerza se aplica directamente al pin. Se realiza una verificación similar a la ejecutada con el pin para la articulación entre respaldar y asiento. Por lo tanto, usando las Ecuaciones 3.30 a 3.32, y reemplazando los valores de  $M_{fMAX} = F' * b = 12140,28 N mm$  y  $F' = 1348,9N$ , se obtiene  $\sigma_{fMAX} = 71,6N/mm^2$ ,  $\tau_c = 11,9N/mm^2$  y  $p = 12,5N/mm^2$ . Estos valores son menores a los valores admisibles de  $670 N/mm^2$  (esfuerzo normal admisible),  $360N/mm^2$  (esfuerzo de corte admisible) y  $360N/mm^2$  (presión superficial admisible) para el material St70. Por lo que el pin para la articulación del respaldar y asiento satisface las condiciones de resistencia mecánica.

### 3.4.7 Análisis de la biela para control y soporte del respaldar

La función principal de este elemento es la de mantener en equilibrio al respaldar. Es decir, soporta el peso parcial del usuario. Al momento de elevar el asiento sirve como control del respaldar para mantenerlo aproximadamente vertical en todo el recorrido de la elevación. En la Figura 3.39 se muestra el elemento y la fuerza involucrada.



Figura 3.39 Fuerzas actuantes en biela

Como este elemento trabajará a compresión se hace el análisis de pandeo a dicho elemento. El material seleccionado para este elemento es ASTM A36, en la Figura 3.40 se muestra los ejes analizados.

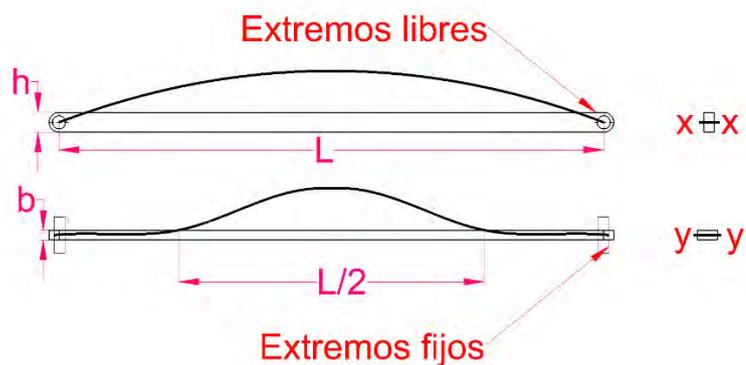


Figura 3.40 Longitud efectiva de biela para análisis de pandeo

En este caso se usa una barra de longitud  $L = 491\text{mm}$  y sección transversal rectangular de medidas  $b = 9\text{mm}$  y  $h = 18\text{mm}$ . Para saber cuál es los ejes es crítico calculamos el factor de esbeltez ( $\lambda$ ) respecto de los ejes  $xx$  e  $yy$ , donde la longitud efectiva  $L_e$  respecto  $yy$  es  $L/2$  porque se encuentra fijada por los pernos que pasan por sus extremos.

- Eje  $xx$ :

$$\lambda_x = \frac{L_e}{r_x} = \frac{L}{\sqrt{\frac{I_x}{A}}} = \frac{491}{\sqrt{\frac{1}{12} * 9 * 18^3}} = \frac{491}{\sqrt{\frac{1}{9 * 18}}} \quad (3.39)$$

De la Ecuación 3.39 :  $\lambda_x = 94.42$

- Eje  $yy$ :

$$\lambda_y = \frac{L_e}{r_y} = \frac{L/2}{\sqrt{\frac{I_y}{A}}} = \frac{491/2}{\sqrt{\frac{1}{12} * 18 * 9^3}} = \frac{491/2}{\sqrt{\frac{1}{9 * 18}}} \quad (3.40)$$

De la Ecuación 3.40:  $\lambda_y = 94.42$

Según los resultados ambos son ejes críticos y se encuentran en la zona de "Falla por pandeo según Euler" y el Módulo de Young es  $E=2,0 \times 10^5 \text{N/mm}^2$  (Ver Anexo 8).

El esfuerzo resultante es:

$$\sigma = \frac{F}{2 * A} \leq \sigma_{Lim} \quad (3.41)$$

$$\sigma_{Lim} = \frac{\pi^2 * E}{\lambda_y^2} \quad (3.42)$$

Reemplazando  $\lambda_y$  o  $\lambda_x$ ,  $F/2 = 1348.9 \text{ N}$ ,  $A = 9 * 18 = 162 \text{ mm}^2$  en la Ecuación 3.42 se obtiene  $\sigma = 8,33 \leq \sigma_{Lim} = 232,12$ , lo que significa que el factor de seguridad es aproximadamente 27,9. Por lo tanto, se verifica que el elemento no pande.

### 3.4.8 Análisis de Chasis

El análisis de esfuerzos en el chasis de la silla de rueda se realizará mediante el método de los elementos finitos usando el software Solidworks Simulation, ya que este componente es una pieza compleja.

En este caso las fuerzas que aplicadas al chasis han sido determinadas con las Ecuaciones 3.33 a 3.35.  $R/2 = 1809.7\text{N}$  y  $B'=191.2\text{N}$ . En la Figura 3.41 y 3.42 se muestra diagrama de cuerpo libre del chasis y los esfuerzos en la estructura según el software Solidworks Simulation, respectivamente.

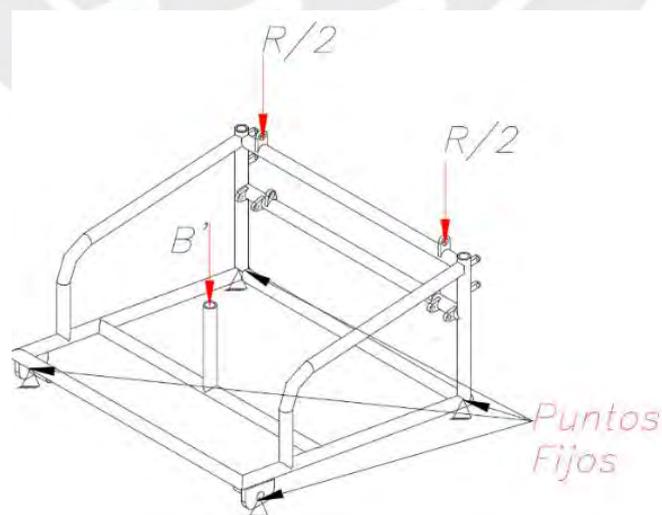


Figura 3.41 D.C.L. de Chasis

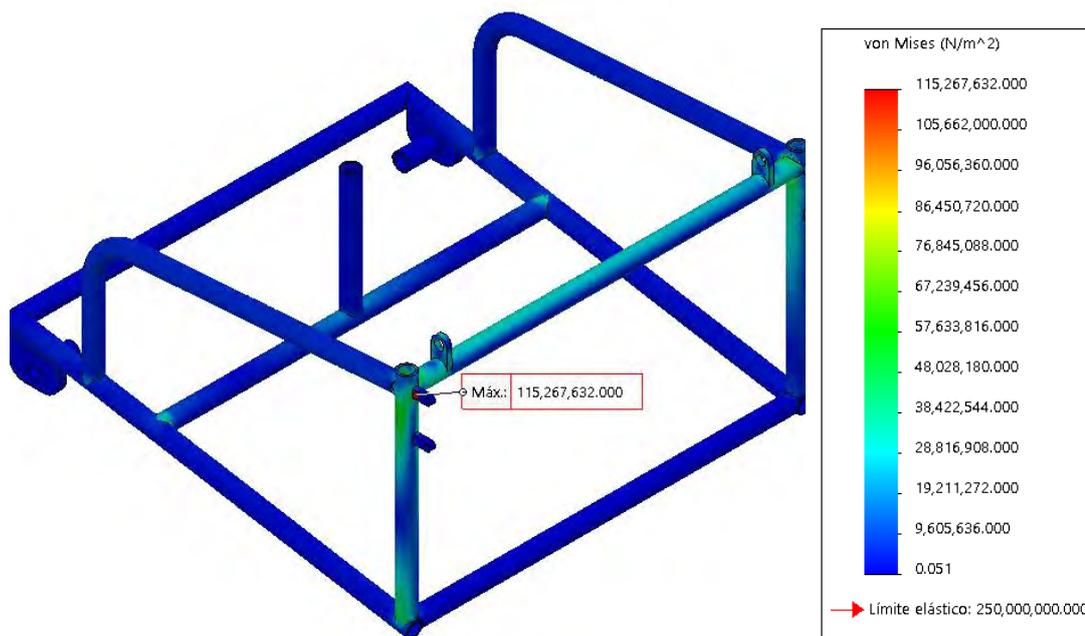


Figura 3.42 Análisis estático en chasis

En este caso se obtienen los siguientes resultados:

Elemento	$\sigma_{eqM} \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$	$\sigma_F \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$	FS
Chasis	115,3	250	FS $\geq 2,17$

### 3.4.9 Análisis del eje para unión de rueda y chasis

La unión en la rueda y el chasis es como se muestra la Figura 3.43. En esta figura se muestra al tornillo de 5/8"x125mm cuyo material es St37-2, que trabaja como eje. El tubo separador, los rodamientos (baleros) y el tubo exterior de acero delgado están incorporados en la rueda al momento de adquirir esta pieza. El tubo de pared gruesa y el marco son fabricados de acuerdo a la necesidad. Cabe acotar que este eje es fijo.

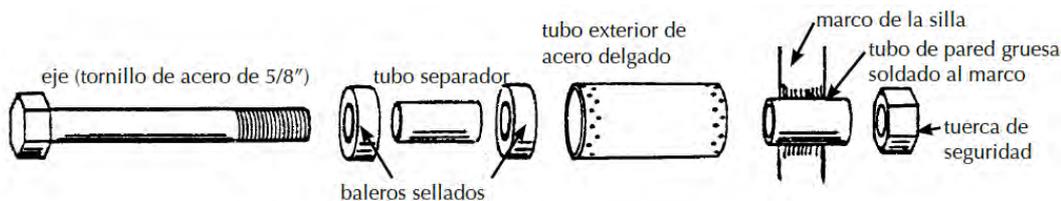


Figura 3.43 Montaje y Despiece de Eje de Ruedas

Analizamos si el eje seleccionado de 5/8" será capaz de resistir el peso máximo del usuario y el peso de la silla de ruedas. Por eso, en la Figura 3.44 se observa el DCL del usuario 100 kg cuando se encuentra en posición sentada. Aplicando las condiciones de equilibrio estático se obtienen las Ecuaciones 3.43 y 3.44.

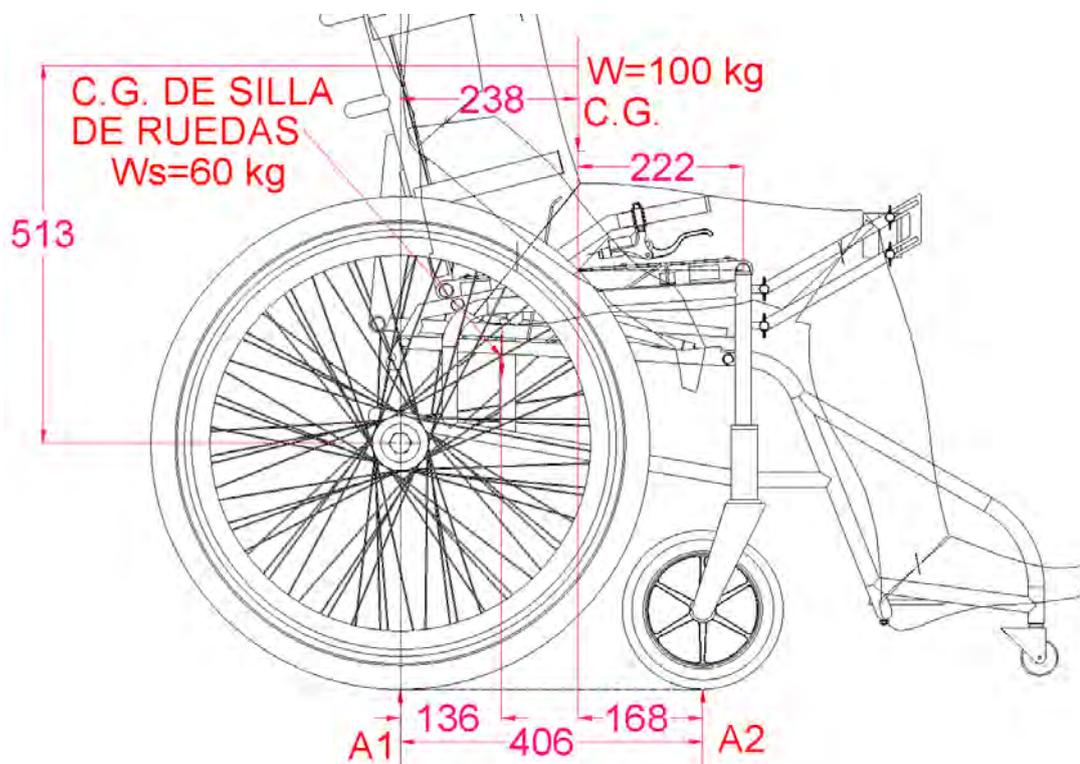


Figura 3.44 D.C.L. de usuario en posición sentada:  $W_s$  (peso de silla) y  $W$  (peso de usuario)

$$W_s + W = A_1 + A_2 \quad (3.43)$$

$$A_2 * 406 = W_s * 136 + W * 238 \quad (3.44)$$

Resolviendo las Ecuaciones 3.43 y 3.44 se obtiene  $A_1 = 81.28N$  y  $A_2 = 78.72N$ . La fuerza  $A_1$  es la reacción total en ambas ruedas, por lo que para una sola rueda corresponde la mitad. Es decir, el valor de 40.64N corresponde a la fuerza que se ejerce sobre el eje (tornillo).

Analizando las fuerzas en el eje que tiene un parte apoyado fijo y una zona de soporte de rueda que actúa como voladizo que genera esfuerzos de flexión constante, entonces este componente tiende a fatigarse. En la Figura 3.45 se muestra el DCL donde el momento flector máximo es  $M_f = A \times 29 = 1178.56 \text{ Nmm}$ .

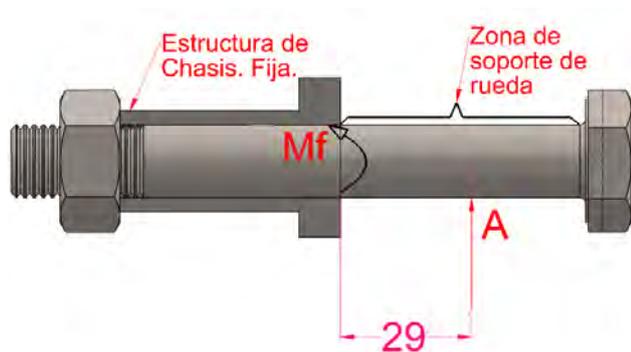


Figura 3.45 D.C.L. en eje de la rueda

En la Ecuación 3.45 se calcula el esfuerzo normal debido a la flexión. Donde el diámetro de tornillo (D) es de 16mm.

$$\sigma_f = \frac{32 * M_f}{\pi * d^3} = \frac{32 * 1178.56}{\pi * 16^3} = 2.93 \text{ N/mm}^2 \quad (3.45)$$

$$\sigma_f \leq \sigma_{fadm} = \frac{\sigma_{fPUL}}{F.S.} \quad (3.46)$$

Considerando el F.S. = 4 y el  $\sigma_{fPUL} = 340 \text{ N/mm}^2$ , resulta  $\sigma_f = 2.93 \leq 85 \text{ N/mm}^2$ . Por lo tanto, el eje (tornillo) no falla.

### 3.5 Análisis de Estabilidad

La estabilidad se vuelve crítica cuando el usuario se encuentra en posición bípeda en la silla de rueda, con los brazos extendidos y sosteniendo en sus manos un objeto cuyo peso pueda ser determinante para la volcadura del mismo. Por ello en la Figura 3.46 se realiza el diagrama de cuerpo libre de la silla con un usuario de 100 kg en posición bípeda con los brazos extendido sosteniendo en las manos una masa M(kg).

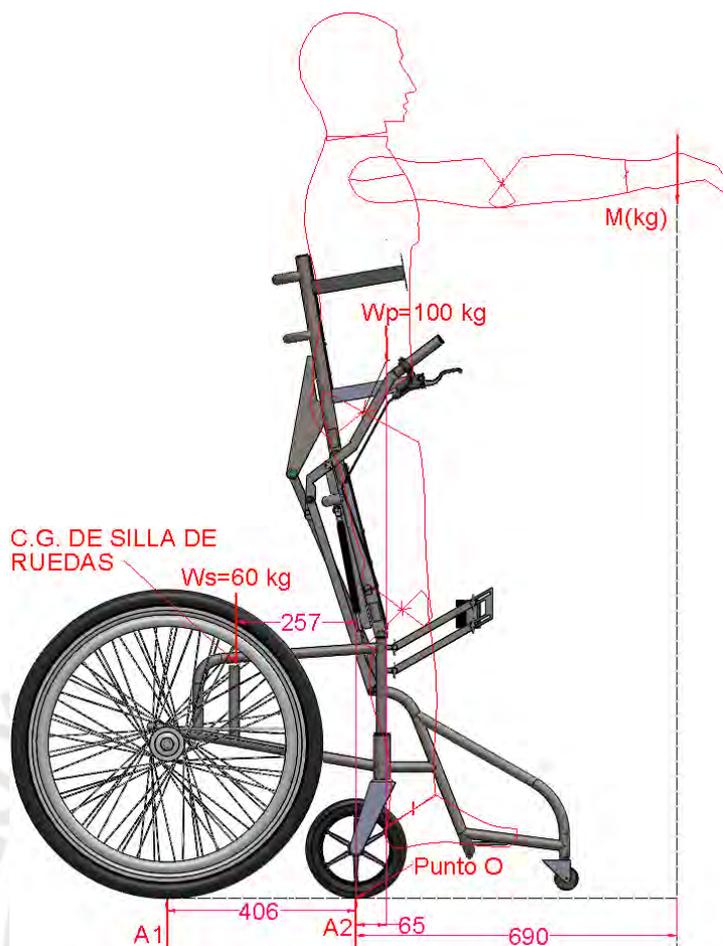


Figura 3.46 D.C.L. de usuario en posición bípeda y brazos estirados con masa M

Aplicando las condiciones de equilibrio se obtienen las Ecuaciones 3.47 y 3.48.

$$W_s + W_p + M = A_1 + A_2 \quad (3.47)$$

$$W_s * 257 = W_p * 65 + M * 690 + A_1 * 406 \quad (3.48)$$

La primera condición de volcadura es cuando el usuario está en posición bípeda, brazos estirados,  $M=0 \text{ kg}$  y la reacción  $A_1=0$ . Entonces el momento que ejerce el peso de la silla ( $M_s$ ) es menor al momento que ejerce el peso de la persona ( $M_p$ ) respecto del punto "O". Si la condición  $M_s < M_p$  se cumple, la volcadura es inminente. Entonces, de la Ecuación 3.48 se obtiene la Ecuación 3.49.

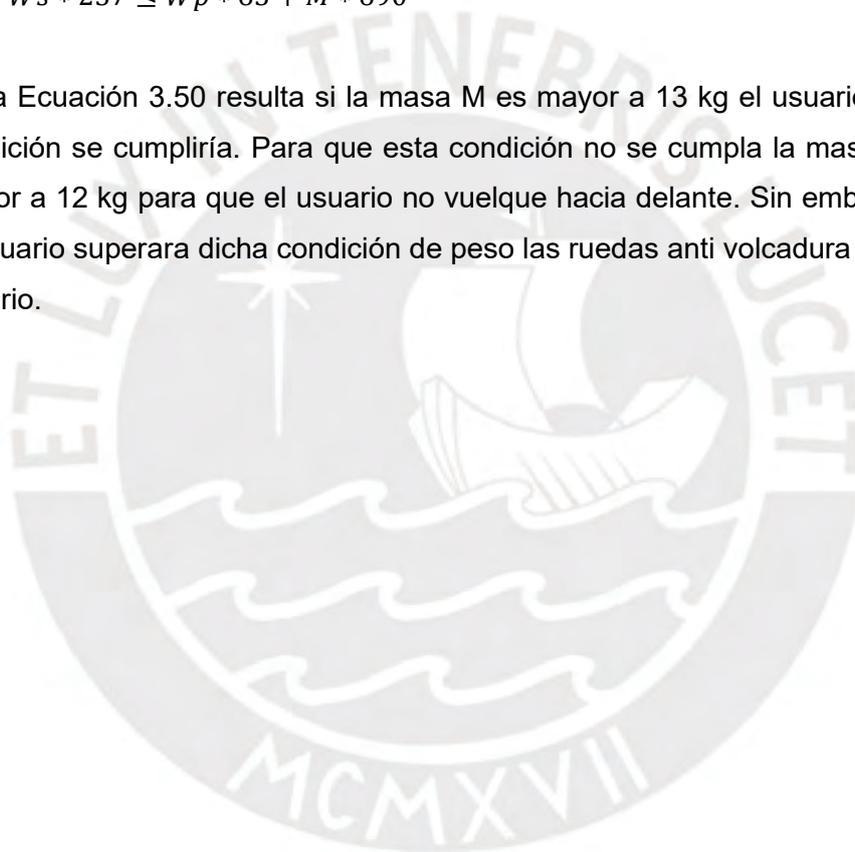
$$W_s * 257 \leq W_p * 65 \quad (3.49)$$

Con los valores de las cargas señaladas en la Figura 3.46, la condición de la Ecuación 3.49 no se cumple, por tanto, la silla de ruedas no vuelca.

La segunda condición de volcadura es cuando el usuario está en posición bípeda, brazos estirados, una masa  $M$ (kg) a determinar y la reacción  $A_1=0$ . Entonces el momento que ejerce el peso de la silla ( $M_s$ ) es menor al momento flector que ejerce el peso de la persona ( $M_p$ ) y la masa  $M$  ( $M_m$ ) respecto del punto "O". Si esta condición  $M_s < M_p + M_m$  se cumple la volcadura es inminente. Entonces, de la Ecuación 3.48 se obtiene la Ecuación 3.50.

$$W_s * 257 \leq W_p * 65 + M * 690 \quad (3.50)$$

De la Ecuación 3.50 resulta si la masa  $M$  es mayor a 13 kg el usuario volcaría y la condición se cumpliría. Para que esta condición no se cumpla la masa  $M$  debe ser menor a 12 kg para que el usuario no vuelque hacia delante. Sin embargo, en caso el usuario superara dicha condición de peso las ruedas anti volcadura soportarían al usuario.



## CAPÍTULO IV

### PLANOS Y ESTIMACIÓN DE COSTOS

En este capítulo se muestra el diseño final obtenido, los planos de ensamble y despiece, y una estimación de los costos involucrados en el diseño y la fabricación de la silla de ruedas con mecanismo de posicionamiento bípedo.

#### 4.1 Diseño Final de la Silla de Ruedas

En las Figuras 4.1 y 4.2 se muestra la vista isométrica, frontal y perfil del diseño final de la silla de ruedas.



Figura 4.1 Vista isométrica del diseño final de la silla de ruedas

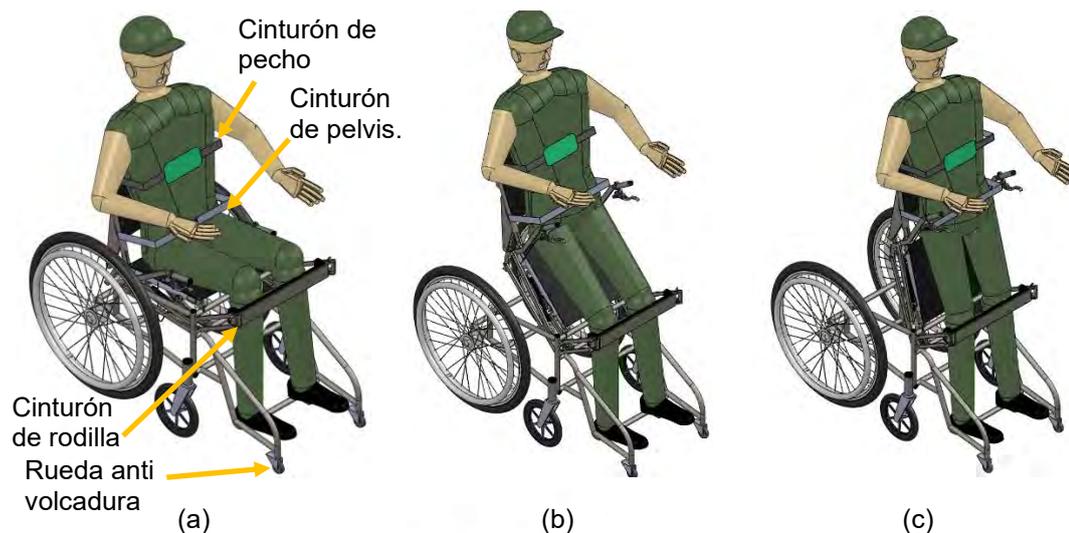


Figura 4.2 Diseño final de silla de ruedas. (a) Usuario sentado, (b) Usuario en transición a bípeda, (c) Usuario en posición bípeda.

#### 4.2 Planos

Los planos de ensamblaje se encuentran en la Tabla 4.1, mientras que la lista de planos de despiece se muestran la Tabla 4.2. Ambas listas de planos se muestran en el Anexo 9, donde el termino EM hace referencia a ensamblaje y el término DESP a despiece, además, la codificación A1, A2, A3 se refiere al tamaño de la hoja del plano según la norma ISO.

Tabla 4.1 Lista de planos de ensamblaje

SUB-EMSAMBLAJE	CÓDIGO DE PLANO
Posición sentada	EM-2A0-001
Posición bípeda	EM-2A0-002

Tabla 4.2 Lista de planos de despiece

DESPICE	CÓDIGO DE PLANO
Estructura U de asiento	DESP-A2-001
Estructura respaldar	DESP-A2-002
Chasis	DESP-A0-003
Palanca de mecanismo	DESP-A3-004
Estructura de seguro de rodilla-1	DESP-A3-005
Estructura de seguro de rodilla-2	DESP-A3-006
Barras	DESP-A3-007
Barra tope de mecanismo	DESP-A3-008
Accesorios	DESP-A2-009

### 4.3 Estimación de Costos

En este acápite se muestra los costos de los materiales para fabricación, componentes estándares, rodajes, accesorios comerciales, fabricación, diseño e imprevistos.

#### 4.3.1 Costo de Materiales

El costo de los materiales utilizados para la fabricación de chasis, estructura del respaldar, estructura del asiento, mecanismo de levante y reposa pies se presentan en la Tabla 4.3, mientras que el costo de elementos estandarizados (pernos, arandelas, tuercas, pines, rodamientos, entre otros) se muestran en la Tabla 4.4 y el de accesorios comerciales en la Tabla 4.5. Por último, se necesita pintura anticorrosivas y pintura de acabado final, los que se muestran en la Tabla 4.6.

Tabla 4.3 Lista y costo de materiales para fabricación de componentes no comerciales

Ítem	Descripción	Material	Unidad	Cant.	Costo Unitario S/. (Inc. IGV)	Costo Total S/. (Inc. IGV)
<b>Chasis de Silla De Rueda. Plano: DESP-A0-003</b>						
Tubos	Tubo LAC, <b>Schedule 40,1/2"</b>	ASTM A500	Tubo x 6m	6,6	12.00	79,20
Plancha	Plancha Gruesa LAC t=9mm	ASTM-A36	Plancha 1,2x2,4m	0,006	500.00	3.00
	Plancha Gruesa t=6mm	ASTM-A36	Plancha 1,2x2,4m	0.009	338.00	3.00
<b>Estructura de Asiento. Plano: DESP-A2-001</b>						
Tubo	Tubo LAC, <b>Schedule 40,3/4"</b>	ASTM A500	Tubo x 6m	0,54	18.00	9.72
	Tubo LAC, <b>Schedule 40,1/2"</b>	ASTM A500	Tubo x 6m	0,3	12.00	3.60
Barra	Barra Redonda Lisa Ø=3/4"	ASTM A36	Barra x 6m	0,4	8.00	3.20
Plancha	Plancha Gruesa LAC t=9mm	ASTM-A36	Plancha 1,2x2,4m	0,01	500.00	5.0
<b>Estructura de Respaldar. Plano: DESP-A2-002</b>						
Tubo	Tubo LAC, <b>Schedule 40,3/4"</b>	ASTM A500	Tubo x 6m	0,76	18.00	13.68
	Tubo LAC, <b>Schedule 40,1/2"</b>	ASTM A500	Tubo x 6m	0,75	12.00	9.00
Plancha	Plancha LAC Gruesa t=9mm	ASTM-A36	Plancha 1,2x2,4m	0,05	500.00	25.00
Barra	<b>Barra Redonda Lisa Ø=7/8"</b>	ASTM-A36	Barra x 6m	0,16	11.00	1.76
<b>Palanca de Mecanismo. Plano: DESP-A3-004</b>						
Plancha	Plancha Gruesa LAC t=9mm	ASTM-A36	Plancha 1,2x2,4m	0,1	500.00	50.00
Tubo	Tubo LAC, <b>Schedule 40,1/2"</b>	ASTM A500	Tubo x 6m	0,24	12.00	8.40
Barra	<b>Barra Redonda Lisa Ø=3/8"</b>	ASTM-A36	Barrax6m	0,02	6.00	0.20
<b>Barras. Plano: DESP-A3-007</b>						
Plancha	Plancha Gruesa LAC t=9mm	ASTM-A36	Plancha 1,2x2,4m	0,005	500.00	2.50
<b>Barra tope de mecanismo. Plano: DESP-A3-008</b>						
Plancha	Plancha Gruesa LAC t=9mm	ASTM-A36	Plancha 1,2x2,4m	0,009	500.00	4.50
<b>Estructura de seguro de rodilla 1. Plano: DESP-A3-005</b>						
Plancha	Plancha Gruesa LAC t=9mm	ASTM-A36	Plancha 1,2x2,4m	0,082	500.00	41.00
<b>Estructura de seguro de rodilla 2. Plano: DESP-A3-006</b>						
Plancha	Plancha Gruesa t=6mm	ASTM-A36	Plancha 1,2x2,4m	0,032	338.00	10.82
<b>Accesorios. Plano: DESP-A2-009</b>						
Plancha	Plancha Gruesa t=6mm	ASTM-A36	Plancha 1,2x2,4m	0,018	30.00	0.54
Tubo	<b>Tubo LAC, Schedule 40,1"</b>	ASTM A500	Tubo x 6m	0,2	10.00	2.00
	<b>Tubo LAC, Schedule 40,3/8"</b>	ASTM A500	Tubo x 6m	0.02	6.00	0.12
					<b>COSTO TOTAL</b>	<b>217.68</b>

Tabla 4.4 Lista y costo de elementos Estándar

Ítem	Descripción	Cant.	Costo Unitario S/. (Inc. IGTV)	Costo Total S/. (Inc. IGTV)
<b>Unión Respalda y Asiento</b>				
Pin	Pasador de Horquilla con cabeza DIN EN 22341 Ø=12 x 30 x 3,2mm	2	3.50	7.0
Seguro	<b>Pasador de Horquilla ANSI18.8.1 Ø=1/8" x 1/2"</b>	2	0.10	0.20
<b>Unión Respalda y Biela</b>				
Pin	Pasador de Horquilla con cabeza DIN EN 22341 Ø=12 x 30 x 3,2mm	2	3.50	7.00
Seguro	<b>Pasador de Horquilla ANSI18.8.1 Ø=1/8" x 1/2"</b>	2	0.10	0.20
<b>Unión Palanca de Control y Barra</b>				
Pasador	Pasador de Horquilla con cabeza y espárrago DIN1445 Ø=8 x 28	2	4.00	8.00
Tuerca	Tuerca Hexagonal ISO 4033 M6	2	1.00	2.00
Arandela	Arandela Plana ANSI B18.22M Ø=6	2	0.50	1.00
Seguro	<b>Pasador de Horquilla ANSI18.8.1 Ø=1/8" x 3/8"</b>	2	0.10	0.20
<b>Unión Barra y Chasis</b>				
Pasador	Pasador de Horquilla con cabeza y espárrago DIN1445 Ø=8 x 25	2	4.00	8.00
Tuerca	Tuerca Hexagonal ISO 4033 M6	2	1.00	2.00
Arandela	Arandela Plana ANSI B18.22M Ø=6	2	0.50	1.00
Seguro	<b>Pasador de Horquilla ANSI18.8.1 Ø=1/8" x 3/8"</b>	2	0.10	0.20
<b>Unión Asiento y Chasis</b>				
Pin	Pasador de Horquilla con cabeza DIN EN 22341 Ø=12 x 30 x 3,2mm	2	5.00	10.00
Seguro	<b>Pasador de Horquilla ANSI18.8.1 Ø=1/8" x 1/2"</b>	2	0.10	0.20
<b>Unión Biela y Chasis</b>				
Pasador	Pasador de Horquilla con cabeza y espárrago DIN1445 Ø=12 x 28	2	5.0	10.00
Tuerca	Tuerca Hexagonal ISO 4033 M10	2	0.50	1.00
Arandela	Arandela Plana ANSI B18.22M Ø=10	2	0.50	1.00
<b>Unión Asiento – Palanca y Seguro</b>				
Pasador	Pasador de Horquilla con cabeza y espárrago DIN1445 Ø=10 x 50	2	4.50	9.00
Tuerca	Tuerca Hexagonal ISO 4033 M8	2	1.00	2.00
<b>Unión Resorte de gas con chasis y asiento</b>				
Pasador	Pasador de Horquilla sin cabeza DIN1445 Ø=6 x 20 x 1,6	4	2.50	10.00
Seguro	<b>Pasador de Horquilla ANSI18.8.1 Ø=1/8" x 3/8"</b>	8	0.10	0.80
<b>Unión Seguro de rodilla y chasis</b>				
Tornillo	Tornillo de ala DIN 316 M6 X 18	8	1.50	12.00
Tuerca	Tuerca Hexagonal ISO 4033 M6	8	1.00	8.00
Arandela	Arandela Plana DIN 125 Ø=6.4	8	0.50	4.00
<b>Unión Posapiés y Chasis</b>				
Tornillo	Tornillo estrella avellanado plano ISO 7046-1 M6 X 35	4	1.00	4.00
Tuerca	Tuerca Hexagonal ISO 4033 M6	4	0.50	2.00
Tuerca	Tuerca soldable DIN 928 M10	2	0.50	1.00
Arandela	Arandela Plana DIN 125 Ø=6.4	4	0.20	0.80
<b>Elementos rodantes</b>				
Rodamientos	Radial de Bolas SKF 6200-8 para Ruedas Delanteras	4	25.00	100.00
			<b>COSTO TOTAL</b>	<b>212.60</b>

Tabla 4.5 Lista y costo de accesorios comerciales

Ítem	Descripción	Cant.	Costo Unitario S/. (Inc. IGV)	Costo Total S/. (Inc. IGV)
Cojín de Respaldo	Cojín de Espuma Prensada	1	50.00	50.00
Cojín de Asiento	Cojín de Microfibra Siliconada	1	70.00	70.00
Cinturón de Seguridad de 2 puntos para pelvis		1	70.00	70.00
Cinturón de seguridad de 2 puntos para pecho		1	50.00	50.00
<b>Rueda Trasera de 24"</b>		2	100.00	200.00
Aros de Propulsión	Aro de Propulsión Cromado para aro de 24"	2	100.00	200.00
<b>Rueda delantera 6"</b>		2	50.00	100.00
Regatones de caucho	Tapón Redondo 1"	2	2.00	4.00
	Tapón Redondo 1/2"	4	2.00	8.00
	Tapón Redondo 3/4"	2	2.00	4.00
Cubierta del Manubrio	De espuma para tubo de Ø=1/2"	2	5.00	10.00
Protector de Borde	Mata filo de 6 mm x 40 cm	2	5.00	10.00
Funda para cable	Funda de cable de freno de bicicleta	1	6.00	6.00
Ruedas Antivuelco delantero		2	5.00	10.00
Freno	Freno de Mano	2	25.00	50.00
Conexiones	Conexión Horquilla DIN71752 G 4 x 8	4	40.00	160.00
Actuador	Diámetro de Vástago Ø=8mm Diámetro de Cilindro Ø=19mm Tipo de Amortiguación: 0 Carrera min: 130mm Longitud de Extendido: 500mm Fuerza: 700N	2	300.00	600.00
			<b>COSTO TOTAL</b>	<b>1602.00</b>

Tabla 4.6 Costo de pintura<sup>50</sup>

Ítem	Descripción	Cant.	Costo Unitario (Inc. IGV)	Costo Total (Inc. IGV)
Pintura	Anticorrosivo	1gl	39.00	39.00
	Esmalte	1gl	49.90	49.90
			<b>COSTO TOTAL</b>	<b>88.90</b>

### 4.3.2 Costo de Fabricación

En este acápite se analizan cuáles serían los procesos de fabricación por los que tiene que pasar las materias primas para convertirse en nuestro producto final. En la Tabla 4.7 se indica los principales procesos de fabricación, torneado, taladrado, soldadura, calderería, limado y corte laser. Así mismo, en la Tabla 4.8 y 4.9 se indica los resúmenes del costo total de horas hombre y el costo de total de fabricación y materiales respectivamente.

<sup>50</sup> En el pintado de elementos estructurales se siguieron las recomendaciones de la norma UNE-EN ISO-12944.

Tabla 4.7 Cantidad de Horas Hombre para la fabricación de Piezas

Elementos	Pieza	Unidad-Horas Hombre (HH)						
		Cant.	Corte Laser	Torneado	Taladrado	Calderería(doblez)	Soldadura	Limado
Asiento	Estructura Tubular	1			0,09	0,01	0,09	0,07
	Embone Delantero	2		0,84	0,5			
	Placa para embone Delantero	2	0,66		0,4		0,5	
	Embone Posterior	2		0,84	0,5			
	Placa para embone Posterior	2	1		0,4		0,5	
Respaldar	Estructura Tubular	1			0,083	0,04	0,08	0,05
	Placa para Estructura Tubular	2	0,4		0,1		0,2	
	Embone	2		0,84	0,5			
	Placa para Embone	2	1		0,4		0,4	
Chasis	Estructura Tubular	1			0,6	0,04	0,5	0,66
	Placas	14	0,27		0,1		0,13	
	Bocina para Rueda Delantera	2		0,5			0,1	
Mecanismo de Levante	Palanca de Mecanismo	2	0,07		0,07		0,1	
	Barra de Mecanismo	2	0,83		0,4			
	Biela de respaldar	2	0,5		0,4			
	Biela para Seguro	2	0,83		0,4			
Accesorios	Posapiés	2	0,07		0,4			
	Seguro de Rodilla	1	0,5			0,1		
TOTAL HORAS HOMBRE			6.13	3,02	5,343	0,19	2,6	0,78

Tabla 4.8 Costo de operación soles/hora

Descripción	Soles/hora <sup>51</sup>	HH utilizadas	Costo
Corte laser	35.00	6,13	214.55
Torneado	20.00	3,02	60.40
Taladrado	15.00	5,343	80.15
Calderería	10.00	0,19	1.90
Soldadura	15.00	2,6	39.00
Limado y Acabado	20.00	0,78	15.60
Pintura	15.00	4	60.00
COSTO TOTAL DE PROCESOS			471.60

Tabla 4.9 Resumen de los costos materiales y fabricación

Descripción	Costo(S/.)
Costo de Materiales	212.60
Costo Accesorios	1602.00
Pintura	88.90
Costo de procesos	471.60
TOTAL	2375.10

La Tabla 4.9 resumen los costos aproximados vigentes de acuerdo a los precios de los metales y mano de obra en el mercado local.

<sup>51</sup> Costo de operación.

### 4.3.3 Costo de diseño e Imprevistos

El tiempo total invertido en el proyecto para el diseño y cálculo de los componentes es de 416 horas. Considerando el sueldo promedio de un Ingeniero recién egresado de S/ 3,000.00 y 208 horas de trabajo, resulta S/ 14.42 soles por hora. Por lo tanto, el costo de diseño resulta S/ 6,000.00 soles.

En la Tabla 4.10 se muestra el resumen de los costos, el cual se mantiene independiente el costo de diseño ya que en una futura producción de la silla se consideraría un porcentaje. En este caso el costo de manufactura de la silla de ruedas con posicionamiento bípedo se estima en S/, 2,600 aproximadamente.

Tabla 4.10 Resumen de los costos totales

Ítem	Costo(S/.)
Costo de Materiales y Fabricación	2,375.10
Imprevistos 10%	237.51
Costo total (Sin diseño)	2,612.61
Costo de diseño	6,000.00

Finalmente, el costo comercial para el usuario, el cual se muestra en la Tabla 4.11, se estima en aproximadamente S/. 3,300. Este valor de venta considera un porcentaje del costo de diseño en el producto final (2%) y una utilidad del 20%.

Tabla 4.11 Estimado de valor de venta final al usuario

Ítem	Costo(S/.)
Costo de Materiales y Fabricación	2,612.61
Costo de Diseño (2%)	120.00
Utilidad (20%)	546.52
TOTAL	3,279.13

## OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

- De los resultados del análisis dinámico se observó que la fuerza aplicada en la palanca del mecanismo puede ser aplicado por cualquier usuario con movilidad en los brazos, sin embargo, debido a las restricciones y simplificaciones, resultaría útil realizar la validación experimental antes de su producción en serie.
- Es importante señalar que como el accionamiento de poner en posición bípeda al usuario es puramente mecánico, y los resultados de las fuerzas obtenidas son con valores de peso de usuario comprendidas entre 60 a 100 kg, es de vital importancia respetar estos rangos de peso para evitar accidentes.
- Si bien el diseño de las estructuras y la selección del material ASTM A36 es capaz de resistir las exigencias de los esfuerzos que se presenten, hay otras opciones de materiales más ligeros y con mejores características mecánicas que se podría seleccionar, pero esto encarecería el producto, el cual no permitiría cumplir con el objetivo. Sin embargo, se podría considerar esta tesis como base para alguna mejora en el diseño y material.
- El material ASTM A36 se seleccionó por ser muy comercial en nuestro mercado local. Además, cualquier reparación del producto se podría realizar en cualquier taller del país.
- El diseño de la silla de ruedas fue pensado para ser accionado mecánicamente a través de un resorte de gas, pero esto no es una limitante ya que el diseño presentado nos permite tomarlo como base para integrarlo un accionamiento con un sistema eléctrico.

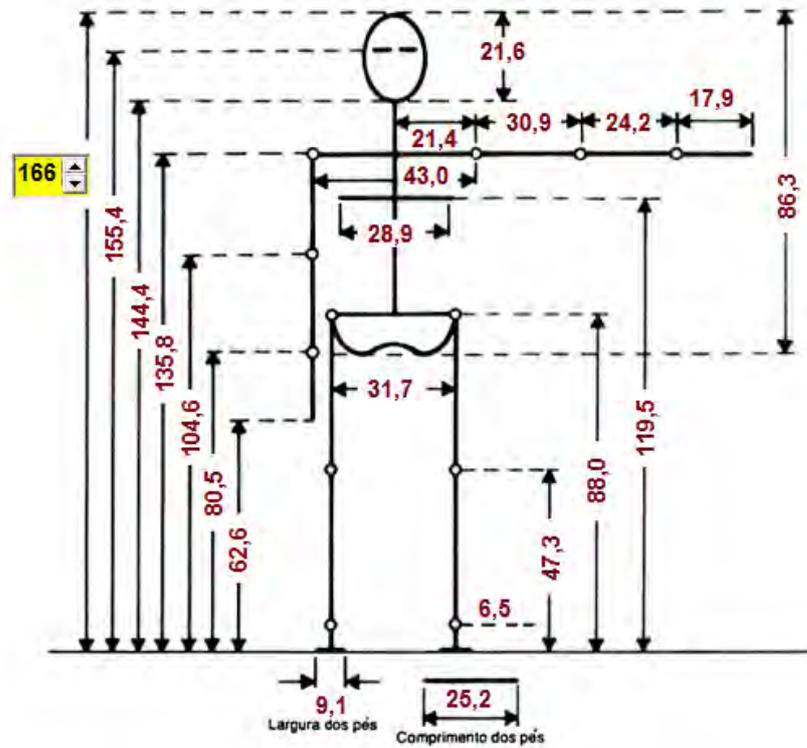
## CONCLUSIONES

- Se ha cumplido, usando la metodología VDI 2221, con el objetivo general del proyecto de tesis, lo cual es diseñar una silla de ruedas para transporte manual de parapléjicos que contemple un sistema que permita posicionar verticalmente al usuario desde la posición sentada.
- La masa máxima de diseño de 100 kg se ha considerado del rango de personas del usuario objetivo entre 20 y 64 años. Con esta masa de diseño la estructura de la silla de ruedas es capaz de soportar las exigencias de carga.
- La seguridad de la silla de ruedas se cumple a cabalidad gracias al cinturón de seguridad a la altura la pelvis, otro a la altura del pecho y finalmente otro a la altura de la rodilla.
- La silla de rueda tiene una masa total aproximada de 60 kg, por lo tanto, no se considera liviana. Este resultado es de usar materiales más cómodos pero que necesitan de mayores dimensiones para soportar determinadas fuerzas.
- La silla de ruedas es estable aun cuando el mecanismo de reposapiés no llegará a tocar el nivel de suelo.
- El costo inicial del proyecto para la ingeniería y fabricación de un prototipo es de S/. 8,612.61, sin embargo, el costo final al público es de aprox. 3300 soles.

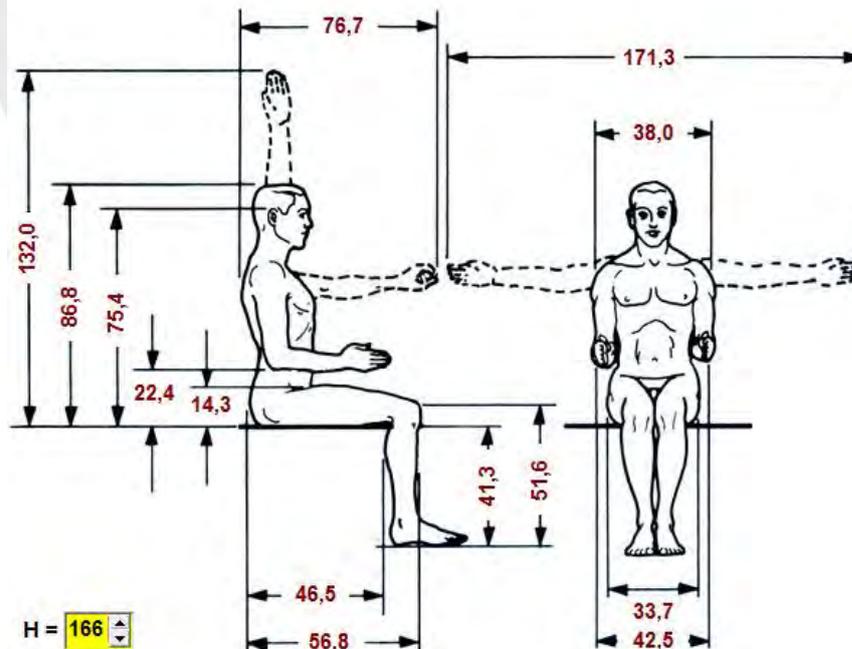
## BIBLIOGRAFÍA

- [SUNRISE MEDICAL, 2013]. SUNRISE MEDICAL Co. Consideraciones Biomecánicas en las sillas de ruedas manuales. 2013-04-11. URL: <http://www.imagina.org/archivos/biomecanica.htm>. Accessed: 2013-04-11. (Archived by WebCite® at <http://www.webcitation.org/66q2QH2vz>)
- [UNE EN ISO,2007]. UNE EN ISO 9999:2007. Productos de apoyo para personas con discapacidad. Clasificación y terminología. Madrid: AENOR, 2007. 124 p.
- [CEAPAT, 2010]. Centro de Referencia Estatal de Autonomía Personal y Ayudas Técnicas. La vida sobre ruedas. Sillas: puntos importantes [en línea]. Publicada: 25 mayo 2010. [Fecha de consulta: 09 abril 2013]. Disponible en: [http://www.ceapat.es/ceapat\\_01/centro\\_documental/productos\\_apoyo/IM\\_034379](http://www.ceapat.es/ceapat_01/centro_documental/productos_apoyo/IM_034379)
- [CEAPAT, 2010]. Centro de Referencia Estatal de Autonomía Personal y Ayudas Técnicas. Como elegir tu silla de ruedas manual [en línea]. Publicada: 24 mayo 2010. [Fecha de consulta: 09 Abril 2013]. Disponible en: [http://www.ceapat.es/ceapat\\_01/centro\\_documental/productos\\_apoyo/IM\\_034362](http://www.ceapat.es/ceapat_01/centro_documental/productos_apoyo/IM_034362)
- [Vega, 2006]. VEGA Pindado, Pilar. Principales problemas y necesidades en la accesibilidad de las personas con discapacidad en los autobuses. En su: La accesibilidad del transporte en autobús: Diagnóstico y soluciones. Madrid: Instituto de Mayores y Servicios Sociales (IMSERSO), 2006. pp. 73-98.
- [ALIDES, 2005]. Alianzas para el desarrollo Económico y social (ALIDES), Centro Estatal de Autonomía Personal y Ayudas Técnicas (CEPAT-IMSERSO), Instituto de Biomecánica de Valencia (IBV). ¡Pregúntame sobre accesibilidad y Ayudas Técnicas! Valencia: Instituto de Mayores y Servicios Sociales (IMSERSO), 2005. 408 p.
- [Huerta, 2006]. Huerta Peralta, Jaime. Discapacidad y accesibilidad. La dimensión desconocida / Jaime Huerta Peralta; edición y coordinación: Liliana Peñaherrera; presentación Javier Diez Canseco Cisneros. Lima: Fondo Editorial del Congreso del Perú, 2006. 189 p. – (Estudios sobre discapacidad en el Perú; t. 5)
- [WHO, 2008]. World Health Organization, International Society for Prosthetics and Orthotics & United States. Agency for International Development. Pautas para el suministro de sillas de ruedas manuales en entornos de menos recursos. Organización Mundial de la Salud, 2008. 139 p.
- [Velázquez, 2010]. VELÁZQUEZ Guerrero, Ramiro. Dinámica y Control de Sillas de Ruedas Robóticas, Capítulo 11. En su: Avances en Ingeniería Electrónica 2010. México DF: Universidad Panamericana, 2010. pp. 151-164.
- [MIT, 2013]. MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY. Wheelchair Design in Developing Countries. 2013-05-15. URL: [http://ocw.mit.edu/courses/special-programs/sp-784-wheelchair-design-in-developing-countries-spring-2009/lecture-notes/MITSP\\_784s09\\_lec10\\_biomech.pdf](http://ocw.mit.edu/courses/special-programs/sp-784-wheelchair-design-in-developing-countries-spring-2009/lecture-notes/MITSP_784s09_lec10_biomech.pdf). Accessed: 2013-05-13. (<http://ocw.mit.edu/index.htm>)

ANEXO 1



Medidas antropométricas sacadas del software Antropojeto para una persona en posición vertical.

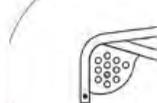
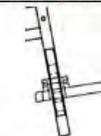


Medidas antropométricas sacadas del software Antropojeto para una persona en posición sentada.

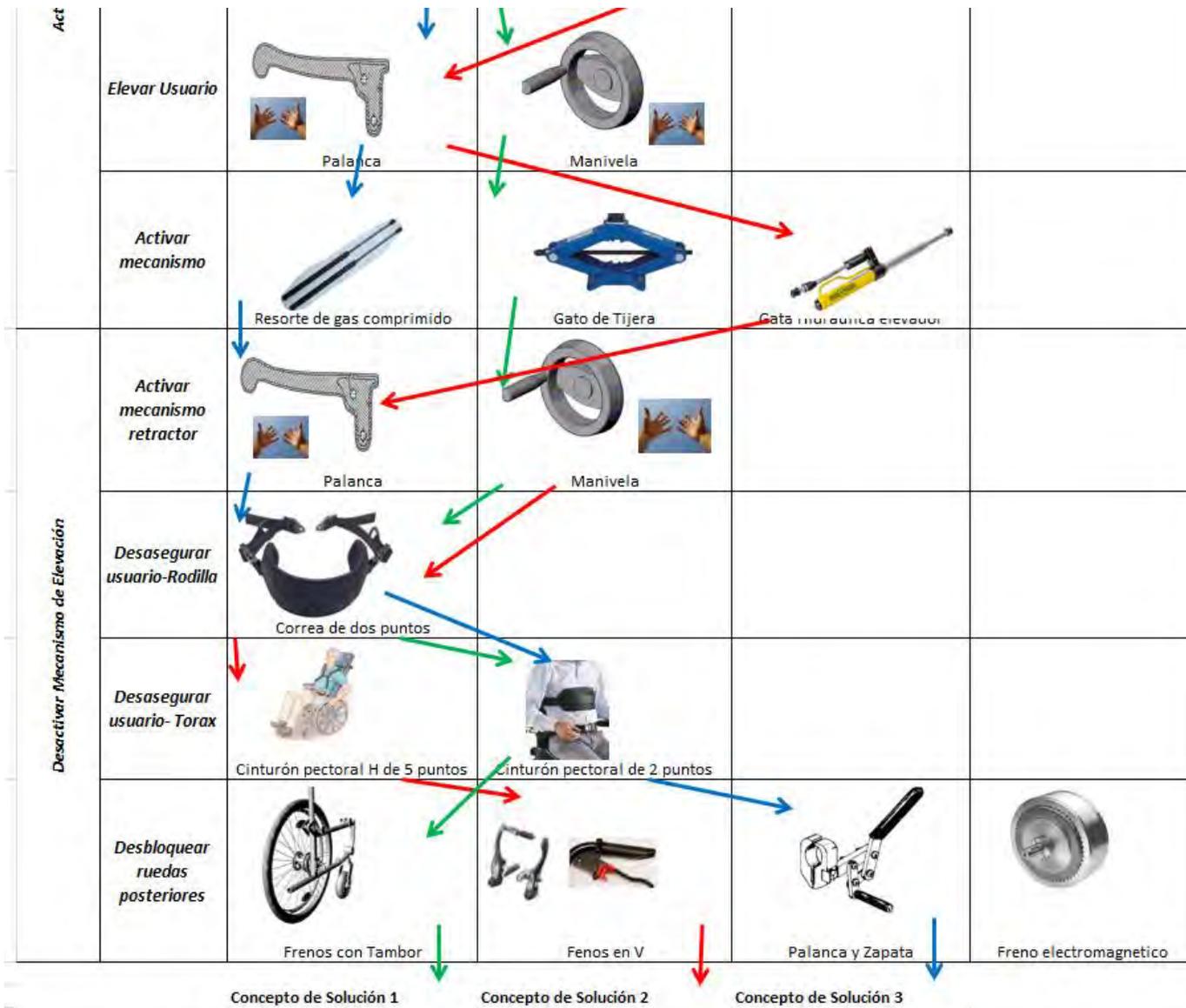
## ANEXO 2

LISTA DE REQUERIMIENTOS			
PROYECTO:	DISEÑO DE UNA SILLA DE RUEDAS CON UN SISTEMA ADICIONAL QUE PERMITA AL USUARIO ALCANZAR LA POSICIÓN BÍPEDA		Fecha: 20/12/20
			Revisado: Dante Elías Giodarno (D.E.G.)
CLIENTE:	PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU		Elaborado: Mauricio Atarama Del Águila (M.A.A.)
Nº	DENOMINACION	Descripción	Responsable
1	Usuarios Objetivos	Personas entre 20 y 64 años aprox. Que tengan un peso máximo de 100 kg y presenten discapacidad física tales como: paraplejía o problema psicomotriz, etc.	M.A.D.A.
2	Normas a utilizar	Las normas a considerar para el diseño son la Norma Técnica Peruana para dimensiones referencias, RESNA e ISO 13570-1:2005.	M.A.D.A.
3	Seguridad	El diseño contará con cinturones a la altura de la pelvis, otra a la altura del pecho y un cinturón de sujeción a la altura de la rodilla.	M.A.D.A.
4	Propulsión y rozamiento a rodar	Las dimensiones, tipo de recubrimiento y ángulo de ruedas son tales que permite el movimiento de la silla de ruedas con una fuerza de fricción baja.	M.A.D.A.
5	Antropometría y ergonomía	Las medidas de la silla de ruedas consideradas en las Tablas 2.2 y 2.3 son las recomendadas para la antropometría del hombre peruano. Se considera la ergonomía de la forma y ángulo del asiento.	M.A.D.A.
6	Bajo costo	Se considera que el precio máximo de la silla de rueda no supere los S/.4500	M.A.D.A.
7	Mecanismo de elevación	Se usará el mecanismo de elevación para permitir el bloque del avance de la silla de ruedas. También soportara un peso máximo de 100 kg	M.A.D.A.

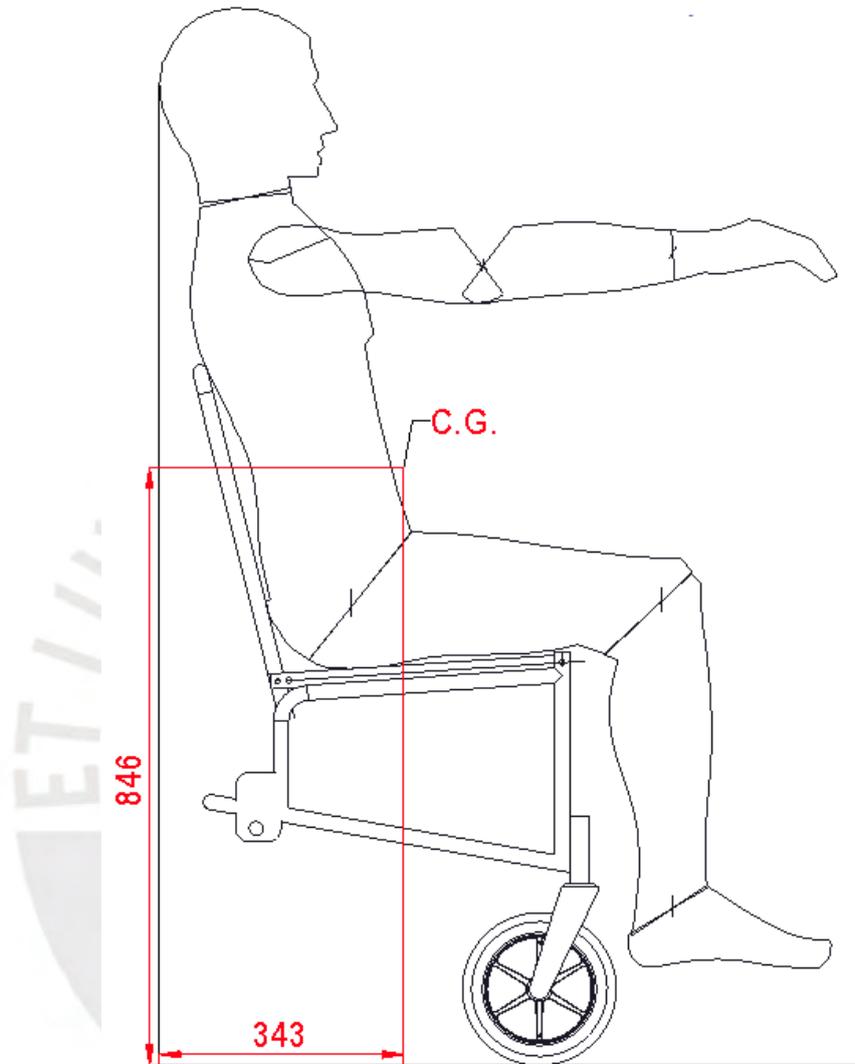
### ANEXO 3

		<i>Matriz Morfológica</i>			
<i>Función Principal</i>	<i>Sub Proceso / Actividad</i>	<i>Alternativa</i>			
		<i>Alternativa 1</i>	<i>Alternativa 2</i>	<i>Alternativa 3</i>	<i>Alternativa 4</i>
<b>REGULAR SILLA DE RUEDAS</b>	<i>Regular Ángulo de Verticalidad</i>	 Manual / Perilla Reguladora	 Manual / Placa Reguladora	 Fijo	
	<i>Regular Altura de Posa pies</i>	 Manual / Pernos Pasantes	 Manual / Elevables	 Fijos	 Manual/Tubos deslizantes entre sí
	<i>Bloquear Ruedas Posteriores</i>	 Freno tipo tijera	 Frenos con Tambor	 Frenos en V	 Freno electromagnético
	<i>Asegurar usuario- Pelvis</i>	 Cinturon Abdominal			
	<i>Desbloquear ruedas postetriorres</i>	 Frenos tipo tijera	 Frenos con Tambor	 Frenos en V	 Freno electromagnético

Avanzar-Retroceder-Girar	Establecer dirección	 Manual con Aros de Empuje	 Rueda Dirigible	 Asistido/ Manual con Aros de Empuje	 Asistido
	Propulsar Silla de Ruedas	 Manual Simple	 Manual con Aros de Empuje	 Asistido	 Asistido/ Manual con Aros de Empuje
Estacionar	 Parar movimiento	 Rueda	 Frenos en V		
Mecanismo de Elevación	Asegurar Usuario-Torax	 Cinturón pectoral H de 5 puntos	 Cinturón pectoral de 2 puntos		
	Asegurar usuario Rodilla	 Correa de dos puntos			
	Bloquear Ruedas Posteriores	 Palanca y Zapata	 Frenos con Tambor	 Frenos en V	 Freno electromagnetico

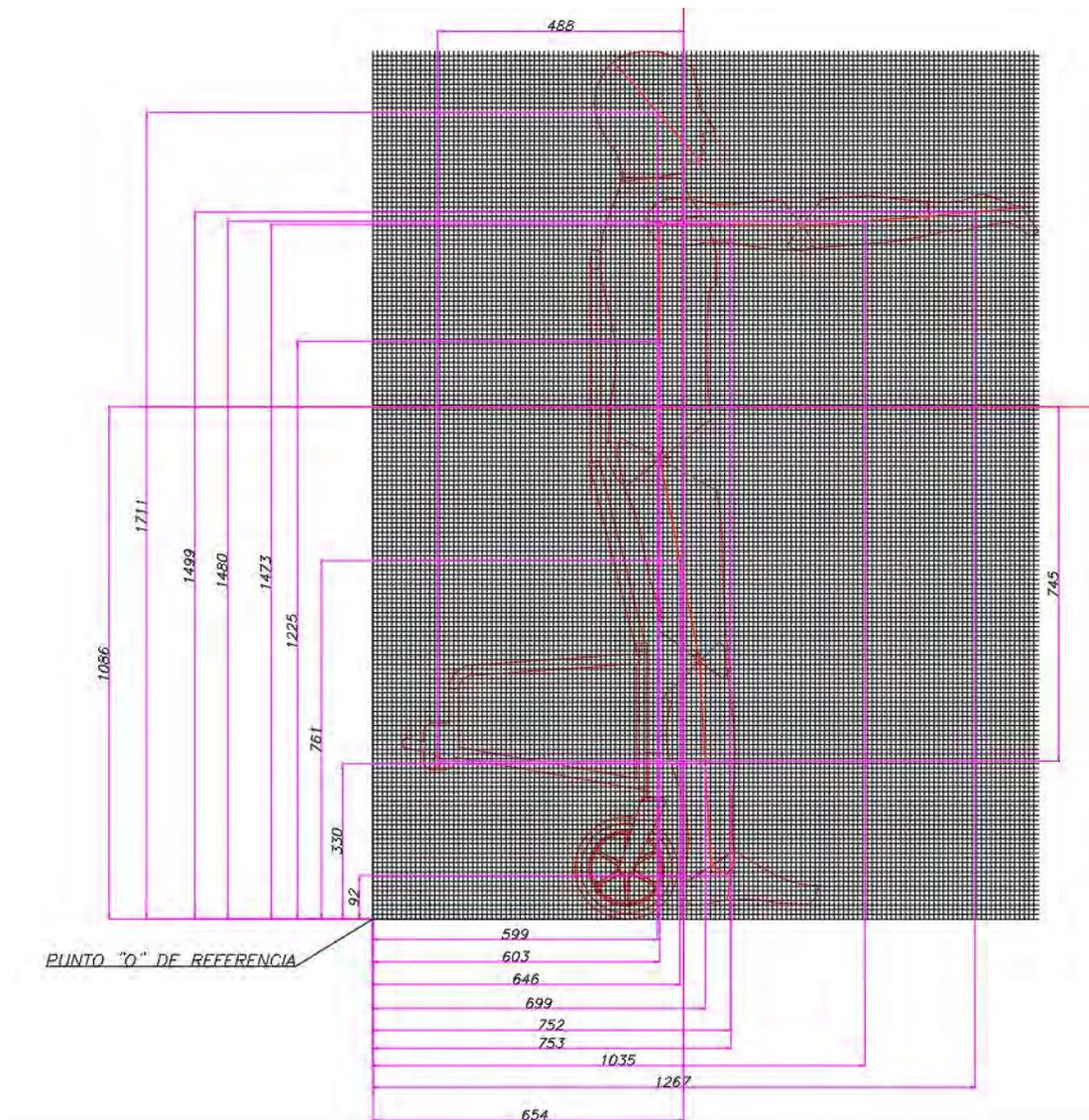


### ANEXO 4 Centro de Gravedad Posición Sentada

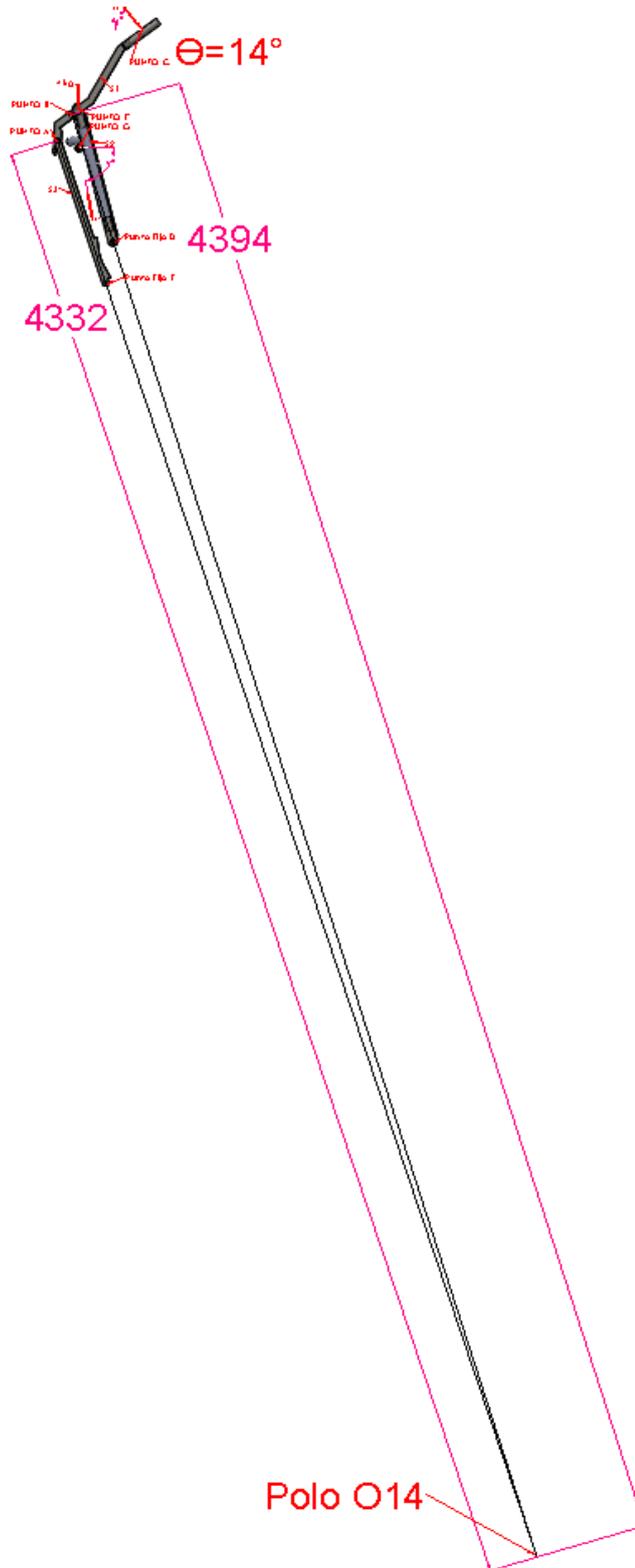


### ANEXO 5

#### Centro de Gravedad Posición Bípeda



### ANEXO 6 Ubicación de polo O14



## ANEXO 7

### Peso de Estructura de Asiento



Propiedades físicas

Ensamblaje Asiento.SLDASM

Opciones...

Reemplazar las propiedades de masa... Recalcular

Incluir sólidos/componentes ocultos

Mostrar masa de cordón de soldadura

Informar de valores de coordenadas relativos a: -- predeterminado --

Propiedades de masa de Ensamblaje Asiento

Configuración: Predeterminado

Sistema de coordenadas: -- predeterminado --

Masa = 3179 gramos

Masa de soldadura total = 1300 gramos

Volumen = 800280 milímetros cúbicos

Área de superficie = 496891 milímetros cuadrados

Centro de masa: ( milímetros )

X = -148

Y = -6

Z = -195

Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: ( gramos \* milímetros cuadrados )

Medido desde el centro de masa.

Ix = ( 0, 0, 1) Px = 44917587

Iy = ( 1, 0, 0) Py = 98402525

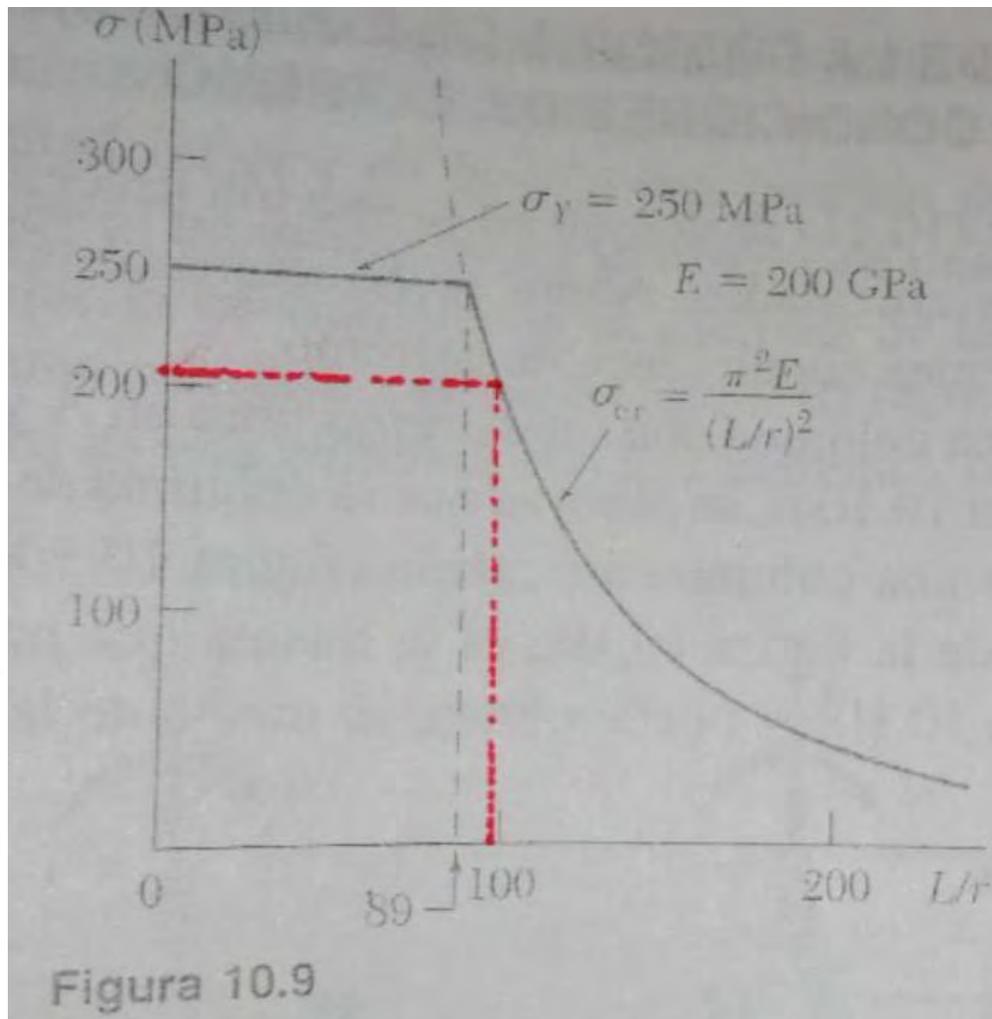
Iz = ( 0, 1, 0) Pz = 141461062

Ayuda Imprimir... Copiar al portapapeles

## ANEXO 8

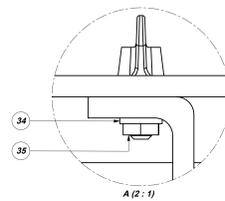
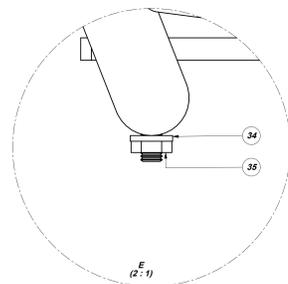
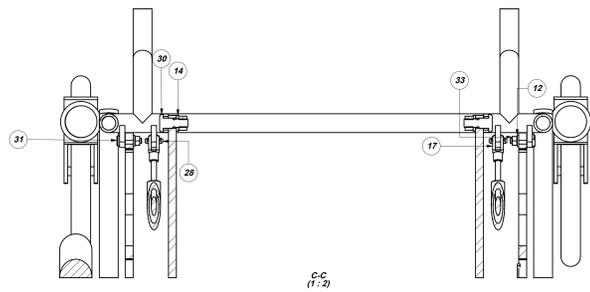
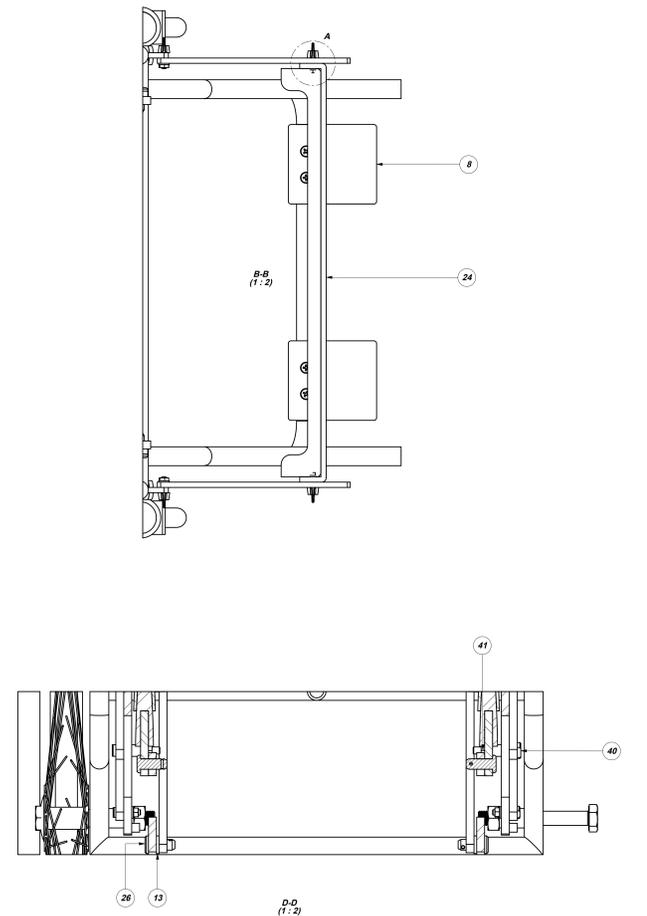
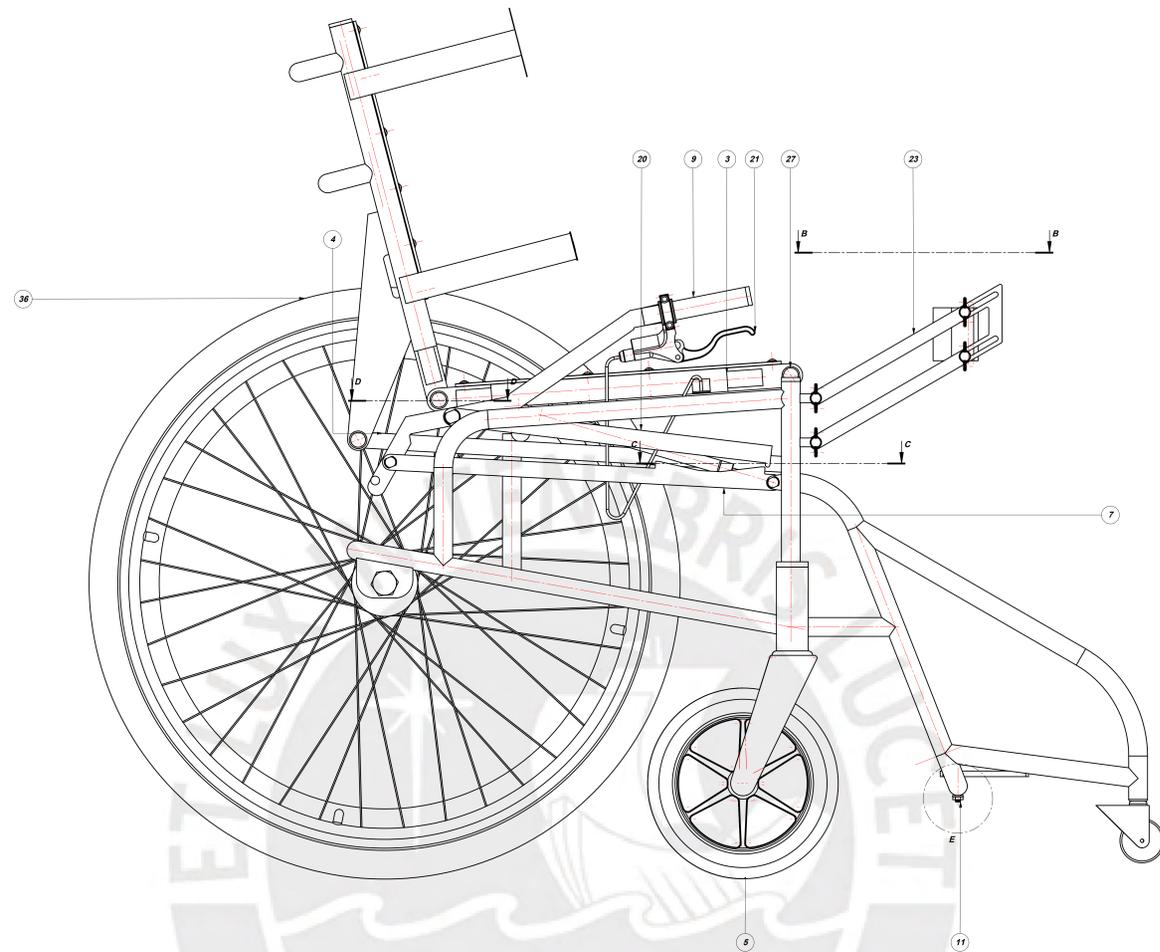
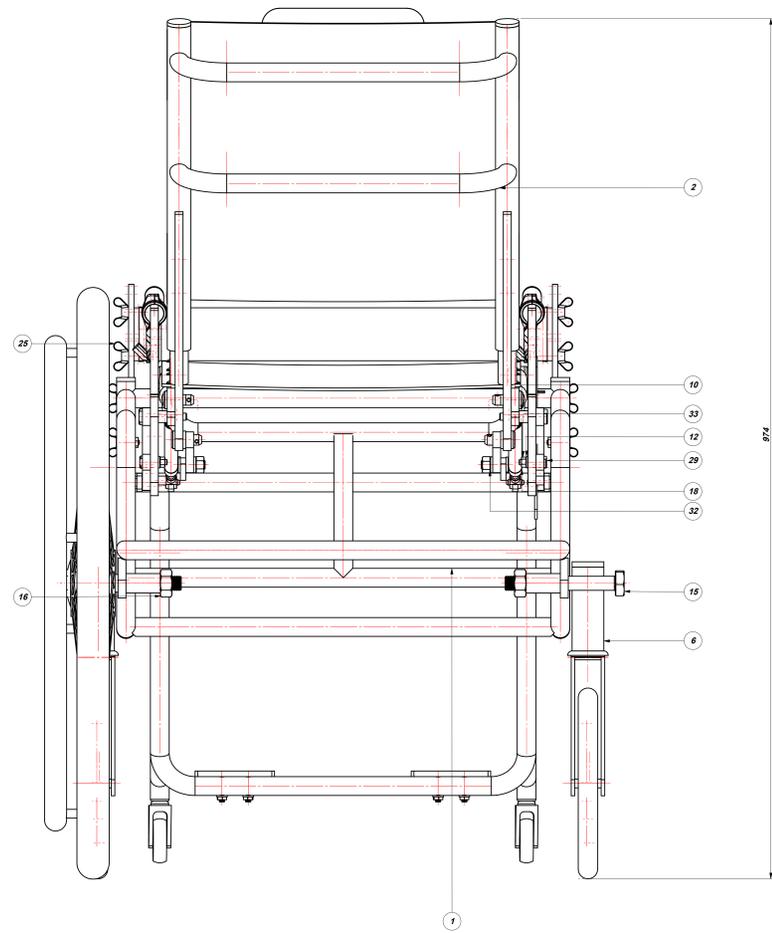
## Curva de Euler del Esfuerzo vs Factor Esbeltez

$\lambda_x = \lambda_y = 94.42$ ,  $\sigma \leq 200$  MPa. Línea punteada.

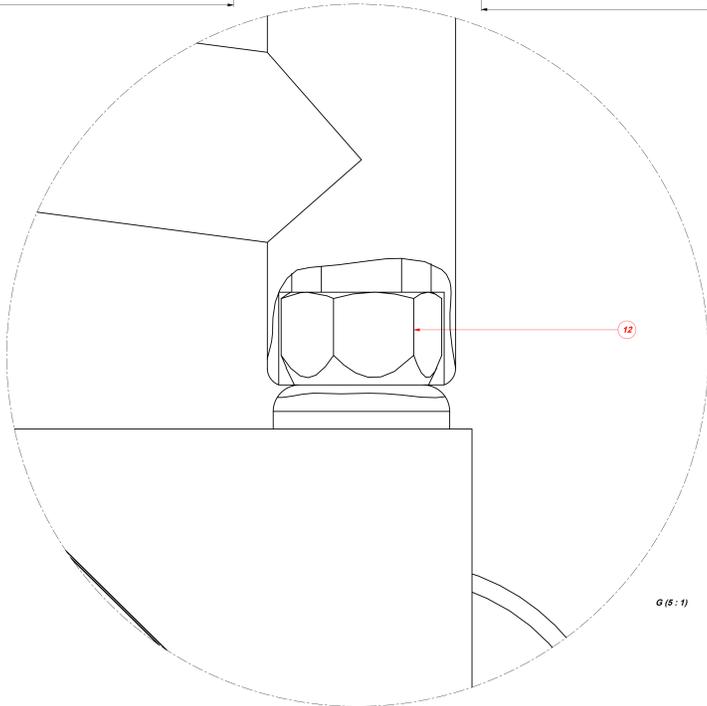
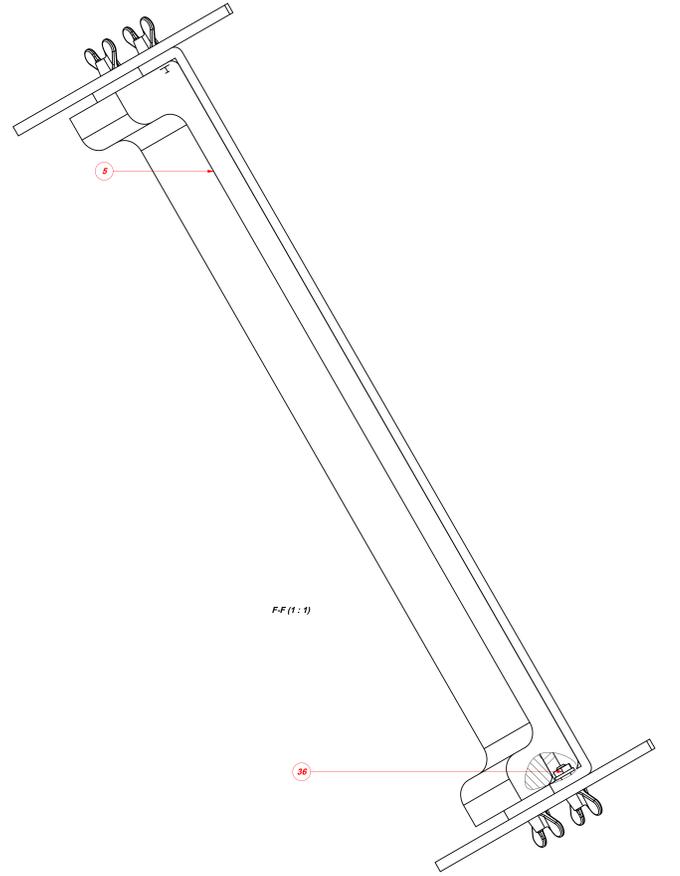
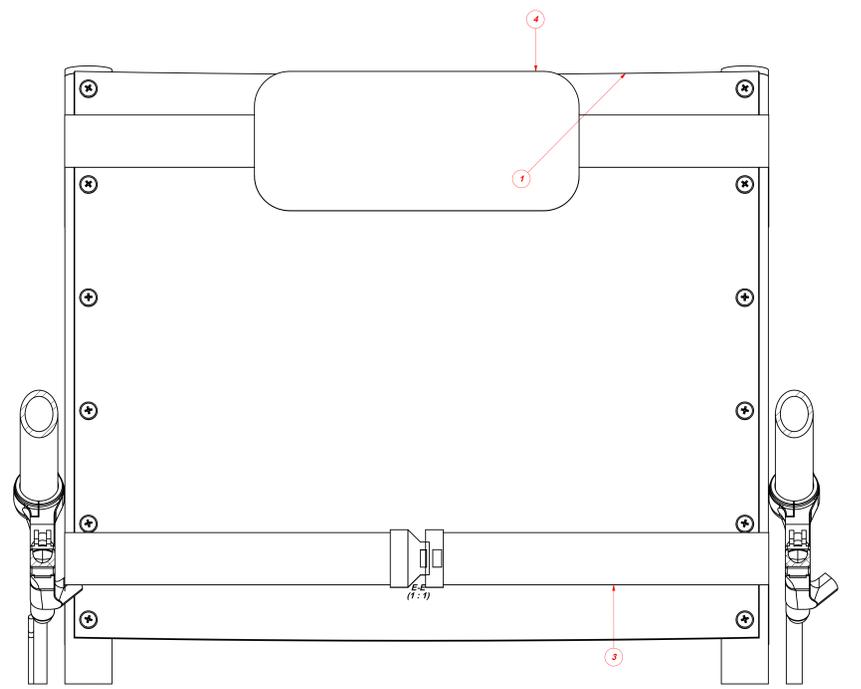
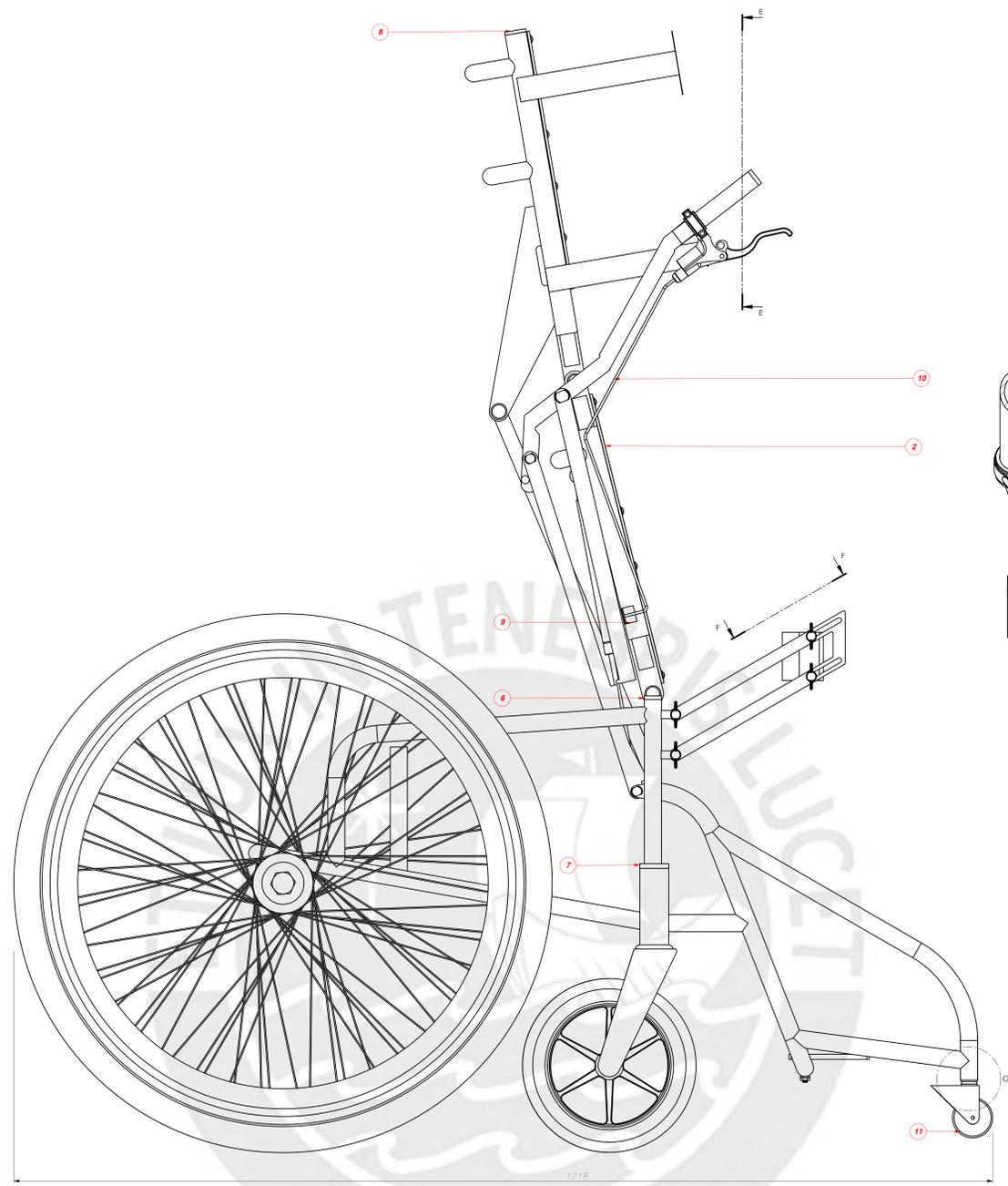
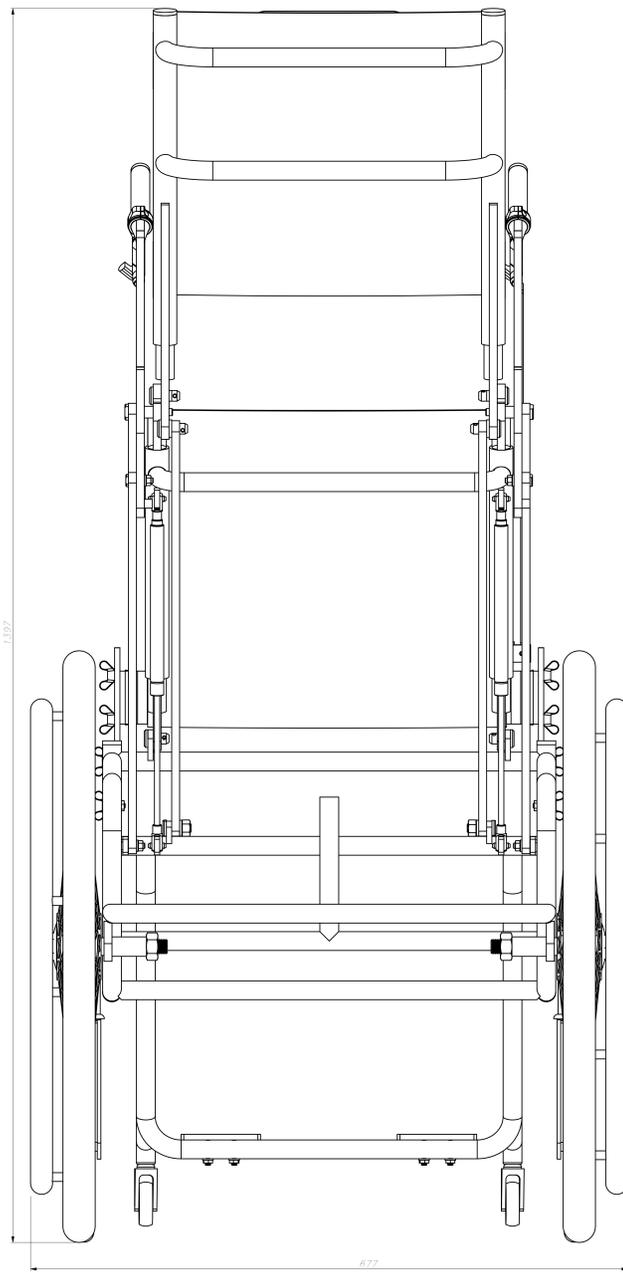


**ANEXO 9**  
**LISTA DE PLANOS**



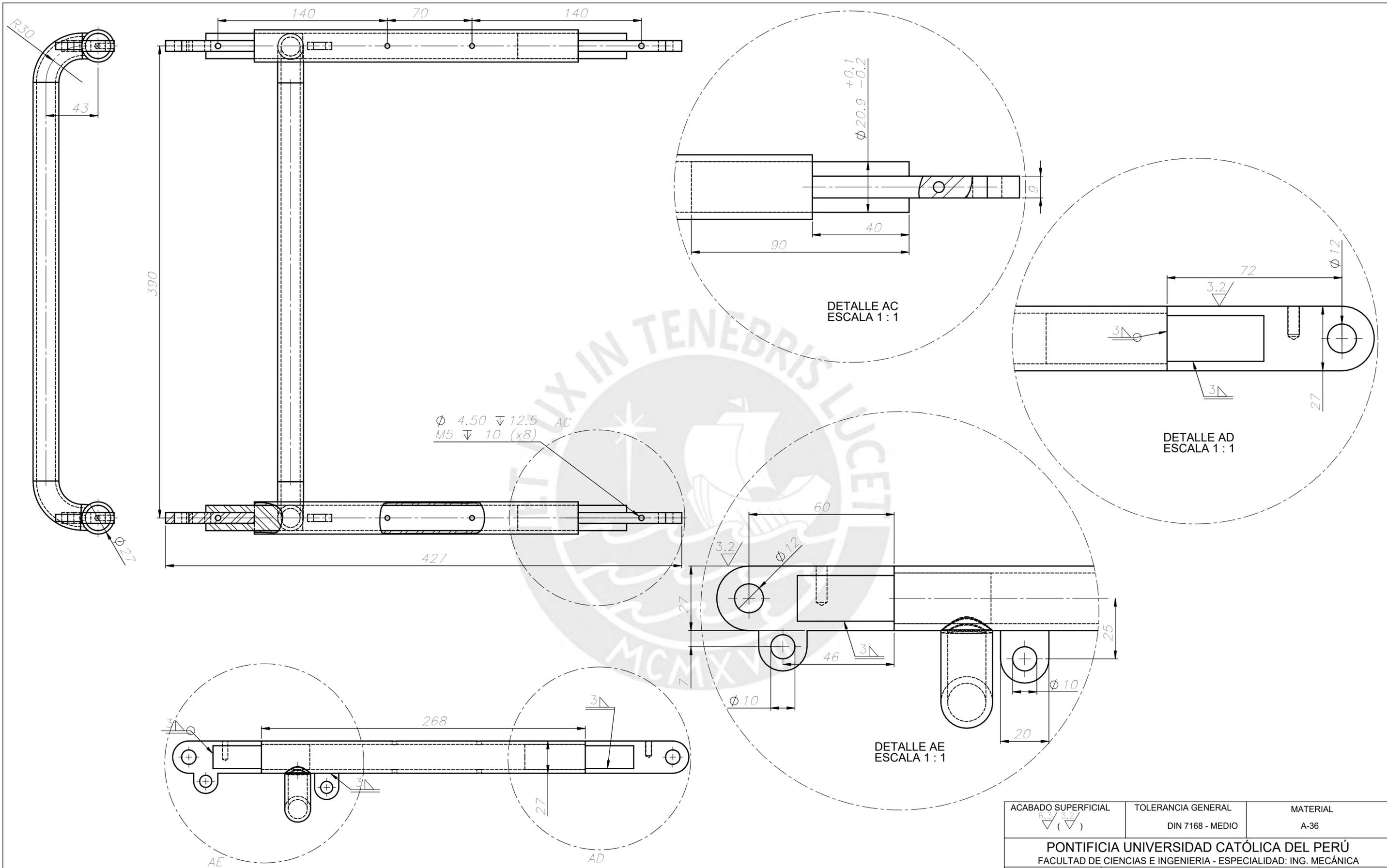


POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	CONSERVACIONES
41	2	Tuercas Hexagonales delgadas M6	ISO 4032	B7	
40	2	Placa de Horquilla con cables y espaldas Ø16x11	DIN 1445	St 37	
36	1	Placa de ST			
35	12	Tuercas Hexagonales delgadas M6	ISO 4032	B7	
34	33	Arandelas de ST	DIN 125	St 37	
33	4	Tuercas Hexagonales M8	ISO 4032	B7	
32	2	Tuercas Hexagonales M8	ISO 4032	B7	
31	1	Placa de Horquilla con cables y espaldas Ø16x11	DIN 1445	St 37	
30	2	Placa de Horquilla con cables y espaldas Ø16x11	DIN 1445	St 37	
29	2	Placa de Horquilla con cables y espaldas Ø16x11	DIN 1445	St 37	
28	4	Placa de Horquilla con cables y espaldas Ø16x11	DIN 1445	St 37	
27	2	Placa de Horquilla con cables y espaldas Ø16x11	DIN 1445	St 37	
26	4	Placa de Horquilla con cables y espaldas Ø16x11	DIN 1445	St 37	
25	8	Tornillos de eje M6x11	DIN 913		
24	2	Seguridad de Rueda 2	ASTM A305	DESP-A3-004	
23	2	Seguridad de Rueda 1	ASTM A305	DESP-A3-003	
22	2	Almendra tipo biciseta		Fundo a cable para biciseta	
21	2	Placa de Freno	ALUMINIO	Freno a freno para biciseta	
20	2	Barras Tapa de Mecanismo	ASTM A305	DESP-A3-007	
19	1	Placa de Cable Freno		Freno a freno para biciseta	
18	2	Placa de Cable Freno		Freno a freno para biciseta	
17	4	Juntas de Horquilla		Horquilla Ø 16mm	
16	2	Tuercas Hexagonales M8	ISO 4032	B7	
15	2	Placa Hexagonal M12 x 125 x 20	DIN 6914	B8	
14	2	Arandelas Placa Ø16mm	Acero A307	St 37	
13	2	Arandelas Placa Ø16mm	Acero A307	St 37	
12	4	Arandelas Placa Ø16mm	Acero A307	St 37	
11	1	Tornillo central eje para eje M6x11	ISO 7445	B 8	
10	2	Separador de Respaldo	ASTM A305	DESP-A3-009	
9	1	Placa de Mecanismo Retraer	ASTM A305	DESP-A3-002	
8	2	Placa de Mecanismo Retraer	ASTM A305	DESP-A3-002	
7	2	Placa de Mecanismo Retraer	ASTM A305	DESP-A3-002	
6	2	Placa de Mecanismo Retraer	ASTM A305	DESP-A3-002	
5	2	Rueda de ST	ASTM A305	DESP-A3-005	
4	2	Rueda de Respaldo	ASTM A305	DESP-A3-001	
3	1	Trinche para eje	ASTM A305	DESP-A3-001	
2	1	Trinche para eje	ASTM A305	DESP-A3-001	
1	1	Cable de Cable de Freno	ASTM A305	DESP-A3-001	



POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
10	2	Fuente giratoria M12	ISO 883	ACERO AISI 304	
11	2	Fuente giratoria con capacidad de 2"			Para el pavimento
12	1	Fuente para asilo			Para el asilo de la silla
13	1	Soporte de Cables		ACERO AISI 304	
14	2	Pliegue de 34"		Caucho	
15	2	Pliegue de 18"		Caucho	
16	2	Pliegue de 12"		Caucho	
17	1	Armutura para apoyo de cadera		Aluminio de 6061 T6	Medida de 101 x 45 x 60 mm
18	1	Correa de seguridad - pecho			Correa de seguridad ajustable
19	1	Correa de seguridad - cadera			Correa de seguridad ajustable
20	1	Wedge para asiento			Medida de 100 x 100 x 10 mm
21	1	Wedge para reposapiés			Medida de 100 x 100 x 10 mm

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU  
 FACULTAD DE CIENCIAS INGENIERIA, ESPECIALIDAD EN MECANICA  
 DISEÑO DE UNA SILLA DE RUEDAS CON UN SISTEMA ADICIONAL QUE PERMITA AL USUARIO ALCANZAR LA POSICION BIPEDA  
 ENSEMBLE DE SILLA DE RUEDAS  
 ATARAMA DEL AGUILA, CARLOS MAURICIO



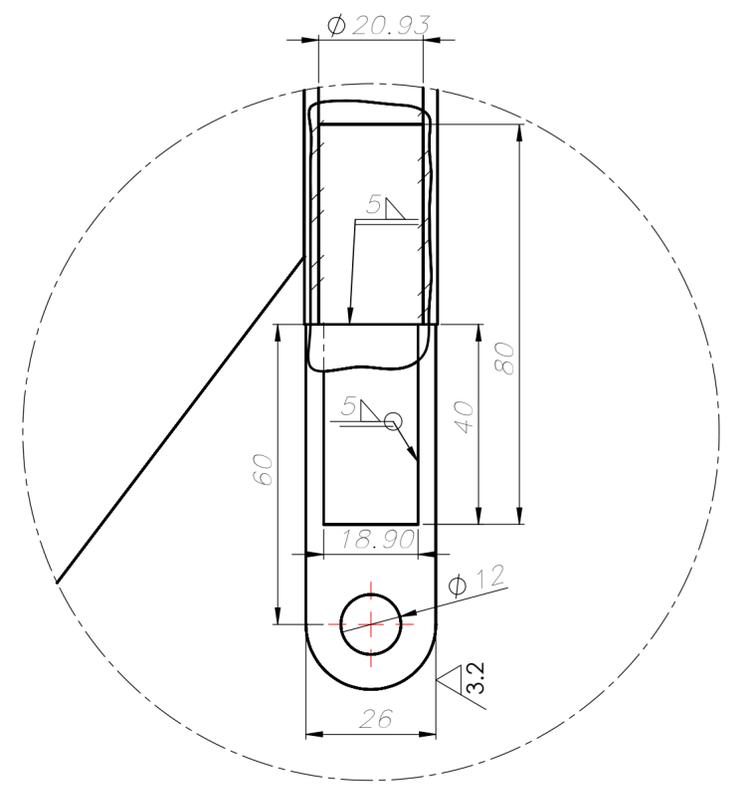
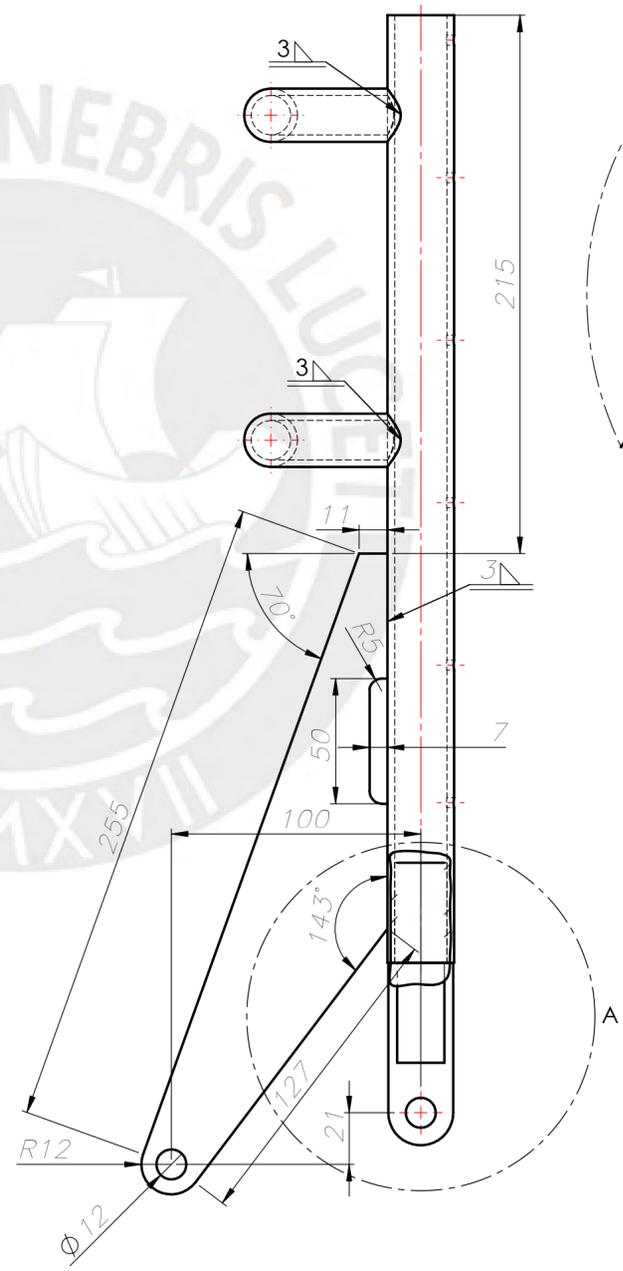
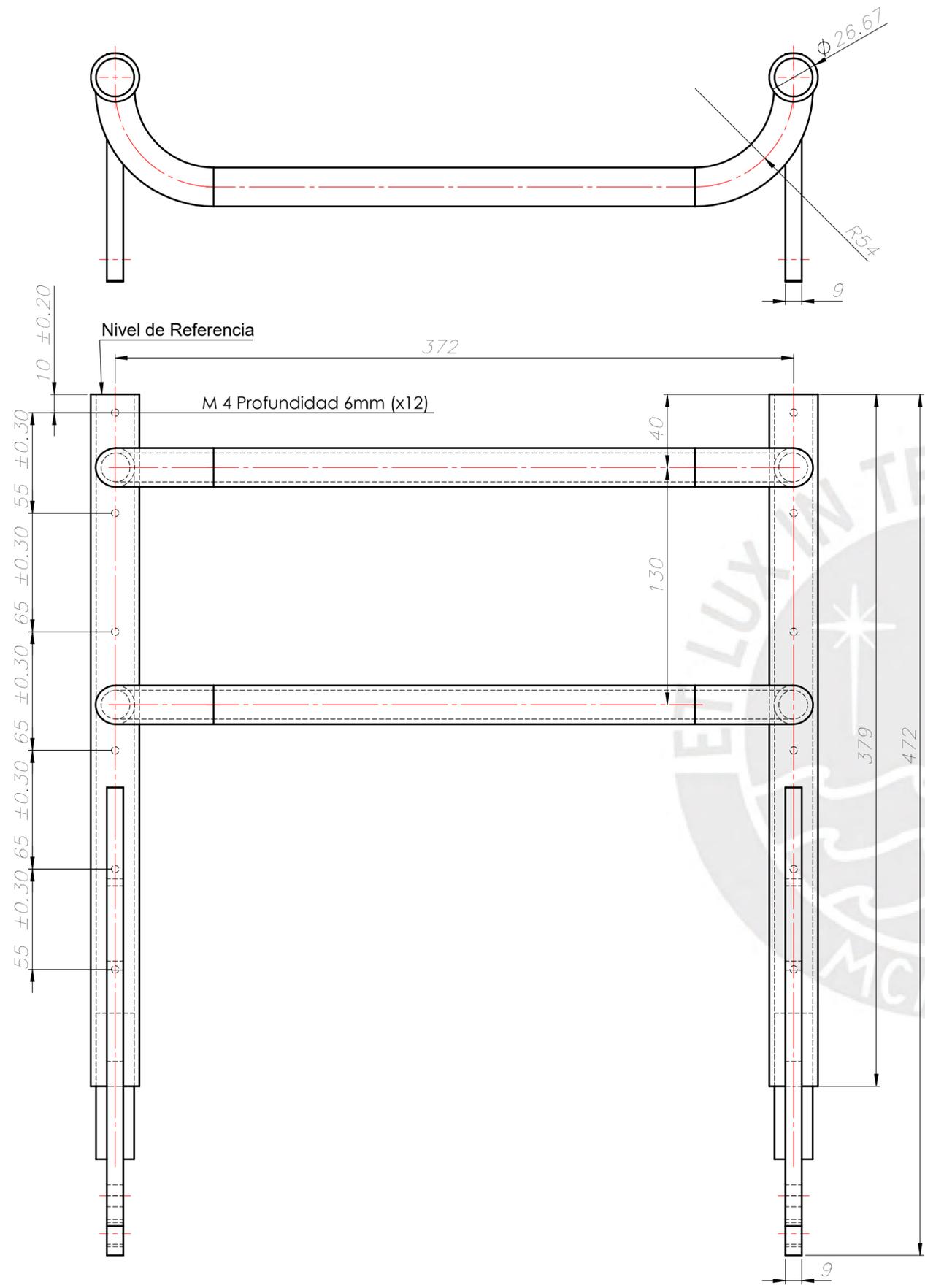
$\phi$  4.50  $\nabla$  12.5 AC  
 M5  $\nabla$  10 (x8)

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGUN DIN 7168

GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	+0,1 -0,1	+0,1 -0,1	+0,2 -0,2	+0,3 -0,3	+0,5 -0,5

ITEM: ESTRUCTURA DE ASIENTO.  
 CANTIDAD: 1  
 MATERIAL: A36.  
 TOLERANCIA GENERAL: DIN 7168  
 ESCALA INDICADA

ACABADO SUPERFICIAL 6.3 / 3.2 / 1.6	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 - MEDIO	MATERIAL A-36
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA - ESPECIALIDAD: ING. MECÁNICA		
METODO DE PROYECCIÓN 	DISEÑO DE UNA SILLA DE RUEDA CON UN SISTEMA ADICIONAL QUE PERMITA AL USUARIO ALCANZAR LA POSICIÓN BÍPEDA	ESCALA <b>1:2</b>
20069538	ATARAMA DEL AGUILA, CARLOS MAURICIO	FECHA: 17.03.2021 PLANO: DESP-A2-001

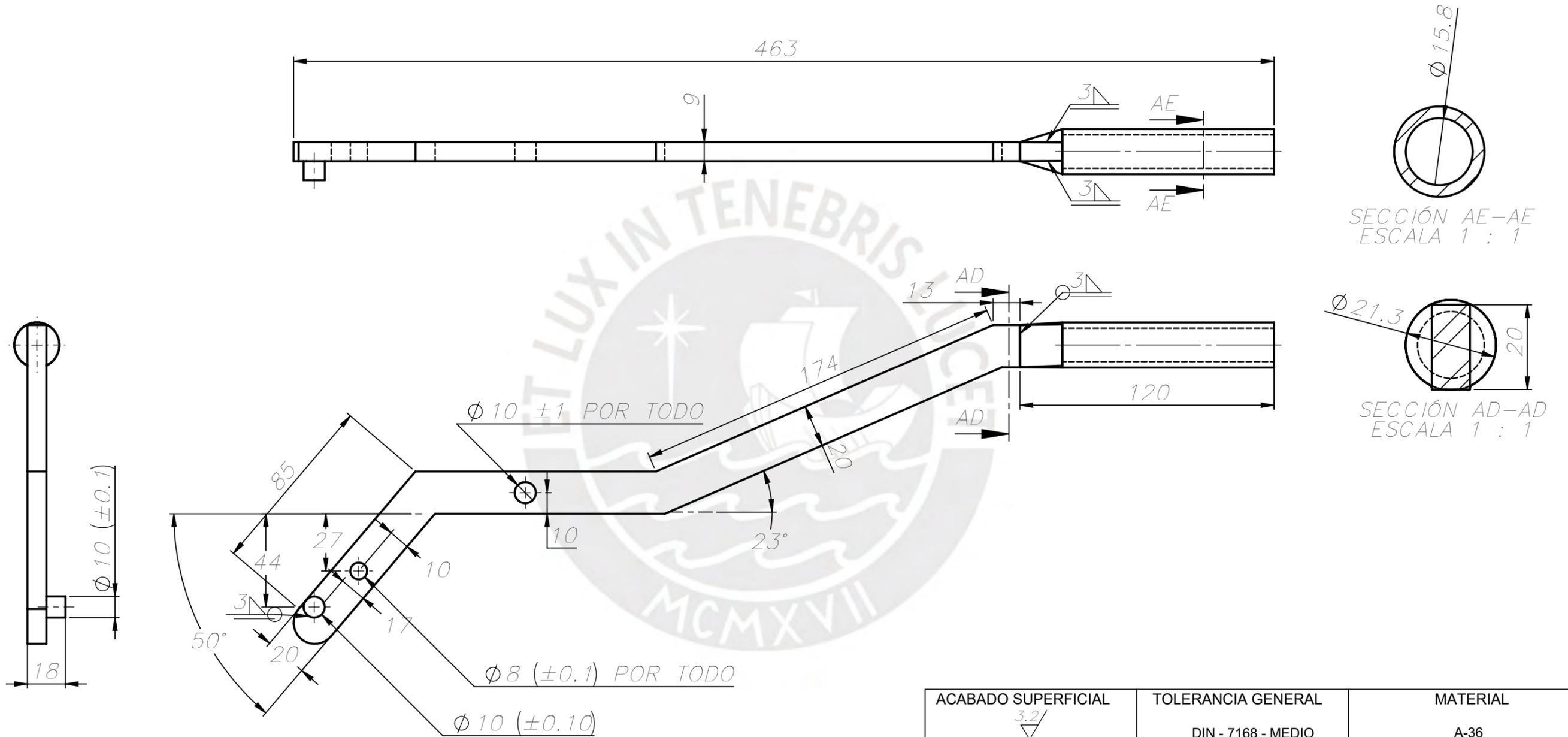


TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGUN DIN 7168					
GRADO DE EXACTITUD	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000
MEDIO	+0.1 -0.1	+0.2 -0.2	+0.3 -0.3	+0.5 -0.5	+0.8 -0.8

ITEM: ESTRUCTURA DE RESPALDAR.  
 CANTIDAD: 1  
 MATERIAL: A36.  
 TOLERANCIA GENERAL: DIN 7168  
 ESCALA: 1:2

ACABADO SUPERFICIAL $\frac{6.3}{\sqrt{V}}$ $\frac{3.2}{(\sqrt{V})}$	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 - MEDIO	MATERIAL A-36
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA - ESPECIALIDAD: ING. MECÁNICA		
METODO DE PROYECCIÓN 	DISEÑO DE UNA SILLA DE RUEDA CON UN SISTEMA ADICIONAL QUE PERMITA AL USUARIO ALCANZAR LA POSICIÓN BÍPEDA	ESCALA 1:2
20069538	ATARAMA DEL AGUILA, CARLOS MAURICIO	FECHA: 18.03.2021 LÁMINA: DESP-A2-002





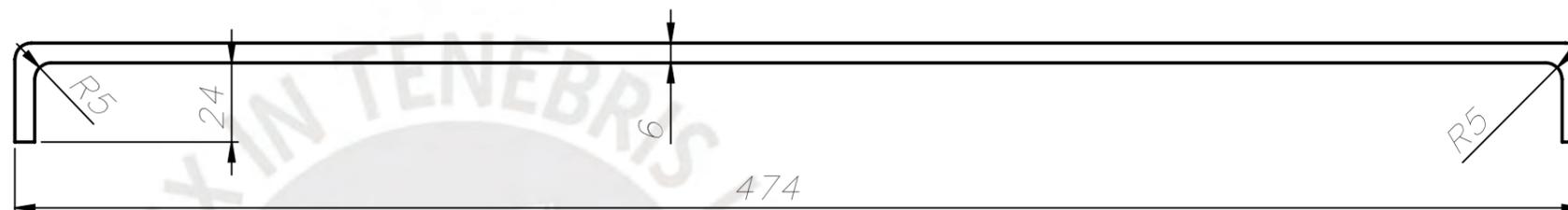
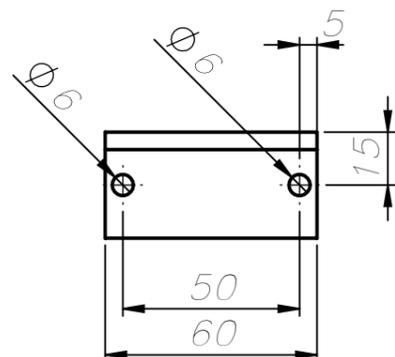
ITEM: PALANCA DE MECANISMO DE LEVANTE.  
 CANTIDAD: 2  
 MATERIAL: A36.  
 TOLERANCIA GENERAL: DIN 768  
 ESCALA 1:2

TOLERANCIAS DIMENSIONALES  
 SEGUN DIN 7168

GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8

ACABADO SUPERFICIAL 3.2/√	TOLERANCIA GENERAL DIN - 7168 - MEDIO	MATERIAL A-36
<b>PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ</b> FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA - ESPECIALIDAD: ING. MECÁNICA		
METODO DE PROYECCIÓN 	DISEÑO DE UNA SILLA DE RUEDA CON UN SISTEMA ADICIONAL QUE PERMITA AL USUARIO ALCANZAR LA POSICIÓN BÍPEDA	ESCALA 1:2
	<b>PALANCA DE MECANISMO</b>	FECHA: 17.03.2021
20069538	ATARAMA DEL AGUILA, CARLOS MAURICIO	PLANO: DESP-A3-004



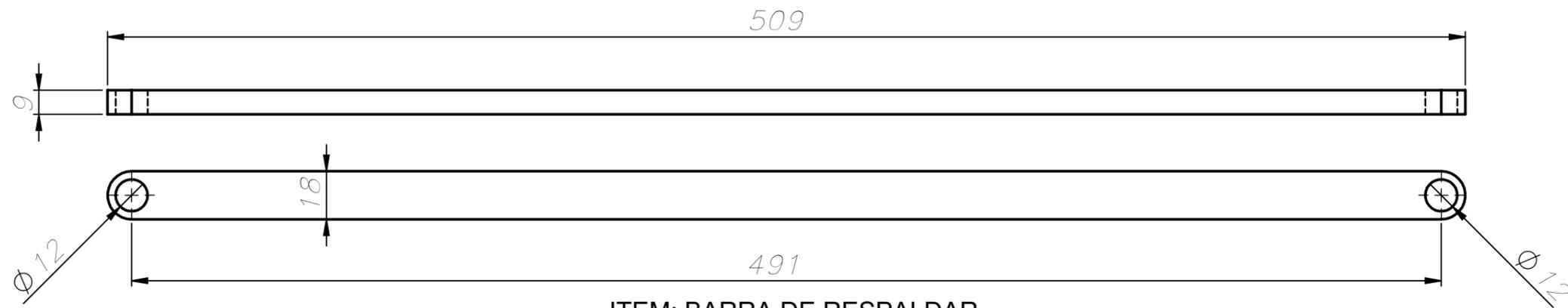


ITEM: ESTRUCTURA DE SEGURIDAD DE RODILLA.  
 CANTIDAD: 1  
 MATERIAL: A36.  
 TOLERANCIA GENERAL: DIN 7168  
 ESCALA 1:2

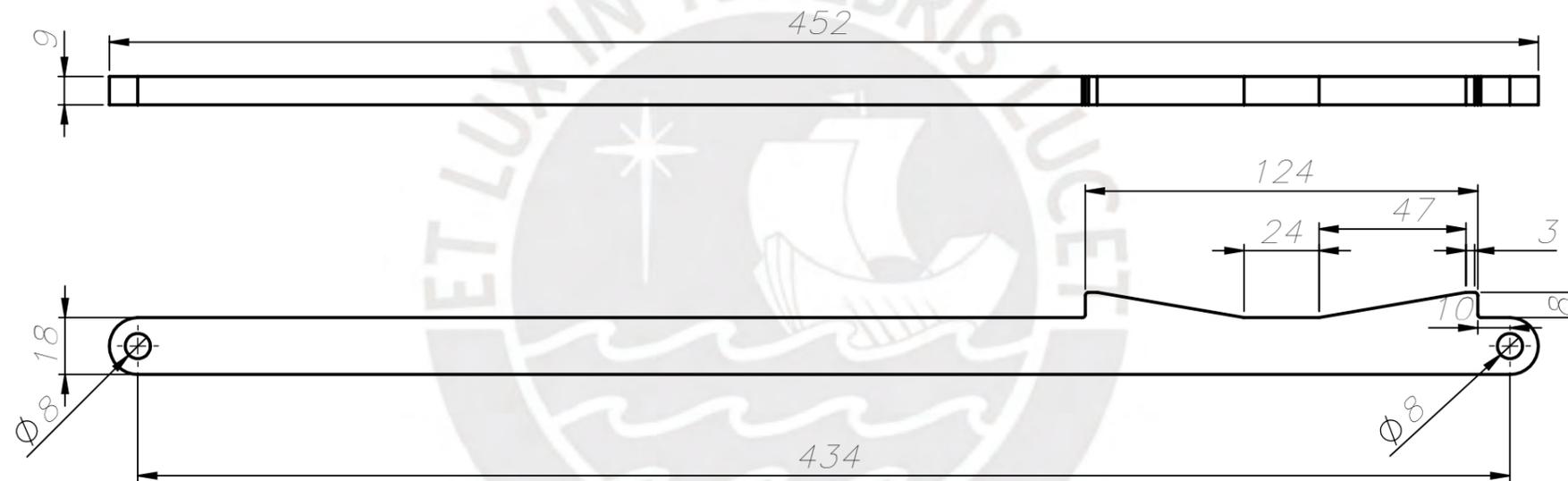
ACABADO SUPERFICIAL 3.2/√	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 - MEDIO	MATERIAL A-36
<b>PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ</b> FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA - ESPECIALIDAD: ING. MECÁNICA		
METODO DE PROYECCIÓN 	DISEÑO DE UNA SILLA DE RUEDA CON UN SISTEMA ADICIONAL QUE PERMITA AL USUARIO ALCANZAR LA POSICIÓN BÍPEDA  <b>ESTRUCTURA DE SEGURO DE RODILLA-2</b>	ESCALA <b>1:2</b>
20069538	ATARAMA DEL AGUILA, CARLOS MAURICIO	FECHA: 25.06.2015 PLANO: DESP-A3-006

TOLERANCIAS DIMENSIONALES  
SEGUN DIN 7168

GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8



ITEM: BARRA DE RESPALDAR.  
 CANTIDAD: 2  
 MATERIAL: A36.  
 TOLERANCIA GENERAL: DIN 7168  
 ESCALA: 1:2



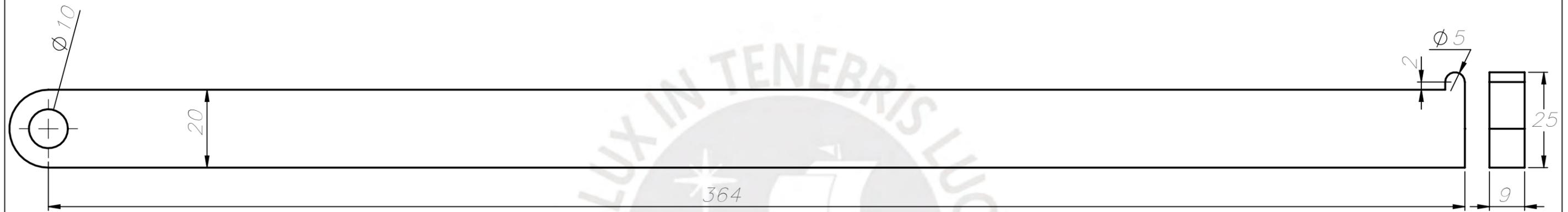
ITEM: BARRA DE MECANISMO.  
 CANTIDAD: 2  
 MATERIAL: A36.  
 TOLERANCIA GENERAL: DIN 7168  
 ESCALA: 1:2

**REDONDEOS: 2mm**

ACABADO SUPERFICIAL 3.2/	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 - MEDIO	MATERIAL A - 36
<b>PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ</b> FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA - ESPECIALIDAD: ING. MECÁNICA		
METODO DE PROYECCIÓN 	DISEÑO DE UNA SILLA DE RUEDAS CON UN SISTEMA ADICIONAL QUE PERMITA AL USUARIO ALCANZAR LA POSICIÓN BÍPEDA	ESCALA 1:2
<b>BARRAS</b>		FECHA: 25.06.015
20069538	ATARAMA DEL AGUILA, CARLOS MAURICIO	LÁMINA: DESP-A3-007

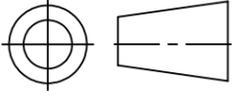
TOLERANCIAS DIMENSIONALES  
SEGUN DIN 7168

GRADO DE EXACTITUD	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000
MEDIO	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8



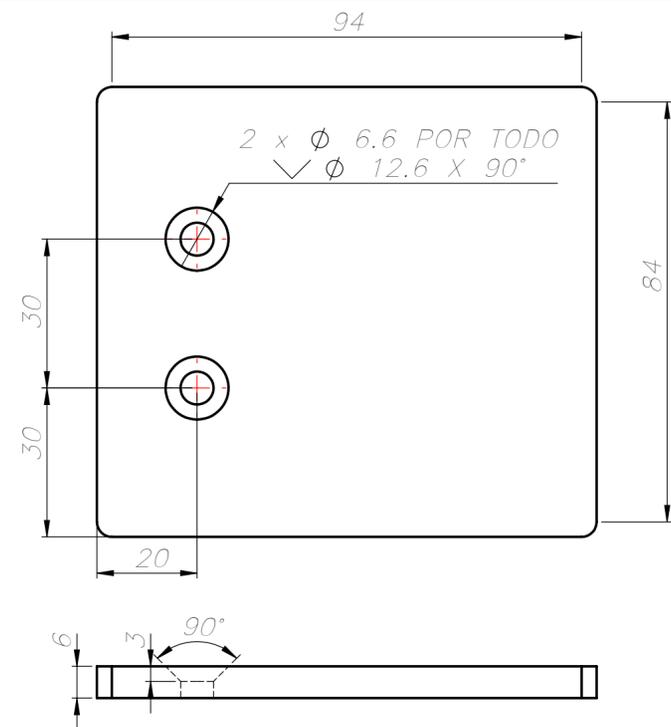
ITEM: BARRA DE TOPE DE MECANISMO.  
 CANTIDAD: 2  
 MATERIAL: A36.  
 TOLERANCIA GENERAL: DIN 7168  
 ESCALA: 1:2

REDONDEOS: 2mm

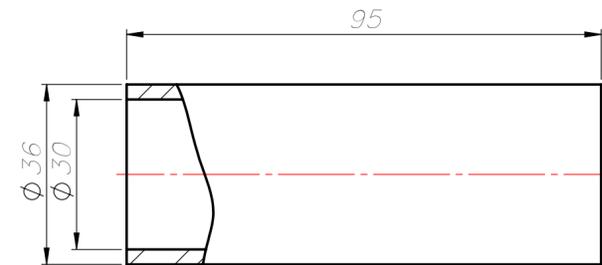
ACABADO SUPERFICIAL 3.2/	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 - MEDIO	MATERIAL A - 36
<b>PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ</b> FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA - ESPECIALIDAD: ING. MECÁNICA		
METODO DE PROYECCIÓN 	DISEÑO DE UNA SILLA DE RUEDAS CON UN SISTEMA ADICIONAL QUE PERMITA AL USUARIO ALCANZAR LA POSICIÓN BÍPEDA  <b>BARRA TOPE DE MECANISMO</b>	ESCALA <b>1:2</b>
20069538	ATARAMA DEL AGUILA, CARLOS MAURICIO	FECHA: 18.03.2021 PLANO: DESP-A3-008

TOLERANCIAS DIMENSIONALES  
SEGUN DIN 7168

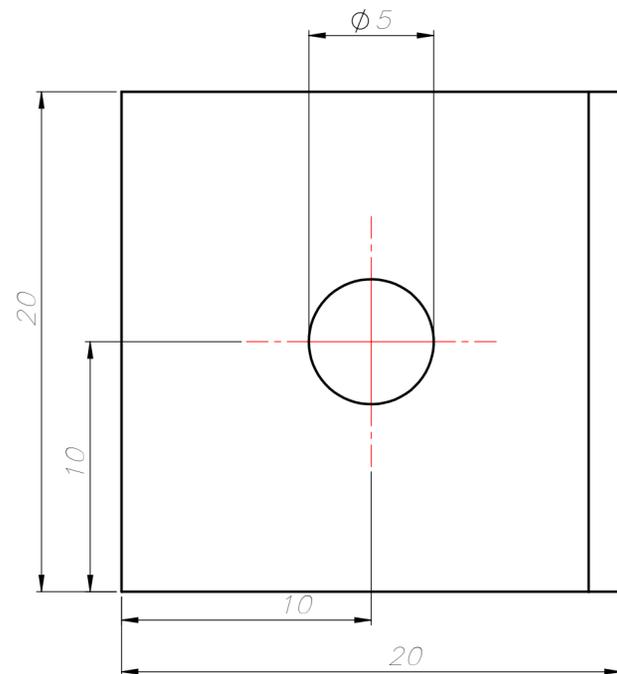
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0.5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	+0,1 -0,1	+0,1 -0,1	+0,2 -0,2	+0,3 -0,3	+0,5 -0,5



ITEM: REPOSAPIES.  
 CANTIDAD: 2  
 MATERIAL: A36.  
 TOLERANCIA GENERAL: DIN 7168  
 ESCALA: 1:1

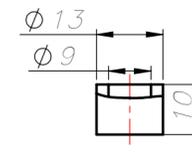


ITEM: SOPORTE DE RUEDA DE 6".  
 CANTIDAD: 2  
 MATERIAL: A36.  
 TOLERANCIA GENERAL: DIN 7168  
 ESCALA: 1:1



ITEM: SOPORTE DE CABLE.  
 CANTIDAD: 1  
 MATERIAL: A36.  
 TOLERANCIA GENERAL: DIN 7168  
 ESCALA: 5:1

Ángulo 20x20x2mm



ITEM: SEPARADOR DE RESPALDAR .  
 CANTIDAD: 2  
 MATERIAL: A36.  
 TOLERANCIA GENERAL: DIN 7168  
 ESCALA: 1:1



TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGUN DIN 7168						
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000
MEDIO	+0,1 -0,1	+0,1 -0,1	+0,2 -0,2	+0,3 -0,3	+0,5 -0,5	+0,8 -0,8

ACABADO SUPERFICIAL 3,2/√	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 - MEDIO	MATERIAL A-36
<b>PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ</b> FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA - ESPECIALIDAD: ING. MECÁNICA		
METODO DE PROYECCIÓN 	DISEÑO DE UNA SILLA DE RUEDA CON UN SISTEMA ADICIONAL QUE PERMITA AL USUARIO ALCANZAR LA POSICIÓN BÍPEDA	ESCALA 1:1
<b>ACCESORIOS</b>		FECHA: 18.03.2021
20069538	ATARAMA DEL AGUILA, CARLOS MAURICIO	PLANO: DESP-A2-009