



Diseño de una grúa de elevación y traslado de accionamiento hidráulico con capacidad máxima de 135 kg para adultos mayores en condición de discapacidad motriz, pertenecientes al hogar geriátrico San Pedro Claver en la ciudad de Bogotá.

Jhon Fredy Amaya Ríos  
Pedro José Martos Flores

Universidad Antonio Nariño  
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica  
Bogotá D.C, Colombia  
2020

Diseño de una grúa de elevación y traslado de accionamiento hidráulico con capacidad máxima de 135 kg para adultos mayores en condición de discapacidad motriz, pertenecientes al hogar geriátrico San Pedro Claver en la ciudad de Bogotá.

Jhon Fredy Amaya Ríos  
Pedro José Martos Flores

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:  
INGENIERO MECÁNICO

Director:  
Henry Moreno Acosta

Universidad Antonio Nariño  
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica  
Bogotá, Colombia  
2020

## **DEDICATORIA**

Este proyecto está dedicado a Dios quien nos ha permitido terminar exitosamente este proceso académico, a nuestros padres Yaneth Flores y Jarol Martos; Graciela Ríos y Edgar Amaya, quienes siempre nos apoyaron moral y económicamente para convertirnos en profesionales íntegros y útiles para la sociedad.

## **AGRADECIMIENTOS**

Nuestros más sinceros agradecimientos para el ingeniero Henry Moreno por brindarnos su acompañamiento integral de este proyecto y por haber compartido sus conocimientos a lo largo de nuestra permanencia en la universidad, por guiarnos con paciencia y apoyarnos en todo momento.

Agradecemos también al Hogar geriátrico San Pedro Claver de la ciudad de Bogotá por habernos permitido ingresar a sus instalaciones y realizar el trabajo de campo.

## RESUMEN

El presente trabajo propone el diseño de una grúa de elevación y traslado de accionamiento hidráulico para el hogar geriátrico San Pedro Claver, en donde se ha hecho necesario el uso de un dispositivo de estas características para facilitar el traslado de los pacientes en condición de discapacidad motriz, de su cama a la silla de ruedas y viceversa.

Inicialmente, y con el objetivo de identificar la necesidad, se realiza un levantamiento de información mediante un trabajo de campo, en donde se identificaron el tipo de discapacidades existentes en el hogar geriátrico y los requerimientos técnicos necesarios para la construcción de la grúa, tales como ancho de pasillos, altura de las habitaciones, distancia entre camas etc. Lo cual permite el correcto dimensionamiento de cada uno de los componentes y cumplir con ciertas características técnicas y mecánicas necesarias para garantizar aspectos de seguridad, transporte y ergonomía que fueran adaptables a las condiciones actuales del lugar.

Para comprender adecuadamente el funcionamiento de estos dispositivos, se procede a documentar el estado del arte y mediante la metodología benchmarking, se toman como referencia algunos modelos de grúas ya existentes en el mercado para así poder obtener un diseño confiable, seguro y de calidad, que contribuya al mejoramiento de las condiciones de vida de estas personas.

Una vez identificada la necesidad y luego de estudiar el estado del arte, se procede a la realización del diseño, teniendo en cuenta aspectos de seguridad, funcionalidad, fácil mantenimiento, estética y calidad, que garanticen condiciones cómodas y seguras en el momento del traslado de los adultos mayores.

Finalmente haciendo uso del software de ingeniería SOLIDWORKS, se elabora el modelamiento gráfico de cada uno de los componentes de la grúa y posteriormente se realiza un análisis computacional, que permite validar su correcto funcionamiento.

**Palabras clave:** Grúa, Hidráulico, discapacidad, diseño, motriz, benchmarking.

## ABSTRACT

The present work proposes the design of a hydraulically operated lift and transfer for the San Pedro Claver geriatric home, where the use of a device of these characteristics has become necessary to facilitate the transfer of patients in a condition of motor disability, from their bed to the wheelchair and vice versa.

Initially, and with the objective of identifying the need, a survey of information was carried out through field work, where the type of disabilities existing in the geriatric home and the technical requirements necessary for the construction of the crane were identified, such as width of corridors, height of the rooms, distance between beds, etc which allows the correct dimensioning of each one of the components and to comply with certain technical and mechanical characteristics necessary to guarantee aspects of safety, transport and ergonomics that are adaptable to the current conditions of the place.

To properly understand the operation of these devices, we proceed to document the state of the art and through the benchmarking methodology, we take as a reference some models of cranes already on the market in order to obtain a reliable, safe and quality design, which contributes to improving the living conditions of these people.

Once the need has been identified and after studying the state of the art, the design is made, taking into account aspects of safety, functionality, easy maintenance, aesthetics and quality, which guarantee comfortable and safe conditions when moving the elderly.

Finally, using the SOLIDWORKS engineering software, the graphic modeling of each of the crane's components is elaborated and later a computer analysis is made, which allows the validation of its correct operation.

**Keywords:** Crane, Hydraulic, disability, design, drive, benchmarking.

# CONTENIDO

1. ASPECTOS INICIALES DEL PROYECTO .....	1
1.1 Planteamiento del problema .....	1
1.2 Justificación .....	2
1.3 Alcance.....	2
1.4 Objetivos .....	3
1.4.1 Objetivo general .....	3
1.4.2 Objetivos específicos.....	3
1.5 Estado del arte .....	3
1.5.1 Discapacidad motriz .....	3
1.5.2 Tipos de discapacidad .....	5
1.5.3 Tipos de grúas.....	6
1.5.4 Arnés .....	8
1.6 Componentes principales de una grúa móvil.....	9
1.6.1 Actuador hidráulico .....	10
1.6.2 Brazo .....	10
1.6.3 Mástil .....	11
1.6.4 Base .....	12
1.6.5 Patas .....	12
1.6.6 Percha .....	13
1.7 Modelos comerciales de grúas móviles con presencia local .....	14
1.8 Características de grúas comerciales en internet.....	15
1.9 Estudio comparativo basado en el estado del arte .....	16
1.10 Rodachinas de uso industrial, clínico y hospitalario. ....	27
1.11 Tipos de perfilería.....	29
1.11.1 Perfiles laminados .....	29
1.11.2 Perfiles de alas inclinadas o normales americanos .....	29
1.11.3 Perfiles de alas paralelas.....	30
1.11.4 Perfiles conformados en frío.....	30
1.11.5 Perfiles soldados .....	31
1.11.6 Perfiles electro soldados .....	31
1.11.7 Perfiles tubulares con costura .....	31
1.11.8 Perfiles tubulares sin costura.....	32

1.12	Normas de acero para secciones estructurales huecas (Hollow Structural Section).....	32
1.12.1	ASTM A500 .....	32
1.12.2	ASTM A501 .....	34
1.12.3	ASTM A53 .....	34
1.13	Metodología.....	36
2	MARCO TEORICO Y CONCEPTUAL.....	39
2.1	Análisis del elemento finito .....	39
2.3	Teorías de falla para materiales dúctiles .....	39
2.3.1	Teoría de la energía de distorsión (criterio de von Mises).....	40
2.4	Esfuerzo debido a flexión .....	41
3	DISEÑO CONCEPTUAL DE LA GRÚA .....	45
3.1	Enunciado básico del problema .....	45
3.2	Funciones, requisitos de diseño y criterios de selección para la grúa móvil. 45	
3.2.1	Funciones:.....	45
3.2.2	Requisitos de diseño: .....	45
3.2.3	Criterios de selección: .....	46
3.3	Selección del método básico de diseño: .....	46
3.4	Diseño conceptual de la grúa .....	46
3.5	Cotas importantes y de referencia.....	47
3.6	Selección del diseño conceptual para la base.....	50
3.6.1	Decisión de diseño para la base.....	52
3.7	Selección del diseño conceptual para el mástil .....	54
3.7.1	Decisión de diseño para el mástil .....	56
3.8	Selección del diseño conceptual para el brazo .....	57
3.8.1	Decisión de diseño para el tipo de brazo.....	59
3.9	Selección del diseño conceptual para la percha .....	60
3.9.1	Decisión de diseño para el tipo percha.....	62
3.10	Características de un actuador hidráulico .....	63
3.11	Sistema de apertura para la base.....	63
4	DISEÑO PRELIMINAR DE LA GRUA .....	64
4.1	Requerimientos de diseño.....	64
4.1.1	Adulto con el peso mayor .....	64
4.1.2	Altura mínima de las puertas .....	64
4.1.3	Ancho mínimo de las puertas .....	65

4.1.4	Altura mínima del techo .....	65
4.1.5	Distancia mínima entre camas .....	66
4.1.5	Altura mínima de las camas .....	66
4.1.6	Ancho de los pasillos .....	67
4.1.7	Altura de los arcos presentes en los pasillos .....	67
4.1.8	Tipo de piso .....	68
4.1.9	Movilización de la grúa entre pisos .....	68
4.2	Dimensionamiento de la grúa .....	69
4.3	Aspectos normativos generales .....	74
5	DISEÑO DE DETALLE .....	75
5.1	Análisis estático de la estructura .....	75
5.1.1	Cálculo de la situación más crítica. ....	75
5.1.2	Análisis de fuerzas .....	78
5.1.3.	Valores de deflexión para cada uno de los miembros .....	91
5.1.4	Dimensionamiento de los pasadores .....	97
5.2	Selección de los componentes normalizados de la grúa .....	104
5.2.1	Selección del actuador .....	104
5.2.2	Selección de las rodachinas .....	104
5.2.3	Selección del arnés .....	105
5.2.4	Selección de la percha .....	105
5.2.5	Selección de los tornillos .....	106
5.3	Análisis estático de los componentes no normalizados de la grúa en SolidWorks. ....	107
5.3.1	Análisis estático de los componentes de la grúa .....	109
6.	CONCLUSIONES .....	115
7.	RECOMENDACIONES .....	117
8.	BIBLIOGRAFÍA .....	118
	ANEXOS .....	121

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Gráfico de Personas con discapacidad según la alteración que más le afecta en Colombia [9].....	5
<b>Figura 2.</b> Grúa de techo.....	6
<b>Figura 3.</b> Grúa de bañera empotrada al piso. ....	7
<b>Figura 4.</b> Grúa móvil para discapacitados. ....	7
<b>Figura 5.</b> Arnés de ajuste rápido FAST-FIT.....	8
<b>Figura 6.</b> Grúa móvil SOLMASTS 2&1 de sedestación [15]. ....	9
<b>Figura 7.</b> Actuador hidráulico de palanca. ....	10
<b>Figura 8.</b> El brazo de la grúa móvil. ....	11
<b>Figura 9.</b> El mástil de una grúa móvil.....	11
<b>Figura 10.</b> La base de una grúa móvil. ....	12
<b>Figura 11.</b> Las patas de una grúa móvil.....	13
<b>Figura 12.</b> La percha de una grúa móvil. ....	13
<b>Figura 13.</b> Toma de medidas.....	15
<b>Figura 14.</b> Medidas estándar de una silla de ruedas, vista isométrica.....	22
<b>Figura 15.</b> Medidas de una silla de ruedas, vista superior.....	22
<b>Figura 16.</b> Medidas de una silla de ruedas, vista lateral. ....	23
<b>Figura 17.</b> Rodachinas de uso industrial.....	28
<b>Figura 18.</b> Rodachinas de uso clínico.....	28
<b>Figura 19.</b> Rodachinas de uso hospitalario.....	29
<b>Figura 20.</b> Perfiles de alas inclinadas. ....	30
<b>Figura 21.</b> Perfiles de alas paralelas.....	30
<b>Figura 22.</b> Perfiles tipo “C” y tipo “U”. ....	31
<b>Figura 23.</b> Perfiles tubulares. ....	32
<b>Figura 24.</b> Diagrama de flujo de la metodología. ....	38
<b>Figura 25.</b> Grafica de esfuerzo vs deformación, de un material sometido a una carga. ....	40
<b>Figura 26.</b> Representación gráfica de la teoría de distorsión [26].....	41
<b>Figura 27.</b> Diseño conceptual de la grúa. ....	47
<b>Figura 28.</b> Cotas importantes y de referencia para el diseño conceptual, vista lateral.....	48
<b>Figura 29.</b> Cotas importantes de la base, vista superior. ....	49
<b>Figura 30.</b> Cotas de referencia del ancho de la base, vista superior. ....	49
<b>Figura 31.</b> Base 1 .....	50
<b>Figura 32.</b> Base 2 .....	51
<b>Figura 33.</b> Base 3 .....	51
<b>Figura 34.</b> Base 4 .....	52
<b>Figura 35.</b> Mástil recto. ....	54

<b>Figura 36.</b> Mástil con inclinación.....	55
<b>Figura 37.</b> Mástil con ligera inclinación.....	55
<b>Figura 38.</b> Brazo con disposición en ángulo.....	57
<b>Figura 39.</b> Área de trabajo según el tipo de brazo.....	58
<b>Figura 40.</b> Brazo curvo.....	58
<b>Figura 41.</b> Brazo recto.....	59
<b>Figura 42.</b> Percha 1.....	61
<b>Figura 43.</b> Percha 2.....	61
<b>Figura 44.</b> Percha 3.....	62
<b>Figura 45.</b> Puerta de menor altura de los dormitorios del hogar geriátrico San Pedro Claver.....	64
<b>Figura 46.</b> Puerta de menor ancho de los dormitorios del hogar geriátrico San Pedro Claver.....	65
<b>Figura 47.</b> Ausencia de techo como factor limitante en los módulos habitacionales donde descansan los adultos mayores.....	65
<b>Figura 48.</b> Distancia mínima entre camas.....	66
<b>Figura 49.</b> Altura mínima de las camas.....	66
<b>Figura 50.</b> Pasillo y Habitaciones de descanso de los adultos mayores.....	67
<b>Figura 51.</b> Arcos presentes en los pasillos.....	67
<b>Figura 52.</b> Tipo de piso de las instalaciones del hogar geriátrico San Pedro Claver.....	68
<b>Figura 53.</b> Ascensor presente en el hogar geriátrico.....	68
<b>Figura 54.</b> Medidas de la longitud de la base.....	70
<b>Figura 55.</b> Altura total máxima de la grúa y altura máxima de la percha.....	71
<b>Figura 56.</b> Altura mínima de la grúa y altura mínima de la percha.....	72
<b>Figura 57.</b> Ancho de la base con las patas abiertas y cerradas.....	72
<b>Figura 58.</b> Distancia entre centros.....	73
<b>Figura 59.</b> Diseño preliminar propuesto para la grúa.....	73
<b>Figura 60.</b> Actuador hidráulico, dimensiones y medida de la carrera.....	76
<b>Figura 61.</b> Diagrama de cuerpo libre en 3D, vista isométrica.....	76
<b>Figura 62.</b> Diagrama de cuerpo libre, vista superior.....	77
<b>Figura 63.</b> Diagrama de cuerpo libre, vista frontal.....	77
<b>Figura 64.</b> Diagrama de cuerpo libre, vista lateral.....	78
<b>Figura 65.</b> Área de trabajo del paciente y del actuador.....	80
<b>Figura 66.</b> Diagrama de cuerpo libre del brazo en la posición más elevada.....	80
<b>Figura 67.</b> Punto de ubicación del actuador.....	81
<b>Figura 68.</b> Diagrama de fuerza cortante y momento flector.....	82
<b>Figura 69.</b> Selección de perfil y módulo de sección requerido para el brazo.....	84
<b>Figura 70.</b> Diagrama de cuerpo libre del mástil.....	85
<b>Figura 71.</b> Diagrama de cuerpo libre de la base, vista frontal.....	86
<b>Figura 72.</b> Diagrama de fuerza cortante y momento flector de la base.....	87

<b>Figura 73.</b> Selección de perfil y módulo de sección requerido para la base del mástil.....	88
<b>Figura 74.</b> Diagrama de cuerpo libre de las patas, vista lateral .....	89
<b>Figura 75.</b> Diagrama de fuerza cortante y momento flector de las patas.....	90
<b>Figura 76.</b> Selección de perfil y módulo de sección requerido para las patas. ....	91
<b>Figura 77.</b> Diagrama de corte en C para el brazo.....	92
<b>Figura 78.</b> Esquema simplificado de la base del mástil. ....	95
<b>Figura 79.</b> Pasadores del brazo.....	98
<b>Figura 80.</b> Diagrama de cuerpo libre del pasador A. ....	99
<b>Figura 81.</b> Diagrama de cuerpo libre del pasador B. ....	100
<b>Figura 82.</b> Diagrama de cuerpo libre del pasador C. ....	101
<b>Figura 83.</b> Pasador del base.....	102
<b>Figura 84.</b> Diagrama de cuerpo libre del pasador D. ....	103
<b>Figura 85.</b> Ficha técnica de las ruedas Isma. ....	104
<b>Figura 86.</b> Arnés universal con reposacabezas.....	105
<b>Figura 87.</b> Percha universal.....	106
<b>Figura 88.</b> Tensión de von Mises.....	107
<b>Figura 89.</b> Desplazamiento.....	108
<b>Figura 90.</b> Factor de seguridad.....	108
<b>Figura 91.</b> Tensión de von Mises del brazo .....	109
<b>Figura 92.</b> Desplazamiento del brazo .....	110
<b>Figura 93.</b> Tensión de von Mises de la Base del Mástil.....	111
<b>Figura 94.</b> Desplazamiento de la base del mástil .....	112
<b>Figura 95.</b> Tensión de von Mises de las patas .....	113
<b>Figura 96.</b> Desplazamiento de las patas.....	113

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Catálogos representativos de grúas comerciales.....	14
<b>Tabla 2.</b> Especificaciones técnicas de grúas comerciales. ....	14
<b>Tabla 3.</b> Clasificación de acuerdo con su capacidad máxima de carga .....	17
<b>Tabla 4.</b> Clasificación de las grúas de acuerdo con su longitud total. ....	18
<b>Tabla 5.</b> Clasificación de las grúas de acuerdo con su altura. ....	19
<b>Tabla 6.</b> Clasificación de las grúas de acuerdo con la altura máxima y mínima de la percha.....	20
<b>Tabla 7.</b> Clasificación de acuerdo al tipo de base.....	20
<b>Tabla 8.</b> Clasificación de las grúas de acuerdo con el ancho de la base.....	21
<b>Tabla 9.</b> Clasificación de acuerdo al tipo de sistema de apertura de las patas.....	23
<b>Tabla 10.</b> Clasificación de las grúas con base en el tipo accionamiento del actuador.....	24
<b>Tabla 11.</b> Clasificación de las grúas de acuerdo con su peso.....	24
<b>Tabla 12.</b> Clasificación de acuerdo con el tipo de material usado en su fabricación.....	25
<b>Tabla 13.</b> Clasificación de acuerdo a la gama o calidad.....	25
<b>Tabla 14.</b> Clasificación de las grúas con base en el tipo de perfilera.....	26
<b>Tabla 15.</b> Composición química del acero ASTM A500.....	33
<b>Tabla 16.</b> Propiedades en tensión para perfilera redonda según la norma ASTM A500.....	33
<b>Tabla 17.</b> Propiedades en tensión para perfilera de formas, según la norma ASTM A500.....	34
<b>Tabla 18.</b> ASTM A53 Composición química y propiedades mecánicas.....	35
<b>Tabla 19.</b> Propiedades mecánicas de los aceros según la ASTM.....	36
<b>Tabla 20.</b> Matriz de decisión para la base.....	53
<b>Tabla 21.</b> Matriz de decisión para el mástil.....	56
<b>Tabla 22.</b> Matriz de decisión para el brazo.....	60
<b>Tabla 23.</b> Matriz de decisión para la percha.....	63
<b>Tabla 24.</b> Dimensiones del ascensor.....	69
<b>Tabla 25.</b> Requerimientos de diseño del hogar geriátrico San Pedro Claver.....	69
<b>Tabla 26.</b> Promedios y desviación estándar de las especificaciones técnicas de las grúas comerciales analizadas en el estado del arte.....	70
<b>Tabla 27.</b> Longitud de los parámetros de la grúa.....	78

## LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

Símbolo	Termino	Unidad SI	Definición
$\sigma_y$	Esfuerzo de fluencia del material	Pa	Ecuación 1
$\sigma_{perm}$	Esfuerzo permisible	Pa	Ecuación 1
$N$	Factor de seguridad		Ecuación 1
$M$	Momento de flexión	N	Ecuación 2
$c$	Distancia del eje neutro a la fibra más alejada	m	Ecuación 2
$I$	Momento de inercia	N · m	Ecuación 2
$\sigma$	Esfuerzo de flexión	Pa	Ecuación 2
$E$	Módulo de elasticidad	Pa	Ecuación 3
$EI$	Rigidez en vigas	Pa · m <sup>4</sup>	Ecuación 3
$x$	Posición de la viga	m	Ecuación 3
$y$	Deflexión de la viga	m	Ecuación 3
$V$	Fuerza cortante	N	Ecuación 7
$C$	Constante de integración		Ecuación 7
$W$	Carga máxima	N	Figura 61
$R_A$	Reacción en el punto A	N	Ecuación 11

$R_C$	Reacción en el punto C	N	Ecuación 12
$FA_y$	Descomposición de fuerza del actuador, eje y	N	Figura 66
$FA_x$	Descomposición de fuerza del actuador, eje x	N	Figura 66
$F_A$	Fuerza resultante del actuador	N	Ecuación 13
$Fb_y$	Fuerza de Reacción en el punto b, eje y	N	Figura 66
$Fb_x$	Fuerza de Reacción en el punto b, eje x	N	Figura 66
$A$	Área transversal	m <sup>2</sup>	Ecuación 16
$M_{max}$	Momento flector máximo	N · m	Ecuación 18
$S$	Módulo de sección	cm <sup>3</sup>	Ecuación 18
$Fm_x$	Fuerza de Reacción en el punto m, eje x	N	Figura 66
$Fm_y$	Fuerza de Reacción en el punto m, eje y	N	Figura 66
$Fp_1$	Fuerza de reacción 1 en la base central	N	Figura 71
$Fp_2$	Fuerza de reacción 2 en la base central	N	Figura 71
$Fp1C$	Fuerza en la pata 1 en el punto C	N	Figura 74
$Fp1A$	Fuerza en la pata 1 en el punto A	N	Figura 74
$t$	Espesor de las platinas	m	Ecuación 25
$D_r$	Diámetro requerido	m	Ecuación 25

$\tau_{perm}$	Esfuerzo cortante permisible	Pa	Ecuación 25
$P$	Carga, fuerza o reacción	N	Ecuación 25
$A_r$	Área requerida	mm <sup>2</sup>	Ecuación 26

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad en Colombia existen 2'624.898 personas con discapacidad registradas según datos del DANE [1], entre ellas se tienen adultos mayores con movilidad reducida que dependen de otras personas o de dispositivos para poder transportarse a diferentes lugares. En la ciudad de Bogotá existe alrededor de 300 hogares geriátricos y/o fundaciones especializadas en brindar cuidados particulares a los adultos mayores, entre los que se encuentra el hogar geriátrico San Pedro Claver, que actualmente atiende a 205 adultos mayores de los cuales 120 son hombres y 85 son mujeres, la mayor parte de estos con un alto grado de dependencia, para lo cual esta institución cuenta con cerca de 100 personas encargadas de su salud, atención y cuidados [2].

En los hogares geriátricos especialmente en los públicos, no se cuenta con los suficientes recursos económicos y en algunos casos de infraestructura, para el adecuado cuidado del adulto mayor, lo que ocasiona problemas para su movilización dentro de las instalaciones entre otras dificultades. En los casos en los que el paciente se encuentra en condición de discapacidad motriz, el proceso de movilización, implica un mayor esfuerzo, ocasionando complicaciones tanto para el personal médico, como para el paciente en cuestión al momento de trasladarlo de su cama a la silla de ruedas.

El personal a cargo del paciente con discapacidad tiene entre sus funciones transportar al paciente, pero muchas veces la falta de conocimiento y/o fuerza hacen que este proceso sea desgastante tanto para el paciente como para la persona a cargo, debido a que para su transporte esta tiene que agacharse y cargar todo el peso del paciente y si no lo hace de forma correcta, puede sufrir lesiones y/o enfermedades en la zona lumbar. Si a esto se le agrega que este proceso lo debe hacer por lo menos dos veces al día, el riesgo de sufrir algún tipo de lesión aumenta considerablemente [3].

Para favorecer la solución a los inconvenientes antes descritos es necesario la implementación de un mecanismo o grúa móvil, con el fin de mejorar la movilidad y la seguridad de los pacientes y de las personas a cargo de los mismos. Para el desarrollo del proyecto es necesario un levantamiento de información de la fundación, el entorno en el cual se utilizará la grúa ortopédica hidráulica (medir altura mínima de las puertas, el ancho de los pasillos, altura por debajo de la cama y adulto con mayor peso, número de pisos donde se utilizará la grúa móvil y cuáles son los medios de transporte habituales etc.).

Las grúas para discapacitados tienen diferentes características de acuerdo al paciente y a su necesidad, por lo tanto, se debe indicar los requerimientos del usuario de acuerdo a las indicaciones del médico tratante, ya que en el mercado existen grúas mecánicas y grúas eléctricas. Entre los diferentes tipos de estructuras se destacan las que están ancladas, como también las de estructura libre para el traslado a diferentes lugares. Otra característica importante a destacar es que la gran mayoría de las estructuras para elevación de personas requieren de arnés o estructuras extendidas que permitan sostener un peso [4].

El presente trabajo desarrolla el diseño de una grúa de elevación y traslado de accionamiento hidráulico, con la finalidad de optimizar el transporte de los adultos mayores dentro del hogar geriátrico San Pedro Claver, además que el dispositivo sea ergonómico y eficiente.

# 1. ASPECTOS INICIALES DEL PROYECTO

## 1.1 Planteamiento del problema

En la ciudad de Bogotá existe 160.729 adultos mayores [5], algunos de estos se encuentran acogidos en diferentes fundaciones u hogares geriátricos los cuales les proporcionan los cuidados especiales que requieren.

El hogar geriátrico San Pedro Claver alberga cerca de 220 adultos mayores, el 60% de ellos necesita atención prioritaria, y la ayuda de elementos como las sillas de ruedas y de personas para su movilización; dicho hogar geriátrico tiene alrededor de 100 personas encargadas del cuidado de los adultos mayores que les brindan ayuda para la realización de actividades diarias como el traslado de la cama a la silla de ruedas, de la silla de ruedas a la ducha o el baño, del baño o ducha a la silla de ruedas y de la silla de ruedas a la cama, entre otras actividades.

Los pacientes atendidos en el hogar geriátrico San Pedro Claver sufren de discapacidades que han sido originadas por diferentes causas, entre ellas las enfermedades crónico-degenerativas, caídas, deterioro cognitivo, pérdida de la visión y audición etc. Una de las principales alteraciones en los adultos mayores es la pérdida del movimiento del cuerpo y lo que más afecta la movilidad y el traslado para realizar sus actividades cotidianas, es la discapacidad motriz en sus extremidades inferiores. En el hogar geriátrico el 80% de la comunidad de adultos mayores allí presente, sufre de algún tipo de discapacidad y el 30% corresponde a personas con movilidad reducida en sus extremidades inferiores.

Es por esta razón que los adultos mayores en condición de discapacidad necesitan atención prioritaria y un sencillo proceso de transporte para sus actividades diarias. Las actividades de transporte de los pacientes inician en las mañanas cuando deben llevarlos desde la cama a la silla de ruedas, entre otras actividades están: llevarlos al baño, cambiarles el pañal, el aseo diario y cuando llega la noche deben regresar a sus lugares de descanso; todo lo mencionado acarrea riesgos altísimos de accidentes muchas veces la falta de habilidad y/o fuerza hacen que esta labor sea desgastante, debido a que, inicialmente se les debe trasladar de su cama a la silla de ruedas, en donde la persona que asiste al paciente debe agacharse y cargar todo el peso con sus brazos aumentando así el riesgo de lesiones en zonas específicas tales como espalda, brazos y hombros.

## **1.2 Justificación**

Para dar solución al problema planteado anteriormente, es necesario el diseño de una grúa de elevación y traslado eficiente y de bajo costo, de tal manera que pueda ser donada al hogar geriátrico, y que contribuya en los procesos de movilización de estos pacientes de una manera cómoda y segura.

El diseño se realiza a partir de modelos de grúas ya existentes, haciendo un levantamiento de información para su posterior análisis, con lo que se pretende adquirir los conocimientos básicos en cuanto a funcionalidad y proporcionalidad de las mismas, lo que permitirá la obtención de un diseño confiable, seguro y de buena calidad.

Este proyecto de carácter social, busca beneficiar de forma positiva a la comunidad de adultos mayores con problemas de motricidad y previene futuras lesiones tanto para el paciente como para el personal encargado, permitiendo el mejoramiento de su entorno al propiciar mejores condiciones de vida y de igual manera, favorecer al personal médico encargado de las maniobras de traslado haciendo más fácil su labor.

Dentro del avance tecnológico esta grúa móvil genera un desarrollo local que contribuye con el cambio de la matriz productiva al disminuir importaciones y posibilitando la creación de una empresa generadora de empleo.

El diseño propuesto permitirá que adultos mayores o personas con discapacidad motriz de bajos recursos pueda adquirir la grúa móvil de alta calidad y a bajo costo.

## **1.3 Alcance**

El proyecto se realiza para facilitar el transporte de adultos mayores, evitar lesiones en el personal encargado de los pacientes y generar un mejor desempeño de las personas frente a ciertas actividades de la vida diaria dentro del hogar geriátrico San Pedro Claver; razón por la cual es importante la construcción e implementación de una grúa móvil que se adapte con facilidad a las condiciones de la edificación, que sea capaz de soportar diferentes cargas provenientes del peso de los adultos mayores, que cumpla con los requisitos de seguridad para su transporte, que sea ergonómica y de fácil funcionamiento.

La grúa móvil consta de varios elementos que la componen, en este proyecto los elementos que no se diseñan son: el actuador hidráulico y el arnés, estos se toman de los ya existentes en el mercado buscando que sean funcionales, de fácil manejo y de bajo costo.

La grúa móvil será usada en personas con discapacidad motriz con un peso máximo de 105 Kg y una altura 1,65 metros, que es la altura promedio de los adultos mayores de este lugar. La grúa móvil está en la capacidad de desplazarse de un

lugar a otro en un plano horizontal de superficie lisa y uniforme, por medio de tracción humana. La grúa móvil será operada por medio de un adulto acompañante, el cual asistirá al usuario en la operación de transferencia.

La grúa móvil realizara un accionamiento hidráulico por medio de un actuador, para la elevación y descenso del adulto mayor.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo general**

- Diseñar una grúa de elevación y traslado de accionamiento hidráulico con capacidad máxima de 135 kg, para adultos mayores en condición de discapacidad motriz en sus extremidades inferiores, pertenecientes al hogar geriátrico San Pedro Claver en la ciudad de Bogotá.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Diseñar los componentes no normalizados de la grúa.
- Seleccionar los componentes normalizados de la grúa.
- Elaborar un análisis computacional estático de la estructura del mecanismo con ayuda del software SolidWorks.
- Elaborar el modelamiento grafico en SolidWorks de los elementos mecánicos de la grúa.
- Seleccionar el mecanismo de accionamiento hidráulico.
- Elaborar la documentación que soporta el diseño de la grúa.

## **1.5 Estado del arte**

Para el desarrollo del mecanismo es necesario realizar un estudio del arte de los dispositivos de transporte, tipos de discapacidad y requerimientos de diseño del lugar donde se implementará la grúa móvil, esto nos permite conocer las condiciones de los pacientes y con ello caracterizar las necesidades requeridas para su transporte.

Además, se hace referencia a los mecanismos de transporte para personas disponibles en el mercado, incluyendo los diferentes tipos de accesorios que forman parte de estos dispositivos que ayudan a la movilidad.

### **1.5.1 Discapacidad motriz**

La discapacidad motriz produce una reducción de la movilidad de algunos o todos los miembros del cuerpo, la cual dificulta la realización de actividades cotidianas.

Este tipo de discapacidad genera diferentes alteraciones al cuerpo los cuales son: movimientos que no se pueden controlar, dificultad de coordinación, alcance limitado, habla no inteligible, dificultad de la motricidad fina y/o gruesa [6].

### 1.5.1.1 Causas

Algunos de los factores que producen la discapacidad motriz, pueden mencionarse los infecciosos (poliomielitis), los virales (síndrome de Guillan Barré), los reumáticos (accidentes cerebro vasculares y artritis reumatoide), los neurológicos (malformación arteriovenosa en medula o cerebro, parálisis cerebral, los musculares (distrofias) y los que guardan relación con los traumáticos (amputaciones, lesiones medulares y traumatismo craneo encefálico) [7].

### 1.5.1.2 Características

Las personas con discapacidad motriz, tiene varias dificultades para realizar sus actividades cotidianas debido a las limitaciones que existen en cuanto a la correcta infraestructura de los lugares (puertas demasiado pequeñas, escalones muy altos, ausencia de rampas para movilizarse, entre otras). La falta de acceso que presentan los espacios públicos y en general todo tipo de espacios hacen que la vida de las personas con movilidad reducida sea bastante complicada [7].

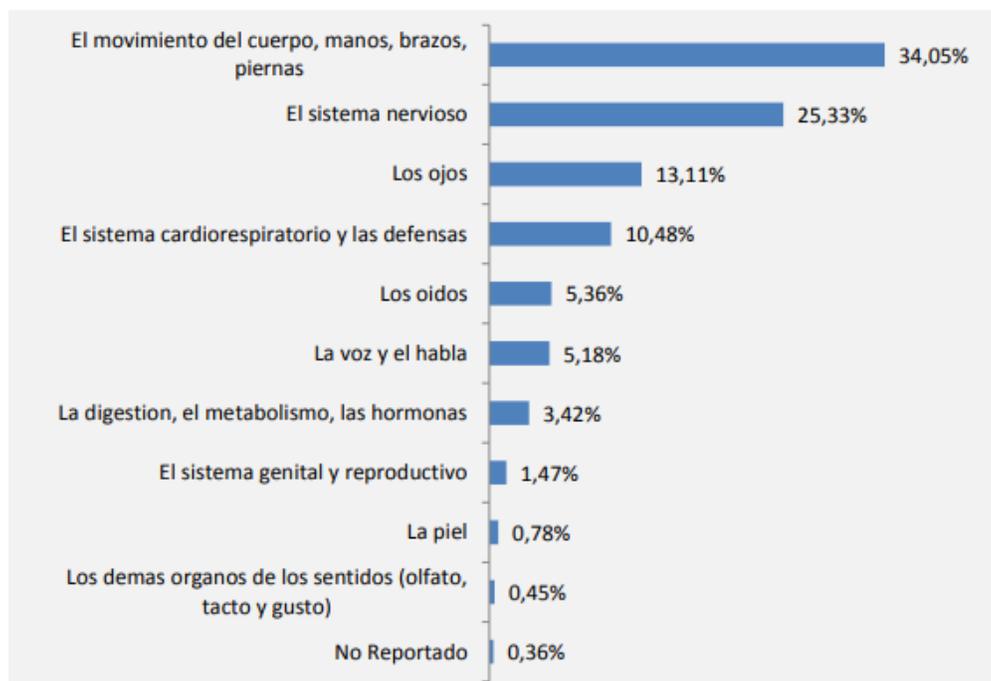
Existen dos formas de clasificar a las personas con discapacidad motriz, una de ellas se refiere al estado de discapacidad [8].

- **Total:** Cuando la reducción de la capacidad funcional del individuo es tan importante que lo hace dependiente de otras personas.
- **Moderada:** Cuando la reducción de la capacidad funcional del individuo limita parcialmente su independencia en las actividades de la vida diaria y su productividad.
- **Mínima:** Cuando la reducción de la capacidad funcional del individuo limita parcialmente su independencia en las actividades de la vida diaria y no su productividad.

También se pueden clasificar de acuerdo con su duración:

- **Permanentes:** Son las personas que viven con la discapacidad desde el inicio hasta su fallecimiento.
- **Temporales:** La persona vive con la discapacidad por un tiempo restringido, mediante revisión y medicación la persona puede regresar al estado previo de la discapacidad sin dejar secuelas.

**Figura 1.** Gráfico de Personas con discapacidad según la alteración que más le afecta en Colombia [9].



Fuente: [minsalud.gov.co](https://www.minsalud.gov.co), «Datos sobre la discapacidad en Colombia,» Junio 2018. [En línea]. Available: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/PS/sala-situacional-discapacidad-junio-2018.pdf>. [Último acceso: 25 septiembre 2019].

### 1.5.2 Tipos de discapacidad

- **Motriz:** Se refiere a la pérdida o limitación de una persona para moverse, caminar, mantener algunas posturas de todo el cuerpo o de una parte del mismo. Constituye una alteración de la capacidad del movimiento.
- **Visual:** incluye la pérdida total de la vista, así como la dificultad para ver con uno o ambos ojos.
- **Mental:** Abarca las limitaciones para el aprendizaje de nuevas habilidades, alteración de la conciencia y capacidad de las personas para conducirse o comportarse en las actividades de la vida diaria, así como en su relación con otras personas.
- **Auditiva:** Corresponde a la pérdida o limitación de la capacidad para escuchar.
- **Del lenguaje:** Limitación y problemas para hablar o transmitir un significado entendible.

De acuerdo con lo anterior, existen diferentes tipos de discapacidad, pero el aspecto que atiende este proyecto es la discapacidad motriz, la cual es la que más afecta el movimiento del cuerpo. Según el ministerio de salud (Figura 2), en Colombia el 34%

de las personas refirieron que la alteración que más le afecta es el movimiento del cuerpo, mientras que el 25% refirió al sistema nervioso, y el 13% los ojos.

Por lo tanto, las grúas ayudan en la movilidad de las personas que sufren este tipo de discapacidad, lo que les facilita a los cuidadores o enfermeros el traslado de los pacientes para que realicen sus actividades cotidianas.

Como primera aproximación en la movilización de pacientes o adultos mayores que tienen dificultades para su traslado por sus propios medios de una cama a una silla de ruedas o viceversa existen las siguientes alternativas:

### 1.5.3 Tipos de grúas

- **Grúas de techo** opción A
- **Grúa fija** opción B
- **Grúa móvil o grúa con ruedas** opción C

#### 1.5.3.1 Grúa de techo

Las grúas de techo son dispositivos que cuentan con rieles que sirven de guía y que definen la trayectoria de esta dentro de las instalaciones, son grúas que cuentan con un mecanismo de elevación y descenso de la persona y con otro de desplazamiento a través de la estructura. Los rieles son colocados en el techo y estos deben soportar el peso del paciente en donde el recorrido está limitado según los requerimientos del lugar [10].

**Figura 2.** Grúa de techo.



Fuente: hill-rom.es, «Elevador de techo,» [En línea]. Available: [www.liko.com](http://www.liko.com). [Último acceso: 27 Septiembre 2019].

### 1.5.3.2 Grúa fija

Son grúas empotradas al suelo o a la pared mediante un soporte, ocupan poco espacio y pesan poco. Su uso está limitado a realizar determinado tipo de transferencias, solo en un lugar específico, las más frecuentes de este tipo de grúas son las utilizadas en piscinas o en baños como se muestra en la figura 3 [11].

**Figura 3.** Grúa de bañera empotrada al piso.



Fuente: S. M. S.L, «Grúas de traslado,» SUNLIFT, 2008. [En línea]. Available: <https://www.ortopediaplaza.com/wp-content/uploads/2017/08/ARNESES-GRUAS.pdf>. [Último acceso: 28 Septiembre 2019].

### 1.5.3.3 Grúa móvil

En cada extremo de la base disponen de ruedas, lo que permite trasladarlas en cualquier sitio donde haya espacio suficiente para maniobrar. Algunas son plegables y desmontables lo cual facilita su almacenamiento y transporte. El brazo no puede girar respecto de la base, por motivos de estabilidad, por lo tanto, es necesario desplazar la grúa para realizar la transferencia [12].

**Figura 4.** Grúa móvil para discapacitados.



Fuente: interferenciales.mx, «Grúa móvil,» [En línea]. Available: <https://interferenciales.com.mx/products/grua-movil-1641>. [Último acceso: 28 Septiembre 2019].

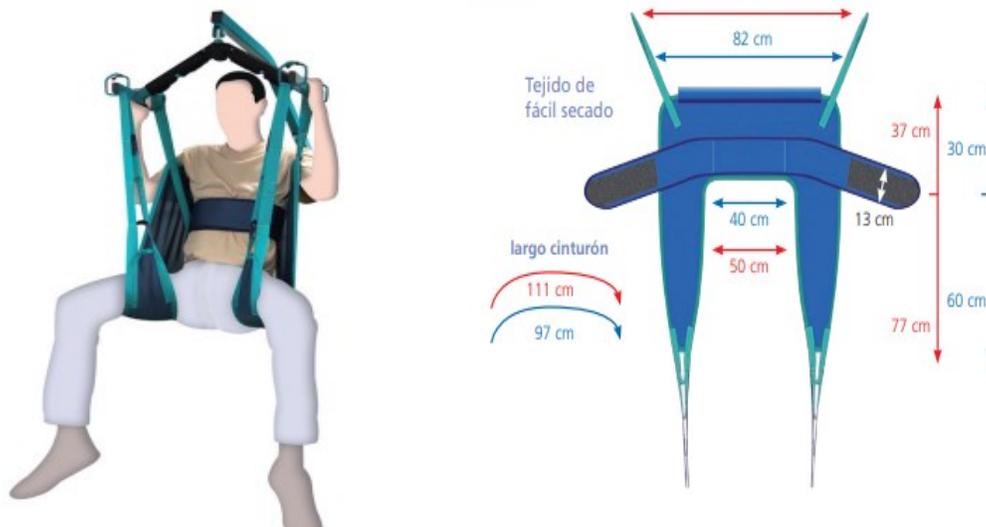
La elevación del paciente en este tipo de grúas comerciales se realiza a través de un actuador lineal hidráulico, el rango de altura permite elevar desde el piso hasta superficies altas, según el estado de discapacidad, se utiliza un arnés específico, la base proporciona estabilidad a la estructura. El arnés o colgante ergonómico se sujeta a múltiples puntos de sujeción para mayor seguridad y comodidad [13].

El elemento de seguridad inherente a todos los tipos de grúa anteriormente mencionados y por ende es uno de los más importantes, corresponde al arnés, el cual se ajusta al tronco y las piernas del paciente como se describe a continuación.

#### 1.5.4 Arnés

El arnés es un elemento de seguridad que protege la integridad física de las personas que lo usan. este elemento se encarga de distribuir uniformemente las fuerzas necesarias para realizar la elevación de las personas en los procesos de traslado de un lugar a otro; su utilidad radica en las partes de anclaje que este posee a nivel del dorso y a los costados de las caderas lo que permite que la movilización de las personas sea mucho más cómoda y sin dolor. [14].

**Figura 5.** Arnés de ajuste rápido FAST-FIT.



Fuente: E. a. dinamicas, «GRUAS Y ARNESES,» [En línea]. Available: <http://edadespalencia.es/wp-content/uploads/2017/01/gruasarneses.pdf>. [Último acceso: 29 Septiembre 2019].

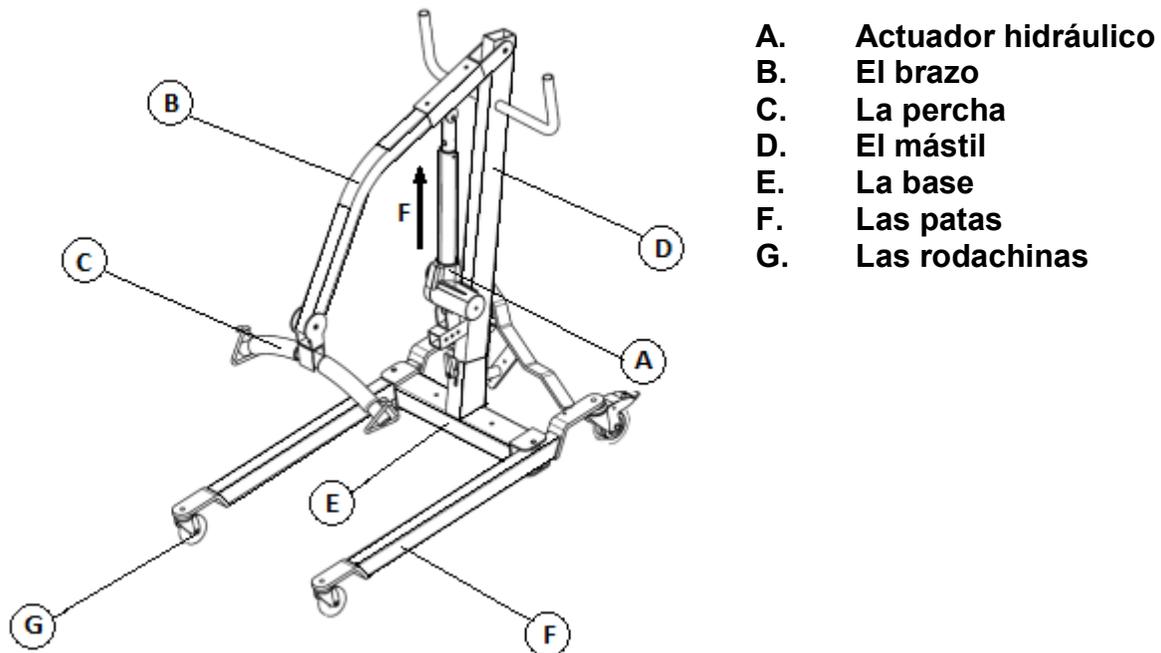
De acuerdo con las alternativas de las grúas anteriormente mostradas, las opciones A y B no son apropiadas para su utilización en el hogar geriátrico ya que se necesita de una grúa móvil que pueda ser maniobrada por: dormitorios, puertas, pasillos y baños.

Dentro de los requerimientos del Hogar Geriátrico San Pedro Claver específicamente tiene la necesidad del tipo de grúa opción C, ya que esta dispone de una base con ruedas, lo que permite usarla fácilmente en cualquier sitio donde haya espacio suficiente para maniobrar.

A continuación, se describe brevemente la composición de una grúa móvil.

### 1.6 Componentes principales de una grúa móvil

**Figura 6.** Grúa móvil SOLMASTS 2&1 de sedestación [15].



Fuente: o. -. M. d. usuario, «Grúa de bipedestación GB-20,» 2014. [En línea]. Available: <https://www.ortoweb.com/media/useruploads/files/manual-usuario-grua-de-bipedestacion-plegable-gb-20-con-arnes.pdf>. [Último acceso: 20 Septiembre 2019].

En este tipo de grúa tenemos un actuador hidráulico que se encuentra sujeto a el mástil mediante pasadores y cuyo pistón ejerce una fuerza F al brazo (Figura 6). Este brazo, que en un extremo se conecta al mástil con un pasador, conecta a su vez con la pecha que se eleva o desciende de forma siempre vertical. El mástil está anclado a la base la cual alberga un mecanismo que permite abrir y cerrar las patas, dichas patas disponen de cuatro rodachinas en sus extremos, de las cuales las dos ruedas traseras disponen de freno.

### 1.6.1 Actuador hidráulico

Los cilindros hidráulicos son actuadores mecánicos que se utilizan para dar una fuerza a través de un recorrido lineal, estos obtienen la energía de un fluido hidráulico presurizado generalmente aceite, y consiste básicamente de tres piezas: un cilindro y un pistón conectado a un vástago. El cilindro está cerrado por los dos extremos, en uno está el fondo, y el otro, la cabeza por donde se introduce el pistón, que tiene una perforación por donde sale el vástago. El pistón divide el interior del cilindro en dos cámaras: la cámara inferior y la cámara del vástago. La presión hidráulica actúa en el pistón para producir el movimiento lineal [16].

El ascenso o descenso se lleva a cabo por bombeo manual utilizando una palanca o manivela (figura 7), según el modelo.

**Figura 7.** Actuador hidráulico de palanca.



Fuente: hnsa.com.co, «CILINDROS HIDRÁULICOS,» 05 Febrero 2019. [En línea].  
Available: <http://www.hnsa.com.co/cilindros-hidraulicos/>.

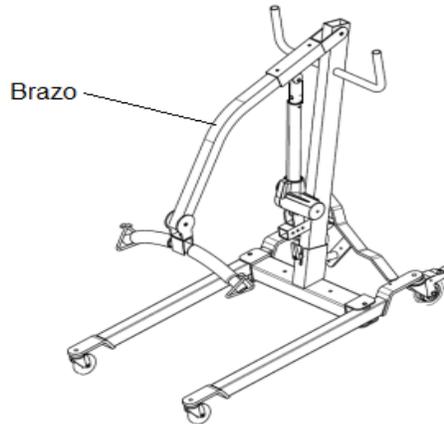
### 1.6.2 Brazo

El brazo es la pieza más importante de la grúa, ya que es la encargada de elevar la percha mediante la fuerza lineal que ejerce el actuador, se encuentra formado por un perfil de acero curvado que soporta las fuerzas del cilindro y de la persona que está siendo elevada.

La unión entre el brazo y la percha se realiza mediante un pasador, permitiéndole a la percha mantenerse siempre en posición vertical; la unión entre el brazo y el mástil se realiza con un perno para permitir el giro de este respecto al mástil; la unión entre

el brazo y el actuador se realiza mediante un pasador, y en esta unión es donde se ejerce la fuerza.

**Figura 8.** El brazo de la grúa móvil.

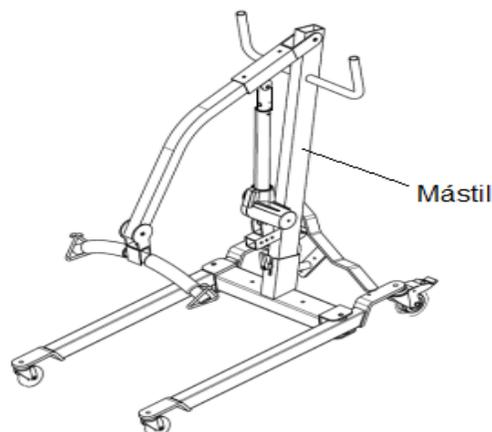


Fuente: o. -. M. d. usuario, «Grúa de bipedestación GB-20,» 2014. [En línea]. Available: <https://www.ortoweb.com/media/useruploads/files/manual-usuario-grua-de-bipedestacion-plegable-gb-20-con-arnes.pdf>. [Último acceso: 20 Septiembre 2019].

### 1.6.3 Mástil

El mástil está formado de acero de perfil rectangular y es la pieza de unión entre la el brazo y la base unidas generalmente mediante soldadura. Tiene una inclinación que permite posicionar equilibradamente al paciente de manera más ergonómica y se encuentra unido por la parte inferior del cilindro mediante pasadores.

**Figura 9.** El mástil de una grúa móvil.

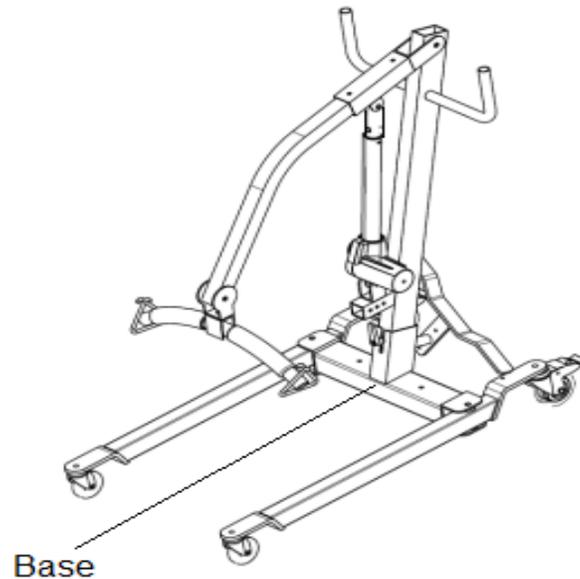


Fuente: o. -. M. d. usuario, «Grúa de bipedestación GB-20,» 2014. [En línea]. Available: <https://www.ortoweb.com/media/useruploads/files/manual-usuario-grua-de-bipedestacion-plegable-gb-20-con-arnes.pdf>. [Último acceso: 20 Septiembre 2019].

#### 1.6.4 Base

La base está formada de acero de perfil rectangular. Es la pieza de unión entre el mástil y las patas y en ella se localiza el mecanismo de abrir y cerrar las patas. Para permitir la movilidad, cada una de estas se encuentran unidas mediante un perno que les permite girar.

**Figura 10.** La base de una grúa móvil.

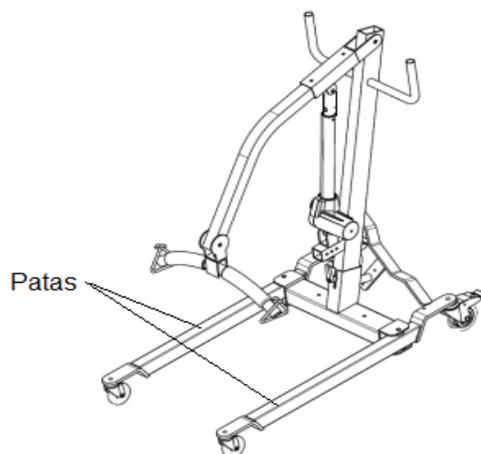


Fuente: o. -. M. d. usuario, «Grúa de bipedestación GB-20,» 2014. [En línea]. Available: <https://www.ortoweb.com/media/useruploads/files/manual-usuario-grua-de-bipedestacion-plegable-gb-20-con-arnes.pdf>. [Último acceso: 20 Septiembre 2019].

#### 1.6.5 Patas

Las patas proporcionan estabilidad al conjunto. Están formadas por perfiles rectangulares de acero. Pueden girar respecto a su eje proporcionando estabilidad, además gracias a las rodachinas situadas a los extremos, la estructura puede trasladarse.

**Figura 11.** Las patas de una grúa móvil.

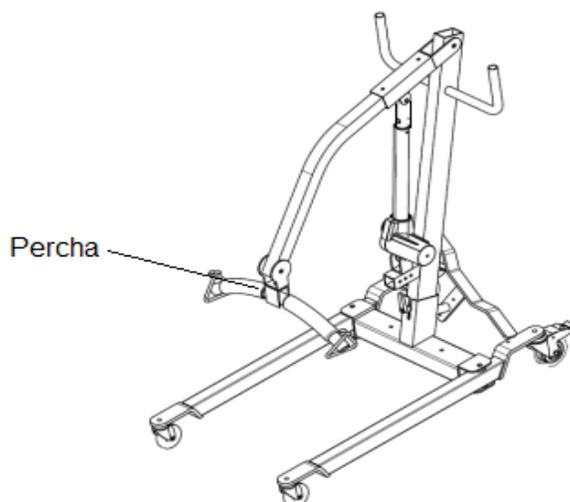


Fuente: o. -. M. d. usuario, «Grúa de bipedestación GB-20,» 2014. [En línea]. Available: <https://www.ortoweb.com/media/useruploads/files/manual-usuario-grua-de-bipedestacion-plegable-gb-20-con-arnes.pdf>. [Último acceso: 20 Septiembre 2019].

### 1.6.6 Percha

Elemento de acero que se une al brazo mediante pasador, permitiéndole posicionarse siempre verticalmente. Costa de dos ganchos en los extremos donde ha de colocarse el arnés. Soporta los y esfuerzos de tensión producidos por el peso del paciente.

**Figura 12.** La percha de una grúa móvil.



Fuente: o. -. M. d. usuario, «Grúa de bipedestación GB-20,» 2014. [En línea]. Available: <https://www.ortoweb.com/media/useruploads/files/manual-usuario-grua-de-bipedestacion-plegable-gb-20-con-arnes.pdf>. [Último acceso: 20 Septiembre 2019].

## 1.7 Modelos comerciales de grúas móviles con presencia local

Con base en los modelos de grúas móviles consultados para la realización de este proyecto, se crea la tabla 1 que reúne 10 de los más representativos en el mercado, asignando un número a cada uno según la marca y/o referencia.

**Tabla 1.** Catálogos representativos de grúas comerciales

Clasificación	Marca/referencia
Grúa 1	Sunlift G-130-H
Grúa 2	Birdie EVO compact
Grúa 3	Wincare E130
Grúa 4	Molift Mover180
Grúa 5	Sunlift Micro E
Grúa 6	Drive Medical
Grúa 7	Maxi 500
Grúa 8	Medline
Grúa 9	Lumex
Grúa 10	Blue Flyer

Fuente: Autores

Se presenta a continuación en la tabla 2, un resumen del estado del arte específicamente de este tipo de grúas móviles.

**Tabla 2.** Especificaciones técnicas de grúas comerciales.

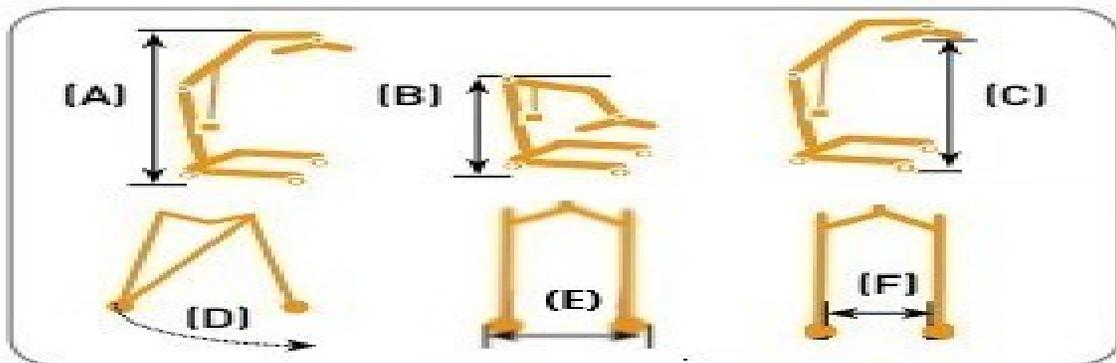
Especificaciones técnicas	Grúa 1	Grúa 2	Grúa 3	Grúa 4	Grúa 5	Grúa 6	Grúa 7	Grúa 8	Grúa 9	Grúa 10
Peso máximo del paciente (kg)	130	150	130	180	130	204	227	182	182	160
Longitud total (patas cerradas)	1050	1080	1100	n/a	970	1187	515,6	1066	n/a	1000
Altura total máxima (A)	1740	n/a	n/a	1907	1725	1854	1874	n/a	n/a	n/a
Altura total mínima (B)	1140	n/a	n/a	1275	1130	n/a	1320	n/a	n/a	n/a
Altura máxima de la percha (C)	1500	1590	1740	1630	1483	1549	1874	1854	1973	1600
Altura mínima de la percha	580	530	500	265	460	432	1196	711	696	610
Radio de giro (D)	1050	1070	n/a	1320	1130	n/a	1330	n/a	n/a	1130
Anchura externa patas cerradas (E)	640	520	700	670	545	558,8	680	n/a	n/a	880
Anchura interna patas cerradas (F)	560	n/a	n/a	555	465	n/a	550	584	650	570
Holgura sobre el suelo	30	35	n/a	70	21	165	250	135	n/a	n/a

Fuente: Autores

Para una mejor comprensión por parte del lector, se presenta la figura 13, con ilustraciones alusivas a la toma de medidas de la anterior tabla, en donde la figura (A) corresponde a la altura máxima de la grúa que equivale a la distancia comprendida entre el suelo y el brazo de la misma extendido en su totalidad; la

figura (B) representa la altura mínima la cual está dada generalmente por la altura del mástil; la Figura (C) corresponde a las alturas máximas y mínimas de que la grúa puede elevar el paciente que también es llamado rango de elevación; la figura (D) se refiere al radio de giro que describe la forma en la cual el área transversal o una distribución de masa se distribuye alrededor de su eje central; la figura (E) corresponde al el ancho cuando las patas se encuentran cerradas sin activar el mecanismo de apertura; la figura (F) se refiere a que las patas están abiertas para ser posicionadas al ancho de una silla.

**Figura 13.** Toma de medidas



Fuente: Sunlift, «Sunrisemedical,» [En línea]. Available: <https://www.sunrisemedical.es/ayudas-y-gruas/sunlift/gruas-hospitalarias>. [Último acceso: 09 09 2020].

### 1.8 Características de grúas comerciales en internet

Para realizar un estudio del estado del arte más completo, se hace una consulta de algunos modelos adicionales obtenidos de YouTube, con el objetivo de comprender su funcionamiento en detalle y poder implementar algunas de sus características en cuanto a funcionalidad.

En los videos se describen algunas características en detalle de las grúas comerciales existentes y se realiza una breve demostración de su funcionamiento, donde se ejecuta un rápido y practico ensamblaje y también se identifican las características que las diferencian de otras. Las características más importantes son las siguientes.

Con el título de búsqueda del video y referencia comercial de la grúa:

- Grúa 11 (Grúa para elevar pacientes Lumex LF1030) tiene un tipo de accionamiento hidráulico por bombeo manual de palanca y su capacidad máxima de carga es de 150 kg.
- Grúa 12 (Elevador o grúa para el traslado de pacientes, vida plena) el tipo de accionamiento es eléctrico, permite ajustar la base para adecuarse al lugar donde se va usar y mejorar la estabilidad al momento de mover al usuario.

- Grúa 13 (Nueva Grúa Hidráulica para Elevar un Paciente en 2 minutos) tiene como característica principal y común a las demás es su accionamiento hidráulico con bombeo con palanca para elevar y bajar al usuario, y posee un sistema de apertura de patas, accionado de forma manual mediante una barra.
- Grúa 14 (Grúa elevador de pacientes hidráulica) posee una percha con 6 puntos de sujeción, actuador de accionamiento hidráulico por bombeo manual con palanca y base ajustable manual con barra.
- Grúa 15 (Montaje grúa de ortopedia Powerlift 175), capacidad máxima de carga es de 175 kg, con un sistema de apertura de las patas accionado por pedal, percha con giro de 360°, recubierta de material antideslizante y actuador de accionamiento eléctrico.
- Grúa 16 (Prolift A222) capacidad de carga máxima de 220 kg, mangos de agarre ergonómicos, peso total de la grúa 45,5 kg y actuador de accionamiento eléctrico.
- Grúa 17 (Grúa eléctrica Kompass con arnés) posee una percha redonda de goma, con 6 puntos de sujeción, sistema de apertura de patas manual, arnés estándar fabricado en poliéster y actuador de accionamiento eléctrico.
- Grúa 18 (Demostración de uso de la grúa de elevación Práctica de Forta) tiene como característica que la diferencia de las demás su plegado y 6 ruedas en la base, apertura en compás de las dos patas por medio de pedal y actuador de accionamiento eléctrico.
- Grúa 19 (Molift Smart 150 in operation) la grúa presenta un diseño novedoso en su percha y barra de empuje, también es su peso con 26 kg, que la hace la más liviana del mercado, es plegable y el accionamiento de actuador es eléctrico.
- Grúa 20 (Como usar una grúa para enfermos la primera vez) actuador de accionamiento hidráulico por bombeo manual con manivela, perfil de acero de 3,8 cm y peso total de la grúa de 41 kg.

Estas 10 grúas que se encuentran en internet y se muestran en detalle en el ANEXO 7, donde se encuentra la información tabulada de las especificaciones técnicas y características más importantes.

### **1.9 Estudio comparativo basado en el estado del arte**

De acuerdo con la información tabulada referente a las especificaciones técnicas de grúas comerciales mostrada en la tabla 2, correspondiente a las grúas 1 a la 10 y en del anterior resumen de las principales características de las grúas comerciales de internet, corresponden a las fichas técnicas de la 11 a la 20, a continuación, se realiza la tabulación y el análisis correspondiente de los parámetros que caracterizan aspectos constructivos y de propiedades de grúas existentes en el mercado, dichos parámetros son los siguientes:

- Capacidad máxima de carga.
- Longitud total (largo).

- Altura máxima y mínima de la grúa.
- Altura máxima y mínima de la percha.
- Base ajustable.
- Ancho de la base (patas abiertas y patas cerradas).
- Sistema de apertura de la base (manual o pedal).
- Tipo de accionamiento del actuador.
- Peso total de la grúa.
- Material.
- Gama.
- Tipo de perfilera utilizada en la estructura.

El objetivo del presente análisis es el de identificar las características comunes presentes en la mayoría de los modelos y establecer un rango de valores que sirvan de guía para la realización de este proyecto. Para facilitar el análisis se utilizan algunas medidas de tendencia central como lo son el promedio y la desviación estándar.

El valor promedio puede o no ser representativo en función del rango de dispersión de los datos; si la desviación estándar es pequeña el valor promedio es válido, si es muy grande, el valor promedio no es aceptable.

Por lo tanto, para cada parámetro analizado que contenga datos numéricos, al final de cada tabla se calculan los valores del promedio y de desviación estándar.

**Tabla 3.** Clasificación de acuerdo con su capacidad máxima de carga

Clasificación	Capacidad máxima de carga (kg)	Clasificación	Capacidad máxima de carga (kg)
Grúa 1	130	Grúa 11	150
Grúa 2	150	Grúa 12	150
Grúa 3	130	Grúa 13	160
Grúa 4	180	Grúa 14	150
Grúa 5	130	Grúa 15	135
Grúa 6	204	Grúa 16	220
Grúa 7	227	Grúa 17	150
Grúa 8	182	Grúa 18	150
Grúa 9	182	Grúa 19	150
Grúa 10	160	Grúa 20	150
<b>Promedio (kg) :</b>	162		
<b>Desviación estandar (kg) :</b>	29		

Fuente: Autores

Según la tabla 3, la capacidad máxima de carga de las grúas móviles consultadas se encuentra entre 130 y 227 kg como valores mínimo y máximo respectivamente.

Aunque el valor de 227 kg es un valor inusual para este tipo de grúas, en ocasiones se requieren capacidades mayores para asistir a personas que sufren de obesidad. Para este caso el valor promedio de la capacidad de carga es de 162 kg, y una desviación estándar de 29 kg.

**Tabla 4.** Clasificación de las grúas de acuerdo con su longitud total.

Clasificación	Longitud (mm)	Clasificación	Longitud (mm)
Grúa 1	1100	Grúa 11	n/a
Grúa 2	1080	Grúa 12	n/a
Grúa 3	1100	Grúa 13	1100
Grúa 4	1260	Grúa 14	1100
Grúa 5	1110	Grúa 15	1060
Grúa 6	1187	Grúa 16	1200
Grúa 7	1016	Grúa 17	1265
Grúa 8	1066	Grúa 18	1200
Grúa 9	1150	Grúa 19	1200
Grúa 10	1000	Grúa 20	n/a
<b>Promedio (mm) :</b>	1129	<b>Desviación estándar (mm) :</b>	78,6

Fuente: Autores

Basado en la información encontrada, algunas grúas no presentan el dato de su longitud, por lo que se separa y analizan las que sí lo tienen.

Conforme los valores presentes en la tabla 4, el rango de longitudes de las grúas esta entre 1265 mm y 1000 mm, longitudes máximas y mínimas respectivamente en donde el valor promedio de la totalidad de los datos corresponde a 1129 mm, con una desviación estándar de 78,6 mm.

En la tabla 5 se puede observar que la mayoría de las grúas presentan una altura máxima superior a los 1500 mm y una altura mínima de 210 mm, para este caso, el valor promedio de la altura máxima y mínima 1808 mm y 865 mm respectivamente con una desviación estándar de 96 mm para la altura máxima y de 393 mm para la altura mínima.

**Tabla 5.** Clasificación de las grúas de acuerdo con su altura.

Clasificación	Altura total máxima (mm)	Altura total mínima (mm)
Grúa 1	1740	1140
Grúa 2	n/a	n/a
Grúa 3	n/a	n/a
Grúa 4	1907	1275
Grúa 5	1725	1130
Grúa 6	1854	n/a
Grúa 7	1874	1320
Grúa 8	n/a	n/a
Grúa 9	n/a	n/a
Grúa 10	n/a	n/a
Grúa 11	1830	535
Grúa 12	n/a	n/a
Grúa 13	1900	800
Grúa 14	n/a	n/a
Grúa 15	1810	n/a
Grúa 16	1865	452
Grúa 17	n/a	n/a
Grúa 18	1830	n/a
Grúa 19	1565	210
Grúa 20	1800	800
<b>Promedio<sub>máx</sub> (mm) :</b>	1808	
<b>Promedio<sub>min</sub> (mm) :</b>	851	
<b>Desviación<sub>máx</sub> (mm) :</b>	95	
<b>Desviación<sub>min</sub> (mm) :</b>	393	

Fuente: Autores

El rango de elevación a diferencia de la altura máxima y mínima de la grúa, define que tanto se eleva la percha y cuál es su valor mínimo de elevación, por lo tanto, a continuación, se presenta en una tabla los datos de alturas máximas y mínimas de la percha.

De acuerdo con la información tabulada en la tabla 6, se observa que el rango de elevación esta entre 1500 mm y 210 mm como alturas máxima y mínima respectivamente, con un promedio de altura máxima 1700 mm y altura mínima de 546 mm, y una desviación estándar de la altura máxima y mínima es de 151 mm y 186 mm para cada uno.

**Tabla 6.** Clasificación de las grúas de acuerdo con la altura máxima y mínima de la percha.

Clasificación	Altura (mm)		Clasificación	Altura (mm)	
	Máxima	Mínima		Máxima	Mínima
Grúa 1	1500	580	Grúa 11	1830	535
Grúa 2	1590	530	Grúa 12	n/a	n/a
Grúa 3	1740	500	Grúa 13	1800	800
Grúa 4	1630	265	Grúa 14	1770	740
Grúa 5	1483	460	Grúa 15	1540	330
Grúa 6	1549	432	Grúa 16	1865	452
Grúa 7	1876	624	Grúa 17	1630	800
Grúa 8	1854	711	Grúa 18	n/a	300
Grúa 9	1973	696	Grúa 19	1566	210
Grúa 10	1600	610	Grúa 20	1800	800
<b>Promedio<sub>máx</sub> (mm) :</b>	1700		<b>Desviación estándar<sub>máx</sub> (mm) :</b>	151	
<b>Promedio<sub>mín</sub> (mm) :</b>	546		<b>Desviación estándar<sub>mín</sub> (mm) :</b>	186	

Fuente: Autores

Como se puede observar en la tabla 7, la mayoría de las grúas cuentan con un sistema ajustable que les permite ampliar y reducir el ancho de la base para adaptarse a diferentes tipos de sillas de ruedas, sillones etc. También para ser maniobradas en espacios reducidos en caso de ser requerido.

**Tabla 7.** Clasificación de acuerdo al tipo de base.

Clasificación	Base ajustable	Clasificación	Base ajustable
Grúa 1	SI	Grúa 11	SI
Grúa 2	SI	Grúa 12	SI
Grúa 3	SI	Grúa 13	SI
Grúa 4	SI	Grúa 14	SI
Grúa 5	SI	Grúa 15	SI
Grúa 6	SI	Grúa 16	SI
Grúa 7	SI	Grúa 17	SI
Grúa 8	SI	Grúa 18	SI
Grúa 9	SI	Grúa 19	SI
Grúa 10	SI	Grúa 20	NO

Fuente: Autores

Debido a que casi en su totalidad las grúas móviles cuentan con un sistema de base ajustable, a continuación, se presenta información referente al ancho máximo y mínimo de la base.

**Tabla 8.** Clasificación de las grúas de acuerdo con el ancho de la base.

Clasificación	Ancho (mm)		Clasificación	Ancho (mm)	
	Patatas cerradas	Patatas abiertas		Patatas cerradas	Patatas abiertas
Grúa 1	640	920	Grúa 11	890	n/a
Grúa 2	520	815	Grúa 12	650	n/a
Grúa 3	700	800	Grúa 13	n/a	n/a
Grúa 4	670	1025	Grúa 14	585	800
Grúa 5	545	740	Grúa 15	540	840
Grúa 6	559	1073	Grúa 16	740	n/a
Grúa 7	680	950	Grúa 17	545	940
Grúa 8	n/a	724	Grúa 18	580	n/a
Grúa 9	n/a	1001	Grúa 19	660	935
Grúa 10	880	n/a	Grúa 20	n/a	n/a
<b>Promedio patas cerradas (mm) :</b>		649	<b>Desviación estándar patas cerradas (mm) :</b>		113
<b>Promedio patas abiertas (mm) :</b>		889	<b>Desviación estándar patas abiertas (mm) :</b>		111

Fuente: Autores

De acuerdo con la información de la tabla 8, el rango del ancho, cuando las patas se encuentra cerradas esta entre 520 mm y 880 mm Y el rango del ancho cuando las patas están abiertas esta entre 724 mm y 1025 mm.

El promedio del ancho cuando las patas están cerradas y abiertas es de 649 mm y 889 mm respectivamente, con una desviación estándar de 113 mm con las patas cerradas y 111 mm con las patas abiertas

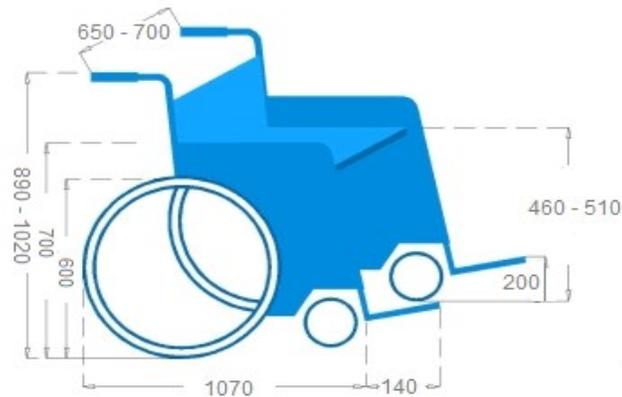
Con base en la información anterior primero se realiza una investigación de las medidas estándar de una silla de ruedas y de esta manera poder garantizar el apropiado y correcto dimensionamiento preliminar de la base que se usará en el diseño conceptual de la grúa en desarrollo.

A continuación, se presenta de forma esquemática las medidas estándar de una silla de ruedas.

- Medidas básicas de una silla de ruedas

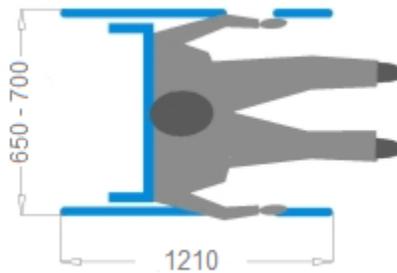
Las sillas de ruedas son dispositivos que favorecen el traslado de personas en estado de discapacidad [17]. Las medidas mostradas a continuación de la silla de ruedas son en milímetros.

**Figura 14.** Medidas estándar de una silla de ruedas, vista isométrica.



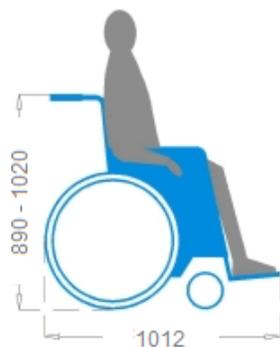
Fuente: S. Verswyvel, «Manual de una silla de ruedas estandar,» [En línea]. Available: <http://unaciudadparatodos.com/sccs/manual.php?id=1>. [Último acceso: 23 Agosto 2020].

**Figura 15.** Medidas de una silla de ruedas, vista superior.



Fuente: S. Verswyvel, «Manual de una silla de ruedas estandar,» [En línea]. Available: <http://unaciudadparatodos.com/sccs/manual.php?id=1>. [Último acceso: 23 Agosto 2020].

**Figura 16.** Medidas de una silla de ruedas, vista lateral.



Fuente: S. Verswyvel, «Manual de una silla de ruedas estandar,» [En línea]. Available: <http://unaciudadparatodos.com/sccs/manual.php?id=1>. [Último acceso: 23 Agosto 2020].

Luego de tabular los datos del ancho de la base cuando las patas están abiertas y cuando están cerradas, se obtienen los datos de promedio y desviación estándar, para luego ser comparados con las medidas convencionales de una silla de ruedas.

Como se mencionó anteriormente, la gran mayoría de grúas consultadas posee un sistema de base ajustable el cual es accionado mediante un mecanismo que tiene la función de realizar la apertura y cierre de las patas. La tabla 9 reúne los tipos de mecanismos encontrados, en donde predominan mayoritariamente los de palanca manual y los de pedal debido a que resultan prácticos y brindan mayor facilidad al momento de utilizarlos.

**Tabla 9.** Clasificación de acuerdo al tipo de sistema de apertura de las patas.

Clasificación	Tipo de sistema de apertura de las patas	Clasificación	Tipo de sistema de apertura de las patas
Grúa 1	Pedal	Grúa 11	Palanca manual
Grúa 2	Palanca manual	Grúa 12	Palanca manual
Grúa 3	Pedal	Grúa 13	Palanca manual
Grúa 4	Eléctrico	Grúa 14	Palanca manual
Grúa 5	Pedal	Grúa 15	Pedal
Grúa 6	Palanca manual	Grúa 16	Eléctrico
Grúa 7	Eléctrico	Grúa 17	Palanca manual
Grúa 8	Palanca manual	Grúa 18	Pedal
Grúa 9	Eléctrico	Grúa 19	Pedal
Grúa 10	Pedal	Grúa 20	No posee

Fuente: Autores

Con base en la información, 13 grúas presentan el tipo accionamiento eléctrico como se muestra en la tabla 10; este tipo de accionamiento es preciso, fácil control y sencilla instalación, pero tiene un elevado costo, además se debe realizar un cambio de batería periódico. Por otro lado, los actuadores hidráulicos por su relación costo – funcionalidad son ideales para personas de menores ingresos, y por su sencillo manejo y fácil mantenimiento.

**Tabla 10.** Clasificación de las grúas con base en el tipo accionamiento del actuador.

Clasificación	Tipo de accionamiento	Clasificación	Tipo de accionamiento
Grúa 1	Hidráulico	Grúa 11	Hidráulico
Grúa 2	Eléctrico	Grúa 12	Eléctrico
Grúa 3	Eléctrico	Grúa 13	Hidráulico
Grúa 4	Eléctrico	Grúa 14	Hidráulico
Grúa 5	Eléctrico	Grúa 15	Eléctrico
Grúa 6	Hidráulico	Grúa 16	Eléctrico
Grúa 7	Eléctrico	Grúa 17	Eléctrico
Grúa 8	Hidráulico	Grúa 18	Eléctrico
Grúa 9	Eléctrico	Grúa 19	Eléctrico
Grúa 10	Eléctrico	Grúa 20	Hidráulico

Fuente: Autores

Con base en la clasificación de las grúas de la tabla 11, el rango común de pesos esta entre 30 Kg y 51 Kg, la grúa 19 tiene un peso de 26 kg, según la información del ANEXO 7, esta grúa está hecha en materiales como el aluminio y plástico, a diferencia de otras que son hechas en acero lo que las hace más pesadas.

El peso total promedio de la grúa es de 37,9 Kg, y la desviación estándar es de 6,6 kg.

**Tabla 11.** Clasificación de las grúas de acuerdo con su peso.

Clasificación	Peso de la grúa (Kg)	Clasificación	Peso de la grúa (Kg)
Grúa 1	n/a	Grúa 11	40
Grúa 2	31	Grúa 12	n/a
Grúa 3	n/a	Grúa 13	41
Grúa 4	n/a	Grúa 14	n/a
Grúa 5	n/a	Grúa 15	33
Grúa 6	n/a	Grúa 16	40,5
Grúa 7	51	Grúa 17	n/a
Grúa 8	40,8	Grúa 18	39,5
Grúa 9	31	Grúa 19	26
Grúa 10	40	Grúa 20	41
<b>Promedio (kg) :</b>	37,9	<b>Desviación estándar (kg) :</b>	6,6

Fuente: Autores.

Seguidamente se presenta en la tabla 12 la clasificación de las grúas según el tipo de material usado en su fabricación.

**Tabla 12.** Clasificación de acuerdo con el tipo de material usado en su fabricación.

Clasificación	Material	Clasificación	Material
Grúa 1	Acero	Grúa 11	n/a
Grúa 2	Aluminio,plastico y acero	Grúa 12	n/a
Grúa 3	n/a	Grúa 13	Acero
Grúa 4	Aluminio, acero y plasticos	Grúa 14	Acero al carbono revestido de epoxi
Grúa 5	Aliminio y acero	Grúa 15	n/a
Grúa 6	Acero cromado	Grúa 16	Aluminio
Grúa 7	Aluminio, acero y plastico	Grúa 17	Acero
Grúa 8	Acero cromado	Grúa 18	Aluminio
Grúa 9	Acero de gran calibre	Grúa 19	Aluminio, acero y plastico
Grúa 10	Acero	Grúa 20	Acero

Fuente: Autores

El material más utilizado para la fabricación de los elementos básicos que componen las grúas móviles, corresponde al aluminio, usado principalmente con el objetivo de reducir el peso de la estructura; sin embargo, el costo elevado de este material hace que sea utilizado casi siempre en grúas de gama media o alta.

**Tabla 13.** Clasificación de acuerdo a la gama o calidad.

Clasificación	Valor comercial (2019)	Gama	Clasificación	Valor comercial (2019)	Gama
Grúa 1	\$ 5,119,873.00	Alta	Grúa 11	\$ 2,600,000.00	Media
Grúa 2	\$ 3,564,469.00	Media	Grúa 12	\$ 2,765,897.00	Media
Grúa 3	\$ 2,264,247.00	Baja	Grúa 13	\$ 2,052,249.00	Baja
Grúa 4	\$ 8,850,414.00	Alta	Grúa 14	\$ 3,790,416.00	Media
Grúa 5	\$ 5,119,873.00	Alta	Grúa 15	\$ 2,693,604.00	Media
Grúa 6	\$ 2,498,212.00	Baja	Grúa 16	\$ 13,322,202.00	Alta
Grúa 7	\$ 13,690,801.00	Alta	Grúa 17	\$ 2,572,088.00	Media
Grúa 8	\$ 2,867,475.00	Media	Grúa 18	\$ 3,604,974.00	Media
Grúa 9	\$ 9,865,693.00	Alta	Grúa 19	\$ 14,229,710.00	Alta
Grúa 10	\$ 3,422,700.00	Media	Grúa 20	\$ 1,679,553.00	Baja

Fuente: Autores

Realizando una comparativa entre los valores comerciales correspondientes al año 2019 de las grúas mencionadas, se establece una clasificación de las mismas por gamas o calidades, en donde las grúas denominadas de gama alta corresponden a aquellas cuyo valor comercial es superior a \$5'000.000.00; para el caso de las de gama media su valor se encuentra comprendido entre \$2'500.000,00 y

\$5'000.000,00 y finalmente las grúas de gama baja son aquellas cuyo valor comercial es inferior a \$2'500.000,00 tal y como se muestra en la tabla 13.

**Tabla 14.** Clasificación de las grúas con base en el tipo de perfilería.

Clasificación	Sección	Clasificación	Sección
Grúa 1	Rectangular	Grúa 11	Rectangular
Grúa 2	Rectangular	Grúa 12	Rectangular
Grúa 3	Rectangular	Grúa 13	Rectangular
Grúa 4	Rectangular	Grúa 14	Rectangular
Grúa 5	Rectangular	Grúa 15	Rectangular
Grúa 6	Circular	Grúa 16	Rectangular
Grúa 7	Rectangular	Grúa 17	Rectangular
Grúa 8	Rectangular	Grúa 18	Rectangular
Grúa 9	Rectangular	Grúa 19	Rectangular
Grúa 10	Rectangular	Grúa 20	Rectangular

Fuente: Autores.

De acuerdo con la información tabulada del tipo de perfilería para las 20 grúas solo la grúa 6 es de sección circular, las demás tiene el mismo tipo de perfilería de sección rectangular.

Las medidas de los parámetros de la grúa son en milímetros por los tanto, el valor de la desviación estándar es de dos dígitos, por ejemplo, para la tabla 4, la desviación estándar es de 78,6 mm que equivale a 7,86 cm para el caso de estudio el promedio de los datos tabulados es representativo.

Con base en el anterior análisis, se puede concluir que una grúa de tipo móvil funcional, cumple con las siguientes características:

- Capacidad máxima de carga: basado en el promedio de los valores tabulados en la tabla 3, se determina que para el caso de estudio este valor cumple con los requerimientos asociados al peso de los adultos mayores que hacen parte del hogar geriátrico ya que ningún paciente supera este límite de carga.
- Longitud de la base: De acuerdo con la tabla 4, se determina que el promedio es de 1131 mm, valor que se encuentra comprendido entre el rango del valor máximo y mínimo hallados.
- Altura máxima y mínima: Con base en la tabla 5 se determinó que los valores máximos y mínimos deben estar comprendidos en un rango promedio de 1808 mm y 851 mm respectivamente para garantizar su correcto dimensionamiento.
- Altura máxima y mínima de la percha: finalmente con los datos tabulados en la tabla 6, se calcula un promedio de altura máxima de 1700 mm y de altura mínima de 546 mm, lo que permite establecer un rango de elevación para la grúa móvil.

- Tipo de base: De acuerdo a la tabla 7, se encontró que la mayoría de las grúas poseen una base ajustable que les permite adaptarse a diferentes tipos de sillas, de las 20 fichas técnicas consultadas solo la grúa número 20 presenta una base rígida.
- Ancho de la base: Debido a las medidas estándar de una silla de ruedas, se pudo determinar que estas se encuentran dentro del promedio de las medidas encontradas que aparecen en la tabla 8 el cual se encuentra entre 649 cuando las patas están cerradas y de 889 cuando se encuentran abiertas.
- Tipo de sistema de apertura de las patas: De acuerdo a la tabla 9 se determinó que la mayoría de sistemas de apertura son de tipo mecánico de palanca y de pedal, por lo tanto, para el diseño conceptual se propone un sistema de pedal.
- Tipo de actuador: A pesar de que la mayoría de actuadores presentes en la tabla 10 poseen tipo de accionamiento eléctrico, para el actual caso de estudio se elige un actuador de accionamiento hidráulico debido a su bajo costo y fácil operatividad.
- Peso total de la grúa: Basado en los valores tabulados en la tabla 11, se encuentra que el peso de una grúa móvil está determinado por el tipo de material en el cual se realice su fabricación, sin embargo, el promedio de los pesos encontrados es de 38 kg valor que se tomara como base para el diseño conceptual.
- Tipo de material: Ya que el aluminio es un material más ligero, es utilizado para los procesos de manufactura en especial de las grúas de gama alta, sin embargo, aunque el acero es más pesado, se elige por su menor costo.
- Gama: Debido principalmente al tipo de accionamiento y al material de fabricación, el costo o valor comercial puede ser mayor o menor lo que a su vez determina la calidad de la grúa.
- Tipo de perfilería: En la tabla 14 se puede observar que la mayoría de modelos de grúas consultados usan en su estructura perfilería de sección rectangular siendo la grúa número 6 la única con perfilería de sección redonda, por lo tanto, se establece que la opción más adecuada por motivos de estética y funcionalidad para este diseño corresponde a tubería hueca con sección rectangular.

Una vez realizado el análisis y las conclusiones basadas en el estudio de los modelos de grúas consultados en el estado del arte, se presenta información técnica y comercial sobre los elementos de rodaje presentes en este tipo de dispositivos los cuales facilitan la movilización de las grúas como son las rodachinas y los tipos de perfiles estructurales y normas utilizados en la manufactura.

### **1.10 Rodachinas de uso industrial, clínico y hospitalario.**

- **Rodachinas de uso industrial:** El ensamblaje de estas rodachinas, se realiza con un tenedor de acero estructural generalmente galvanizado, realizan un movimiento giratorio bastante suave debido a que cuentan con

una pista doble de rodamientos endurecida con graseras de lubricación. Son especialmente usados en plataformas, estibas y en la mayoría de sistemas de transporte industrial [18].

**Figura 17.** Rodachinas de uso industrial.



Fuente: «Antioqueña de rodachinas Ltda,» [En línea]. Available: <https://www.antioquenaderodachinas.com>. [Último acceso: 27 07 2020].

- **Rodachinas de uso clínico:** Estas rodachinas cuentan con un tenedor fijo o rotatorio en acero, pista doble de esferas y gran variedad de modelos con o sin freno, facilidad de rodamiento y giro, son livianas, no rayan los pisos y se usan para trabajo silencioso. Poseen una alta resistencia al desgaste, lo que les proporciona una excelente durabilidad y las hace especialmente útiles en ambientes donde se requiera una excelente movilidad, carritos de restaurantes, vitrinas, muebles hospitalarios, exhibidores comerciales livianos, carritos de lavandería etc. [18]

**Figura 18.** Rodachinas de uso clínico.



Fuente: «Antioqueña de rodachinas Ltda,» [En línea]. Available: <https://www.antioquenaderodachinas.com>. [Último acceso: 27 07 2020].

- **Rodachinas de uso hospitalario:** Estas rodachinas son de tipo AM (Antimicrobial) que inhiben la propagación de bacterias que son útiles en ambientes médicos y permiten la fácil movilización de los pacientes debido a que también son giratorias, estas poseen sistemas de amortiguamiento que

evitan los rayones en el piso y a su vez poseen una alta resistencia gracias a sus componentes de gran calidad [18].

Son ideales para camas hospitalarias, camillas, sillas de ruedas, camas fúnebres y equipos hospitalarios en general.

**Figura 19.** Rodachinas de uso hospitalario.



Fuente: «Antioqueña de rodachinas Ltda.» [En línea]. Available: <https://www.antioquenaderodachinas.com>. [Último acceso: 27 07 2020].

Los elementos que se acaban de mostrar, conocidos como rodachinas, van instaladas en la base para dotarla de movimiento, dicha base tiene una elaboracion a partir de perfiles metalicos los cuales se clasifican según el proceso de produccion con el que se fabrican. A continuacion se presenta informacion tecnica y comercial de los tipos de perfileria.

## **1.11 Tipos de perfilería**

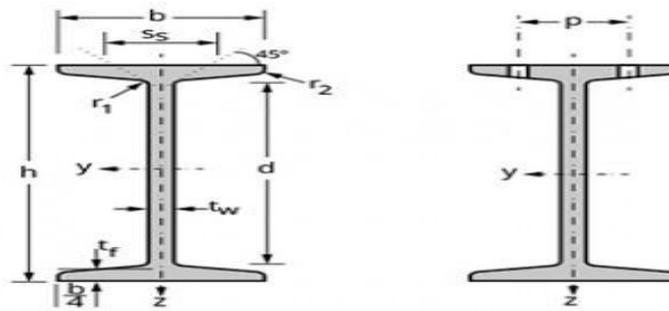
### **1.11.1 Perfiles laminados**

Estos perfiles son producidos a partir de la laminación en caliente hasta darle la forma requerida, no presentan soldaduras (costuras) por lo cual presentan uniformidad a nivel estructural, y presentan un bajo nivel de acumulación de tensiones residuales localizadas [19]. Este tipo de perfiles se divide en dos grandes grupos:

#### **1.11.2 Perfiles de alas inclinadas o normales americanos**

Este tipo de perfiles se producen en secciones de forma tipo “I” “U” y “L”; se caracterizan por tener las caras interiores de las alas con una inclinación de hasta un 14% respecto a las caras exteriores; estas últimas perpendiculares al alma. Las uniones entre las caras exteriores e interiores, así como la unión entre las alas y el alma, son redondeadas. Se utilizan ampliamente en la fabricación de estructuras, ya que su geometría paralela y rectilínea facilita las uniones, conexiones y encajes [19].

**Figura 20.** Perfiles de alas inclinadas.

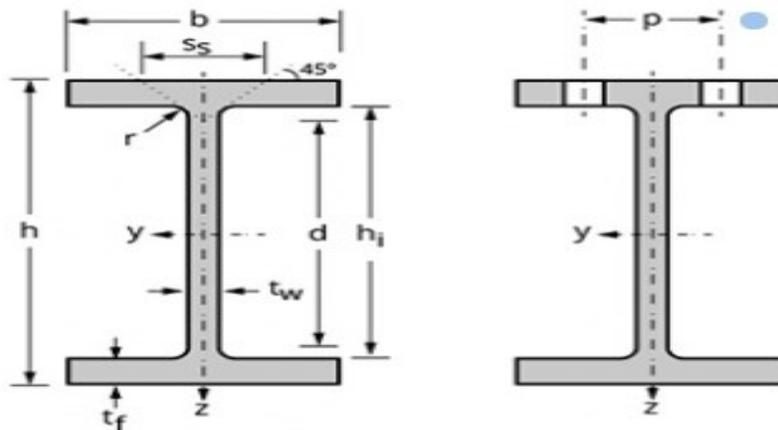


Fuente: «Grupo hierros Alfonso,» [En línea]. Available: <https://www.grupohierrosalfonso.com/productos/perfiles-estructurales-viga/perfiles-ipn.html> . [Último acceso: 27 07 2020].

### 1.11.3 Perfiles de alas paralelas

Estos perfiles se producen en secciones tipo “I” y “H”, se les conoce como perfiles doble T. Se caracterizan por su espesor constante y sus ángulos redondeados en el interior donde se encuentran las alas y el alma debido a que son perpendiculares entre sí.

**Figura 21.** Perfiles de alas paralelas.



Fuente: «Grupo hierros Alfonso,» [En línea]. Available: <https://www.grupohierrosalfonso.com/productos/perfiles-estructurales-viga/perfiles-ipn.html> . [Último acceso: 27 07 2020].

### 1.11.4 Perfiles conformados en frío

Los perfiles conformados en frío se obtienen sin necesidad de calentar el material, por medio de unas planchas de acero que moldean el material. El proceso se puede hacer mediante una plegadora en cuyo caso su longitud está limitada por el largo de la misma, (generalmente entre 3 y 6 metros) y los espesores mayores están alrededor de los 12mm. Se pueden hacer en una línea de producción continua o

“roll former”, en cuyo caso, el largo de fabricación queda limitado a las medidas comerciales o a limitaciones del transporte. Generalmente se producen de secciones tipo “U” y “C” lo que hace que se diferencien de los tubos y se les denomine perfiles abiertos [19].

**Figura 22.** Perfiles tipo “C” y tipo “U”.



Fuente: «Cintac,» [En línea]. Available: <https://www.cintac.cl/>. [Último acceso: 27 07 2020].

#### **1.11.5 Perfiles soldados**

En ocasiones, debido a las limitaciones que se presentan en cuanto a las formas disponibles en el mercado, se utiliza la alternativa de fabricar perfiles soldados a partir de planchas planas de acero que se someten a un proceso de corte y armado mediante soldadura normalmente de arco sumergido lo que permite obtener casi cualquier forma de perfil que se desee. La principal ventaja de estos perfiles es que se pueden fabricar de sección variable [19].

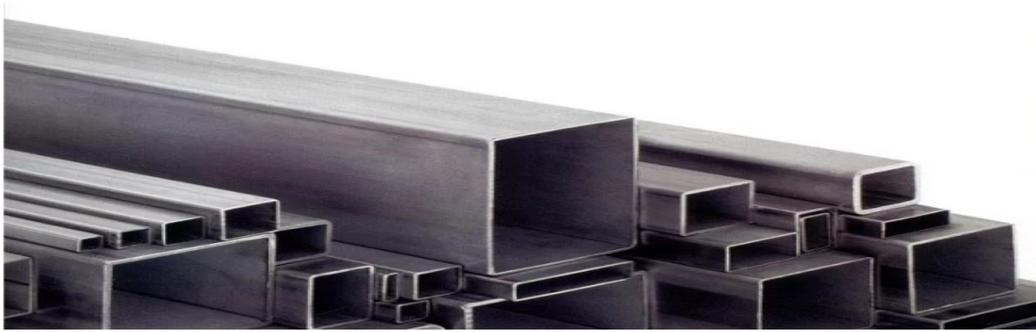
#### **1.11.6 Perfiles electro soldados**

La producción de perfiles soldados mediante electrosoldadura por resistencia eléctrica (o electro fusión) permite altas productividades de perfiles en secciones que varían entre 100 y 500mm y espesores entre 3 y 12mm [19].

#### **1.11.7 Perfiles tubulares con costura**

Para la obtención de este tipo de perfiles, normalmente usados para trasportar diferentes sustancias como gases o fluidos de diversa índole, se utilizan procesos continuos o de cilindrado de planchas, según sean los requerimientos del producto final que se desea obtener. Estos perfiles, normalmente son de sección redonda, cuadrada o rectangular, y en el caso de que su espesor supere los 3 mm se les conoce como secciones huecas estructurales o HSS por sus siglas en inglés [19].

**Figura 23.** Perfiles tubulares.



Fuente: «CTM Aceros,» [En línea]. Available: <https://www.ctmaceros.cl/productos#perfiles-tubulares>. [Último acceso: 28 07 2020].

### **1.11.8 Perfiles tubulares sin costura**

Los tubos sin costura poseen una resistencia mucho mayor que los tubos con costura debido a su estructura más homogénea, lo que les permite ser usados en industrias de mayor exigencia como la industria petrolera [20].

Para la fabricación de elementos en acero como los anteriormente mencionados, se utilizan documentos o normas aprobadas por organizaciones reconocidas en el ámbito de la ingeniería, en las cuales se establece un conjunto de reglas y directrices que orientan ciertas actividades y/o procesos industriales con la intención de obtener resultados óptimos estandarizados.

### **1.12 Normas de acero para secciones estructurales huecas (Hollow Structural Section)**

Las normas aprobadas por la ASTM del acero estructural para secciones huecas (HSS) son: ASTM A500, A501, A618, A847 Y A53. A continuación, se mencionan brevemente algunas de estas normas.

#### **1.12.1 ASTM A500**

El tipo de acero usado bajo las especificaciones de esta norma, se puede encontrar en tubos de sección circular, cuadrada y rectangular para construcción soldada, atornillada o remachada de grandes construcciones y edificios, al igual que para propósitos estructurales generales. Estos tubos o perfiles deben contar con una determinada composición química de carbono, manganeso, fósforo, cobre y azufre, así como con determinados requerimientos de tensión como se muestra en las siguientes tablas [21]

**Tabla 15.** Composición química del acero ASTM A500.

<b>Composición, %</b>				
Elemento	Grados A,B y D			Grado C
	Análisis de calor	Análisis de producto	Análisis de calor	Análisis de producto
Carbón, máx.	0.26	0.3	0.23	0.27
Manganesio, máx.	...	...	1.35	1.4
Fósforo, máx.	0.035	0.045	0.035	0.045
Azufre, máx.	0.035	0.045	0.035	0.045
Cobre cuando se especifica acero de cobre, min	0.2	0.18	0.2	0.18

Fuente: «United Steel Industry,» [En línea]. Available: <http://www.united-steel.com/es/newsshow/363.html>. [Último acceso: 29 07 2020].

**Tabla 16.** Propiedades en tensión para perfilería redonda según la norma ASTM A500

<b>Tubería estructural redonda</b>				
Grado	Grado A	Grado B	Grado C	Grado D
Resistencia a la tracción min, psi (MPa)	45000 (310)	58000 (400)	62000 (427)	58000 (400)
Limite elástico, min,psi (MPa)	33000 (228)	42000 (290)	46000 (317)	36000 (250)
Elongación (50.8 mm), min, %A	25B	23C	21D	23C

Fuente: «United Steel Industry,» [En línea]. Available: <http://www.united-steel.com/es/newsshow/363.html>. [Último acceso: 29 07 2020].

**Tabla 17.** Propiedades en tensión para perfilería de formas, según la norma ASTM A500.

<b>Tubería estructural conformada</b>				
Grado	Grado A	Grado B	Grado C	Grado D
Resistencia a la tracción min, psi (MPa)	45000 (310)	58000 (400)	62000 (427)	58000 (400)
Limite elástico, min,psi (MPa)	39000 (269)	46000 (317)	50000 (345)	36000 (250)
Elongación (50.8 mm), min, %A	25B	23C	21D	23C

Fuente: «United Steel Industry,» [En línea]. Available: <http://www.united-steel.com/es/newsshow/363.html>. [Último acceso: 29 07 2020]

### 1.12.2 ASTM A501

Es usada para tubos HSS estructurales de acero al carbono, de sección circular, cuadrada y rectangular; soldados y sin soldadura conformados en caliente. Esta especificación también se usa con tubos galvanizados en caliente, negros, y de formas especiales para fines estructurales diversos [22].

### 1.12.3 ASTM A53

La norma ASTM A53 contiene las especificaciones estándar para la fabricación de tubos en acero al carbono que se utiliza en tuberías sin costura, con soldadura y galvanizadas con revestimiento de zinc, cuyas dimensiones se encuentran comprendidas entre 10.3 mm hasta 660 mm de diámetro exterior.

La tubería fabricada bajo esta norma tiene aplicaciones en sistemas de oleoductos y gasoductos, tratamiento de agua, fabricación de repuestos para maquinaria, centrales hidroeléctricas etc.

Bajo esta norma se pueden encontrar tubos tipo S sin costura de grado A y B, tipo E (ERW) con soldadura de grados A y B; y finalmente tipo F soldado por horno, este último solamente en grado A [23].

La siguiente tabla resume la composición y propiedades mecánicas del acero usado bajo esta norma.

**Tabla 18.** ASTM A53 Composición química y propiedades mecánicas.

Composición química									
Grado	Max, %								
	Carbón	Manganesio	Fósforo	Azufre	Cobre	Níquel	Cromo	Molibdeno	Vanadio
Tipo S (Tubería sin costura)									
Grado A	0,25	0,95	0,05	0,045	0,4	0,4	0,4	0,15	0,08
Grado B	0,3	1,2	0,05	0,045	0,4	0,4	0,4	0,15	0,15
Tipo E (Electrica- resistencia-soldada)									
Grado A	0,25	0,95	0,05	0,045	0,4	0,4	0,4	0,15	0,08
Grado B	0,3	1,2	0,05	0,045	0,4	0,4	0,4	0,15	0,08
Tipo F (tubo soldado)									
Grado A	0,3	1,2	0,05	0,045	0,4	0,4	0,4	0,15	0,08
Propiedades mecánicas									
Fuerza				Grado A			Grado B		
Fuerza de tensión, min, psi [Mpa]				48 000 [330]			60 000 [415]		
Fuerza de compresión, min, psi [Mpa]				30 000 [205]			35 000 [240]		
Elongación en 2 pulgadas o 50 mm				e = 625 000 [1940]( A <sup>0,2</sup> /U <sup>0,9</sup> )					

Fuente: «Octal Steel,» [En línea]. Available: <https://www.octalacero.com/astm-a53>. [Último acceso: 29 07 2020].

La tabla 19 reúne algunas de las propiedades de los aceros estructurales más usados

**Tabla 19.** Propiedades mecánicas de los aceros según la ASTM.

Clasificación de los aceros, según ASTM	Limite elástico		Tensión de rotura	
	Ksi	Mpa	Ksi	Mpa
ASTM A36	36	250	58-80	400-500
ASTM A53 Grado B	35	240	> 60	> 415
ASTM A106 Grado B	35	240	> 60	> 415
ASTM A131 Gr A,B,CS,D,DS,E	34	235	58-71	400-490
ASTM A139 Grado B	35	240	> 60	> 415
ASTM A381 Grado Y35	35	240	> 60	> 415
ASTM A500 Grado A	33	228	> 45	> 310
Grado B	42	290	> 58	> 400
ASTM A501	36	250	> 58	> 400
ASTM A516 Grado 55	30	205	55-75	380-515
Grado 60	32	220	60-80	415-550
ASTM A524 Grado I	35	240	60-85	415-586
Grado II	30	205	55-80	380-550
ASTM A529	42	290	60-85	415-550
ASTM A570 Grado 30	30	205	> 49	> 340
Grado 33	33	230	> 52	> 360
Grado 36	36	250	> 53	> 365
Grado 40	40	275	> 55	> 380
Grado 45	45	310	> 60	> 415
Grado 50	50	345	> 65	> 450
ASTM A709 Grado 36	36	250	58-80	400-550
API 5L Grado B	35	240	60	415
Grado X42	42	290	60	415

Fuente: F. D. d. C. Rodriguez, «Perfiles estructurales,» Cautitlán Izcalli, Edo. De México, 2019.

### 1.13 Metodología

Para desarrollar con éxito los objetivos propuestos en este proyecto se debe ejecutar el diagrama de flujo que se muestra en la figura 24, que consta de 5 fases:

**Primera fase:** Selección del lugar, identificación de la necesidad y recopilación de datos.

- Se selecciona el lugar donde se va a estudiar el caso.
- Se realiza un levantamiento de la necesidad a través de un trabajo de campo donde se hace una observación de la situación actual de las actividades de transporte de los adultos mayores dentro del hogar geriátrico.

- Se realiza una recopilación de datos referentes a las restricciones como el peso máximo que hay entre los adultos mayores, altura de las puertas, tipo de piso, altura del techo y ancho de los pasillos.

#### **Segunda fase:** Estudio del arte

- Se identifican las discapacidades existentes en la población de adultos mayores en general para seleccionar de forma correcta la grúa apropiada conforme a sus requerimientos.
- Se realiza un estudio de las grúas comerciales existentes en la actualidad, comparando las principales características que las diferencian.

#### **Tercera fase:** Diseño conceptual y preliminar

- Se plantean los requisitos de diseño y criterios de selección para la grúa.
- Se crean diferentes alternativas de diseño para cada uno de los componentes de la grúa.
- Se determina el diseño preliminar del dispositivo de acuerdo con las opciones y alternativas de diseño.

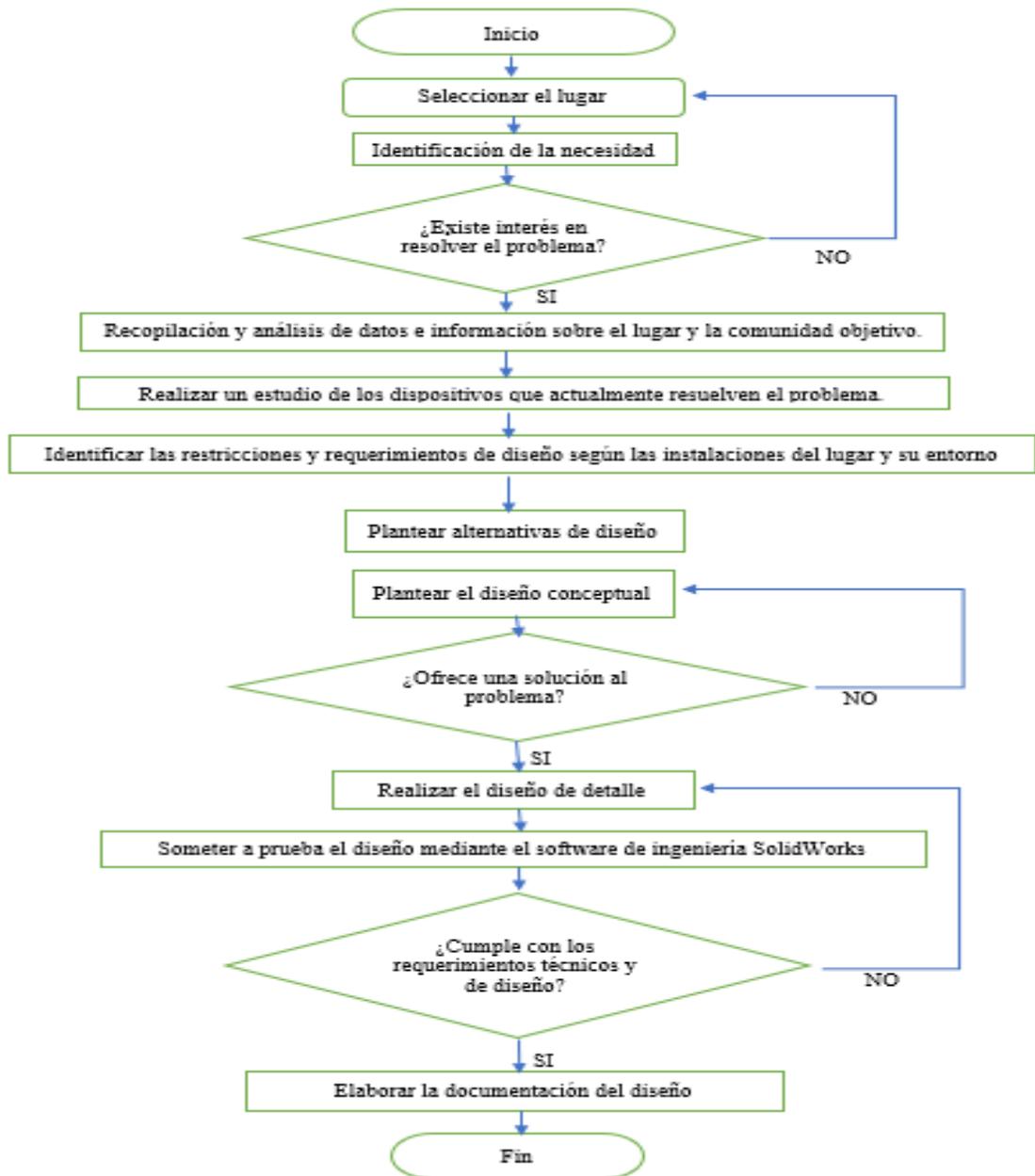
#### **Cuarta fase:** Diseño detallado

- De acuerdo con las restricciones y requerimientos del trabajo de campo realizado, se determinan las cotas y medidas de la grúa.
- Se determina el mecanismo de apertura de patas de la grúa, si es de tipo manual o pedal.
- Se realiza el diseño detallado del dispositivo de acuerdo con la recopilación de datos, restricciones y cálculos realizados.
- Se realiza la simulación del comportamiento estático de la estructura de la grúa, con la ayuda de un software.

#### **Quinta fase:** Documentación del diseño

- Elaborar la documentación que soporta el diseño de la grúa.

**Figura 24.** Diagrama de flujo de la metodología.



Fuente: Autores

## 2 MARCO TEORICO Y CONCEPTUAL

### 2.1 Análisis del elemento finito

El análisis de elementos finitos, es un método utilizado en ingeniería mediante el cual se calculan los esfuerzos y deflexiones de un modelo sólido tridimensional sometido a diferentes cargas simuladas, haciendo uso de un software en donde se ingresan datos como las restricciones de movilidad, los puntos de apoyo, el tipo de material a utilizar entre otros.

Este software utiliza un mallado fino o grueso según el nivel de exactitud requerido, en donde el modelo se descompone en partes más pequeñas para su análisis individual, y luego los resultados se integran para determinar el comportamiento de sólido en cuanto a esfuerzos y deformaciones y mediante algunos mapas de colores mostrar de forma clara los puntos de máximo y mínimo esfuerzo.

Estos valores obtenidos, servirán de guía al diseñador para evaluar en nivel de seguridad que posee el objeto diseñado, y poder así tomar las decisiones pertinentes para optimizar el diseño modificando aspectos como el tipo de material, la forma, el peso etc. Con lo cual se logran diseños más eficientes sin necesidad de fabricar modelos físicos [24].

### 2.2 Factor de seguridad

El término factor de diseño o factor de seguridad  $N$ , es una medida adimensional, que representa seguridad relativa de un componente bajo la acción de una carga. La resistencia del material con la que se fabricara el componente se divide entre el factor de diseño para determinar el esfuerzo de diseño,  $\sigma_{perm}$ , que a veces se llama esfuerzo permisible. Entonces, el esfuerzo real que se desarrolla en el componente debe ser menor al esfuerzo permisible, por lo tanto: [25].

$$\text{Factor de seguridad } N = \frac{\text{resistencia real}}{\text{resistencia requerida}} = \frac{\sigma_y}{\sigma_{perm}} \quad \text{Ecuación (1)}$$

Generalmente, el factor de seguridad debe ser mayor que 1,0 para evitar la falla. Dependiendo la situación o circunstancias, los factores de seguridad varían desde un poco más de 1,0 a 10.

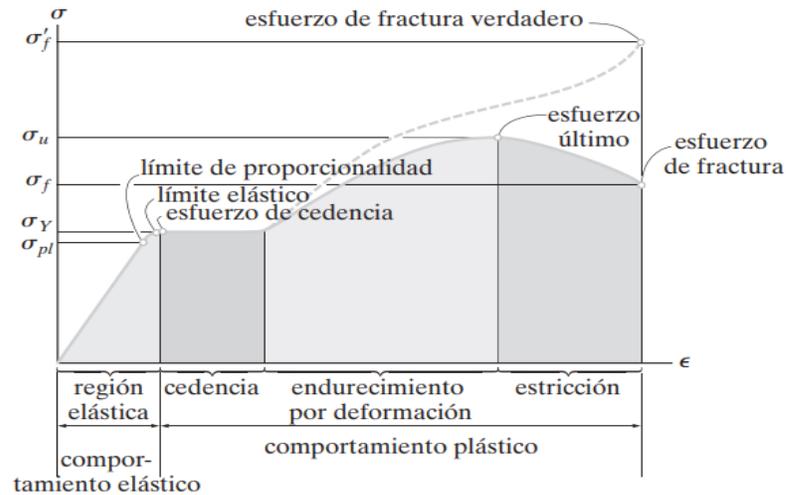
### 2.3 Teorías de falla para materiales dúctiles

Cuando se aplica una carga sobre una pieza de modo que el estado de esfuerzo sea uniaxial, este se puede comparar directamente con la resistencia a fin de determinar el factor de seguridad o bien para prevenir la falla.

La falla de un material está asociada a la fractura de un elemento o pieza. Los mecanismos de falla dependen de la estructura cristalina del material y de cómo se

encuentra los enlaces atómicos. Para predecir la falla de materiales bajo cargas estáticas y poder hacer diseños de piezas o elementos de máquinas confiables es necesario conocer los diferentes tipos de teorías de fallas de un material dúctil.

**Figura 25.** Grafica de esfuerzo vs deformación, de un material sometido a una carga.



Fuente: R. C. Hibbeler, Mecanica de materiales, México: Pearson Educación, 2011.

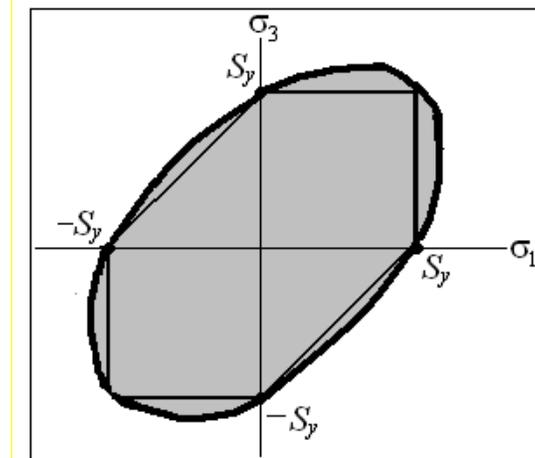
La grafica de la figura 25 nos muestra como un material se deforma por la acción de una carga. En el primer segmento de la gráfica se encuentra la zona elástica, en la que el material se deforma de manera lineal conforme aumentamos la carga. En esta zona se cumple el módulo Young (E) que es igual a la pendiente de la recta. Esta linealidad se cumple hasta que llegamos al límite de fluencia en el que el material pasa de ser elástico a plástico y conforme elevamos la carga permanece así su fractura.

“La falla se producirá cuando el esfuerzo normal máximo en la pieza sea igual o mayor al esfuerzo normal máximo de una probeta sometida a un ensayo de tensión en el momento que se produce la fractura”

### 2.3.1 Teoría de la energía de distorsión (criterio de von Mises)

La teoría de energía de distorsión viene desarrollada por Ludwig von Mises, y nos dice que la falla ocurre si los esfuerzos combinados en un material están fuera de la elipse como se muestra en la figura 26.

**Figura 26.** Representación gráfica de la teoría de distorsión [26].



Fuente: E. MUNDARAY, «Teoría de fallas para materiales dúctiles,» [En línea].  
Available: <https://teoriadefalla.wordpress.com/2016/05/06/teoria-de-falla-para-materiales-ductiles>. [Último acceso: 13 10 2020].

## 2.4 Esfuerzo debido a flexión

Una viga es un elemento que soporta cargas transversales a su eje. Estas cargas producen momentos de flexión en la viga, las cuales a su vez causan el desarrollo de esfuerzos de flexión. Los esfuerzos de flexión son esfuerzos normales de tensión con de compresión. El esfuerzo cortante máximo en una sección transversal de una viga está en la parte más alejada del eje neutro de la sección. En ese punto, la ecuación de la flexión muestra como resultado el esfuerzo [25]:

$$\sigma = \frac{Mc}{I} \quad \text{Ecuación (2)}$$

Donde:

$M$  = Magnitud del momento de flexión en esa sección

$I$  = Momento de inercia del área transversal con respecto a su eje neutro

$c$  = Distancia del eje neutro a la fibra más alejada, en la sección transversal de la viga.

## 2.5 Método de integración sucesiva - Procedimiento general.

A continuación, se presenta el procedimiento general para determinar la flexión de una viga en cualquier punto.

Las ventajas de este procedimiento son las siguientes:

1. Se obtiene un conjunto de ecuaciones que permitirán identificar la flexión en cualquier punto, sustituyendo los valores de rigidez de la viga ( $EI$ ) y la posición en la cual se desea conocer el valor de la flexión.

2. Los datos obtenidos permiten trazar de manera fácil la curva de flexión.
3. Se pueden obtener las ecuaciones de la pendiente en cualquier punto de la misma forma que se obtienen las ecuaciones de flexión.
4. Las relaciones matemáticas existentes entre cargas, tipo de apoyos, propiedades de rigidez entre otras, se recalcan en el proceso de solución lo cual es útil en aplicaciones para maquinaria, para cojinetes y ejes con engranes.
5. El procedimiento requiere de conceptos matemáticos básicos.
6. Los puntos de flexión máxima se determinan de las ecuaciones obtenidas.

La ecuación (3) se utiliza para obtener las ecuaciones para la pendiente y flexión a partir de las ecuaciones de momento integrando dos veces con respecto a la posición  $x$ , en la viga.

$$M = EI \frac{d^2y}{dx^2} \quad \text{Ecuación (3)}$$

Integrando una vez con respecto a  $x$  se obtiene:

$$\int M dx = EI \int \frac{d^2y}{dx^2} dx = EI \frac{dy}{dx} \quad \text{Ecuación (4)}$$

Dado que la pendiente de la curva de flexión  $dy/dx = \theta$ , se tiene que:

$$\int M dx = EI\theta = \theta EI \quad \text{Ecuación (5)}$$

La ecuación anterior se integra de nuevo y da

$$\int EI\theta dx = EI \int \frac{dy}{dx} dx = Ely = yEI \quad \text{Ecuación (6)}$$

Una vez que se determinaron los valores finales de  $EI\theta$  y  $Ely$ , se dividen entre la rigidez de la viga,  $EI$ , para obtener los valores de la pendiente,  $\theta$ , y flexión,  $y$ . Se tienen que completar los pasos indicados por las ecuaciones (4) a (6) para cada segmento de la viga donde el diagrama de momento es continuo. Además, como el objetivo es obtener ecuaciones discretas para la pendiente y flexión en el caso de vigas y patrones de carga particulares, se evaluará una constante de integración por cada integración realizada. El método paso a paso utilizado para determinar la flexión de vigas siguiendo el procedimiento general es el siguiente.

## Pasos del método de integración sucesiva para determinar flexiones de vigas

1. Determinar las reacciones en los apoyos de la viga.
2. Realizar los diagramas de fuerza cortante y momento flector identificando cada una de las magnitudes en los puntos críticos.
3. Dividir la viga en cortes donde la fuerza sea constante y designar los puntos donde ocurren cambios repentinos con las letras A, B, C, D, etcétera.
4. Obtener las ecuaciones para la curva de fuerza cortante en cada segmento de la viga. Por lo general se obtiene ecuaciones de líneas rectas que implican ecuaciones de primer grado.
5. Para cada corte o segmento se debe realizar:

$$M = \int V dx + C \quad \text{Ecuación (7)}$$

Para poder evaluar la constante de integración que se obtiene, se deben definir las condiciones de frontera o de límite ya conocidas y posteriormente resolver la ecuación para despejar C.

6. Para cada segmento se debe realizar:

$$\theta EI = \int M dx + C \quad \text{Ecuación (8)}$$

Ya que las constantes de integración que se obtienen en este paso no se pueden evaluar de inmediato, se deben identificar con subíndices (C1, C2, C3 etc.), para que en el paso 9 se puedan ubicar en su lugar correspondiente.

7. Para cada segmento se debe realizar:

$$yEI = \int \theta EI dx + C \quad \text{Ecuación (9)}$$

De nuevo, las constantes se identificarán con subíndices.

8. Establecer las condiciones de frontera para los diagramas de pendiente y de flexión. Las condiciones de frontera expresan matemáticamente los valores especiales de las curvas de pendiente y de flexión en ciertos puntos gracias a que las estas son continuas. Algunas condiciones limitantes típicas son:

- a. La flexión de la viga en cada apoyo es cero.
- b. La flexión de la viga en el extremo de un segmento es igual a la flexión de la viga al principio del siguiente segmento. Esto se deriva del hecho que la curva de la flexión es continua; es decir, no experimenta cambios abruptos.
- c. La pendiente de la viga en el extremo de un segmento es igual a la pendiente al principio del siguiente segmento. La pendiente no experimenta cambios repentinos.

**d.** En el caso especial de una viga en voladizo, la pendiente de la viga en el apoyo también es cero.

**9.** Use las condiciones de frontera para evaluar las constantes de integración. Para esto se deberá resolver un sistema de ecuaciones simultáneas en donde el número de ecuaciones será igual al número de constantes de integración desconocidas. Los programas de computadora como Matlab son útiles en este tipo de cálculos.

**10.** Una vez obtenidas las constantes de integración, estas se deben sustituir en sus lugares apropiados para completar las ecuaciones de pendiente y de flexión. Para determinar el valor de la pendiente o la flexión en cualquier punto de la viga, se debe sustituir en la ecuación el valor de la posición de dicho punto en el cual se desea conocer estos valores. Las ecuaciones también permiten determinar los puntos de máxima flexión en cualquier segmento [24].

## **3 DISEÑO CONCEPTUAL DE LA GRÚA**

### **3.1 Enunciado básico del problema**

En el hogar geriátrico San Pedro Claver se presentan dificultades al momento de movilizar y trasladar los pacientes de su cama a la silla de ruedas y viceversa, debido a que, la manera en la que se realiza esta labor actualmente implica un potencial riesgo de lesión tanto para el personal encargado como para el paciente. Para facilitar esta labor, se realiza el diseño de una grúa móvil que garantice aspectos de seguridad estética, funcionalidad, ergonomía, bajo costo, fácil mantenimiento y que al mismo tiempo cumpla con las restricciones físicas asociadas al entorno del lugar donde se implementara.

### **3.2 Funciones, requisitos de diseño y criterios de selección para la grúa móvil**

#### **3.2.1 Funciones:**

1. Soportar el peso del paciente de forma segura sin riesgo de volcamiento en la estructura.
2. Permitir la elevación y el descenso del paciente de forma suave y progresiva.
3. Permitir la movilización del paciente en rangos cortos de distancia.

#### **3.2.2 Requisitos de diseño:**

1. La grúa debe soportar 135 kg de peso máximo
2. Brindar comodidad al paciente durante todo el proceso de movilización y traslado.
3. Permitir un fácil mantenimiento de sus componentes en caso de ser requerido.
4. Tamaño acorde a las limitaciones de espacio del lugar asociadas al ancho y alto de pasillos, cubículos y habitaciones de los pacientes.
5. Bajo costo de fabricación.
6. Se espera que la grúa trabaje un promedio de 80 veces por día, siete días a la semana con una duración de diseño de tres años. Esto equivale a aproximadamente a 88000 ciclos de operación.
7. Se espera obtener una grúa liviana para su fácil transporte.
8. Se espera obtener un diseño ergonómico para su fácil manejo por parte del personal encargado.
9. La base debe de ser ajustable para permitir su adaptabilidad a sillas y sillones de diferentes anchos.
10. Se prefiere rodachinas con recubrimiento en goma para reducir vibraciones durante la movilización del paciente.
11. Se espera obtener un diseño estético y funcional.

### **3.2.3 Criterios de selección:**

1. Seguridad
2. Confiabilidad
3. Estabilidad
4. Resistencia
5. Rigidez
6. Ergonomía
7. Modularidad

### **3.3 Selección del método básico de diseño:**

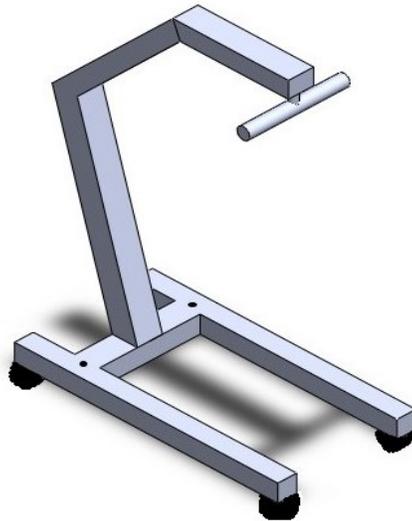
Existen varios modelos de grúas móviles que cumplen con los requisitos de diseño. Para realizar la elección del tipo de diseño a producir, se crea una matriz de decisión con base en los criterios de selección, asignando a cada uno un factor de ponderación que sirve para calificar cada uno de los componentes de la grúa los cuales se encuentran basados en el diseño conceptual que en un principio cumple con las características apropiadas.

### **3.4 Diseño conceptual de la grúa**

Atendiendo la información obtenida en el estado del arte se respeta la composición básica que se presentó en el numeral 1.6 en cuanto a los elementos que componen una grúa. Desde ese punto de vista los elementos básicos se presentan en la figura 28, donde aparece necesariamente la base que está unida a las patas mediante pasadores, y que a su vez las patas albergan cuatro rodachinas en sus extremos, para que se pueda movilizar y son de soporte de estabilidad de la estructura. La base se une al mástil o pilar que está anclado a ella verticalmente mediante soldadura, el mástil soporta el peso del actuador por la parte inferior del y se une mediante pasadores, la unión entre el brazo y el mástil se lleva a cabo con un perno para permitir el giro de este respecto al mástil. El brazo es la pieza fundamental de la grúa ya que, con la fuerza lineal producida por el actuador esta se eleva y baja al usuario, en esta pieza se conecta el actuador por la parte superior de él, mediante un pasador. Por último, la percha obligatoriamente debe formar parte de los elementos básicos que componen una grúa, la cual se une al brazo con un pasador, permitiéndole posicionarse siempre verticalmente.

A partir del análisis hecho con base en la información tabulada en el estado del arte, se incorporan los resultados y conclusiones obtenidas en la figura que se presenta a continuación:

**Figura 27.** Diseño conceptual de la grúa.



Fuente: autores

Con base en la información que se analizó y concluyo de las características de las grúas existentes en el mercado, se presenta un diseño ideal que debe tener una grúa acorde con la figura 28. De acuerdo con el peso total de la grúa y el tipo de material se establece que el diseño ideal debe ser de acero, material resistente que cumple con los criterios de selección, al ser seguro y confiable.

Conforme con el tipo de perfil, el rectangular predomina en la tabla 14, este presenta un diseño estético y resistente para el diseño ideal de la grúa. Acorde con las dimensiones importantes como; la altura máxima, longitud de la base, altura máxima y mínima de elevación de la percha y ancho de la base se tiene que los promedios calculados en el estado del arte para cada uno de estos parámetros, este valor representativo.

Con base en la información tabulada del estado del arte se determinó que, en el diseño conceptual de la grúa móvil, se debe tener acotaciones importantes y de referencia.

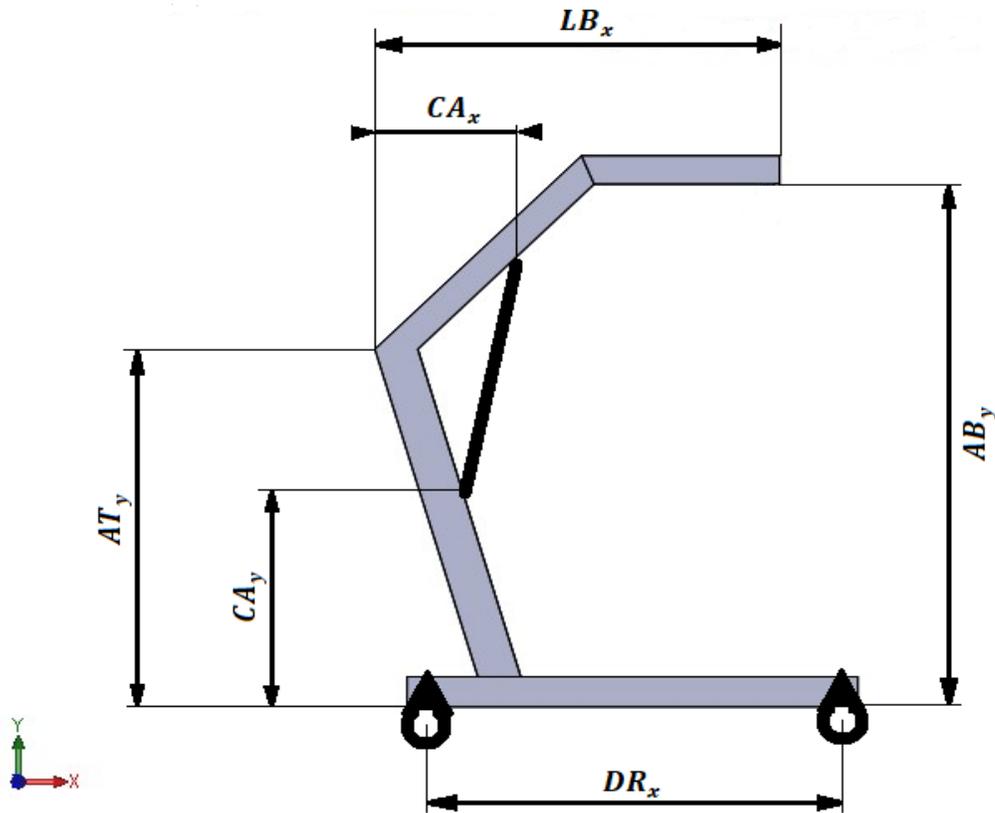
### **3.5 Cotas importantes y de referencia**

Las cotas importantes son aquellas esenciales para que para que la pieza pueda cumplir su función y las de referencia sirven para la total definición de la pieza. De acuerdo con estado del se determina que las cotas importantes son; la longitud total de la base, la altura total de la grúa, el ancho de la base y la altura máxima del brazo.

En el diseño conceptual se abordó la definición de los puntos donde va estar anclado el actuador, las cotas de referencias son;  $CA_x$  (cota donde está anclado el

actuador respecto al eje x) y  $CA_y$  (cota donde está anclado el actuador respecto al eje y), como se muestra en la figura 29, dichas cotas serán objeto de análisis, cálculo y verificación durante el diseño de detalle de la grúa.

**Figura 28.** Cotas importantes y de referencia para el diseño conceptual, vista lateral.

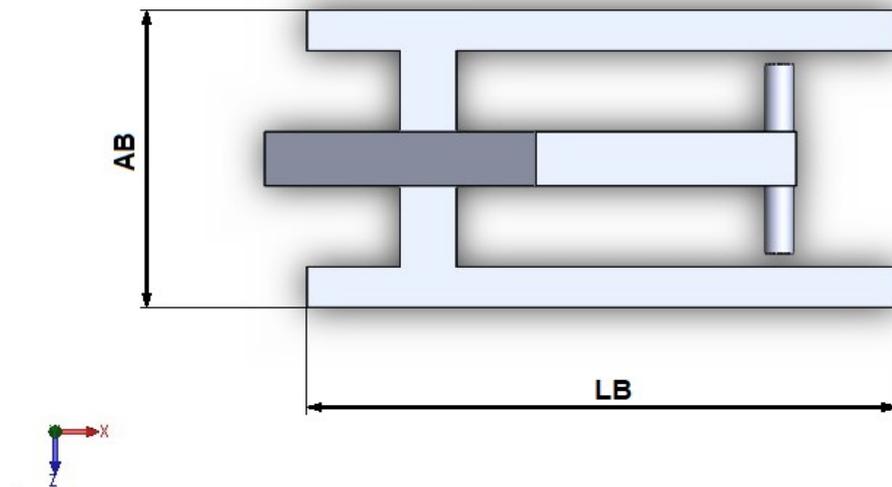


\*Frontal  
Fuente: Autores

Donde:

- $DR_x$  : Distancia entre ruedas.
- $AT_y$  : Altura total de la grúa.
- $AB_y$  : Altura máxima del brazo.
- $LB_x$  : Longitud del brazo.

**Figura 29.** Cotas importantes de la base, vista superior.



\*Superior  
Fuente: Autores

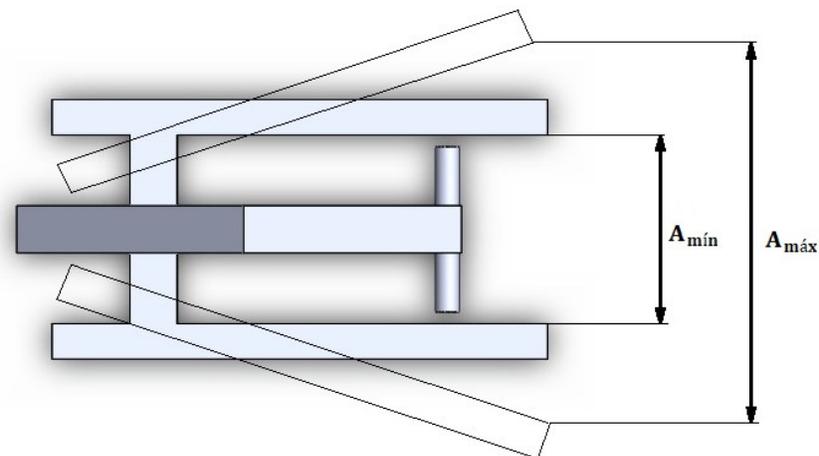
Donde:

LB: Longitud total de la base.

AB: Ancho total del base.

La grúa cuenta con un mecanismo de abertura de patas, que se ajusten a cualquier tipo de silla de ruedas o sillón, por lo tanto, se realiza un diseño conceptual cuando las patas se encuentran cerradas y cuando están abiertas, como se muestra en la figura 31.

**Figura 30.** Cotas de referencia del ancho de la base, vista superior.



Donde:

$A_{\text{mín}}$  : Ancho mínimo de las patas

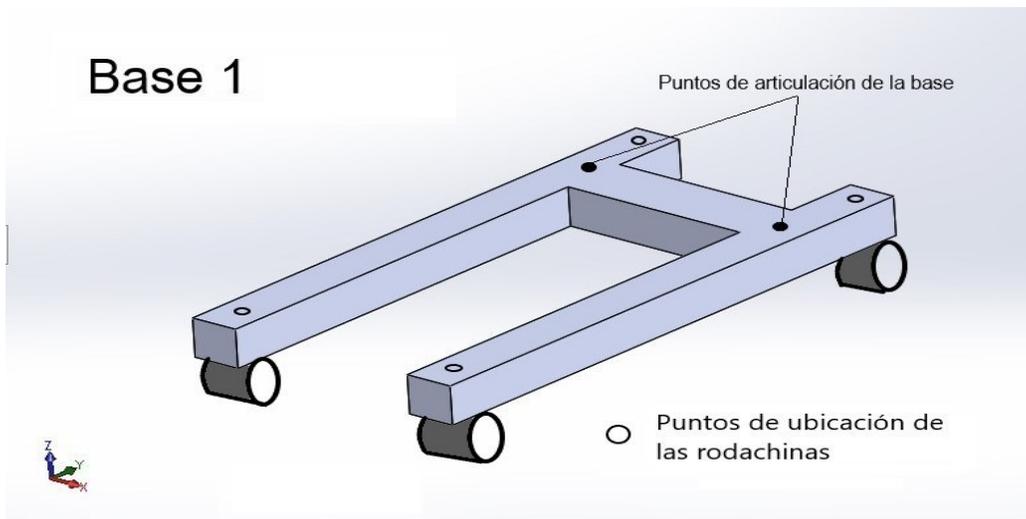
$A_{\text{máx}}$  : Ancho máximo de las patas

Una vez identificados los elementos básicos que componen a las grúas móviles y con base en el estudio del estado del arte, se presentan a continuación diferentes opciones de diseño para cada uno dichos elementos.

### 3.6 Selección del diseño conceptual para la base

Teniendo en cuenta las diferentes opciones de grúas existentes en el mercado, se toman como referencia las bases más comunes presentes en la mayoría de los modelos consultados. En las figuras 32 a 35 se pueden observar las alternativas que se tendrán en cuenta para el diseño de la base.

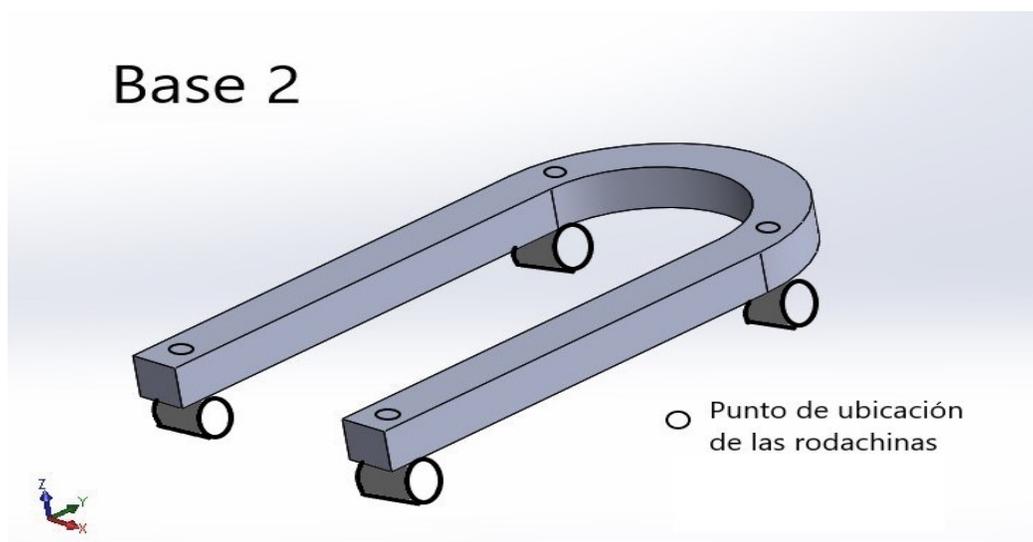
**Figura 31.** Base 1



Fuente: Autores

Este tipo de base constituye una de las más estables debido a su configuración en forma de "H" lo que la hace una de las bases más seguras y confiables en el mercado; sus puntos de articulación permiten que la base sea ajustable a diferentes tipos de sillas y a su vez permiten un práctico ensamblaje entre la base y el mástil.

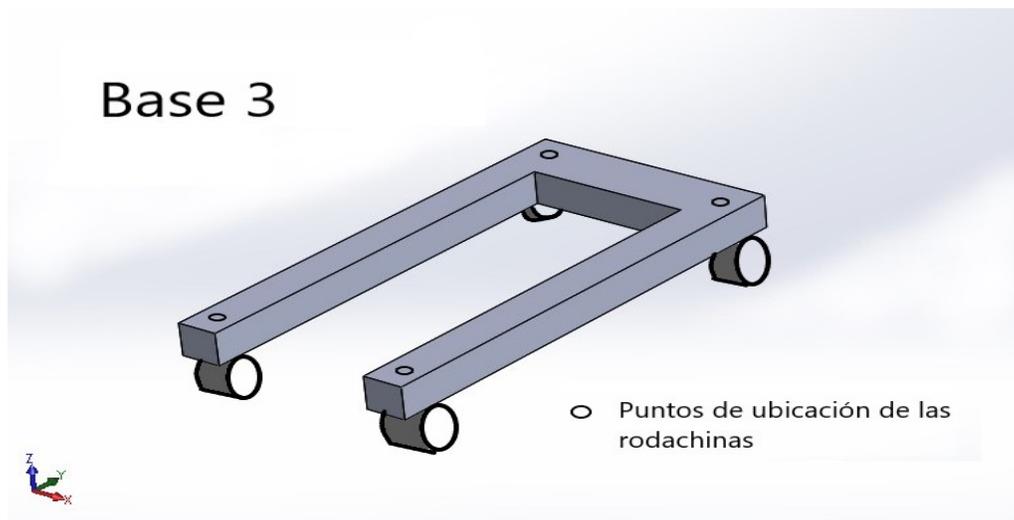
**Figura 32. Base 2**



Fuente: Autores

Este tipo de base consta de una sola pieza, en donde su principal inconveniente radica en la falta de un sistema de apertura que le permita ser ajustable, además de esto en el caso de necesitar mantenimiento correctivo se deberá cambiar la totalidad de la pieza.

**Figura 33. Base 3**

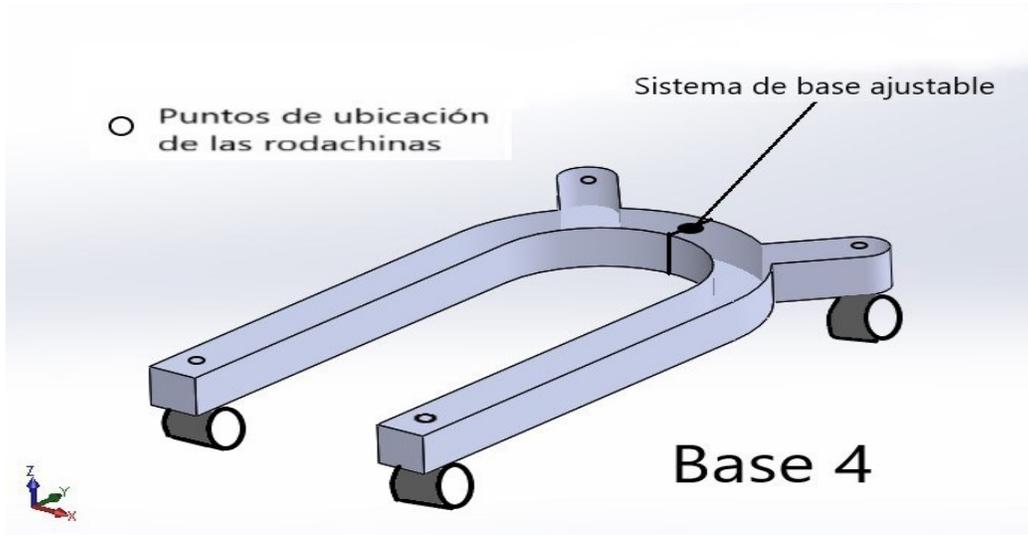


Fuente: Autores

Este tipo de base presenta el mismo inconveniente que la base número 2, ya que, al no ser un diseño modular, en el caso de que la base presente fallas, se debe cambiar toda la pieza; además de esto, su terminación en ángulos agudos hace que

pierda ergonomía frente a los demás tipos de bases, pues sus esquinas pronunciadas podrían causar golpes y lesiones.

**Figura 34.** Base 4



Fuente: Autores

Este tipo de base constituye una opción de muy buenas características, debido a que resuelve los inconvenientes de las bases dos y tres; es una base estable, que cuenta con un sistema de apertura; sin embargo, para esto hace uso de soldadura en los puntos de unión de las dos extensiones donde se alojarán las rodachinas traseras lo que genera debilidad en la estructura de la base.

### 3.6.1 Decisión de diseño para la base

Con base en los criterios de selección mencionados en el numeral 3.4, se definen los métodos de decisión para el diseño de la base.

1. Una base segura aquella que permita cumplir con las funciones de diseño de forma apropiada y en condiciones no riesgosas para el paciente ni para el personal encargado.
2. El criterio de estabilidad evalúa la capacidad que poseen cada una de las bases para realizar la función de soportar la estructura y adicional a esto el peso del paciente sin que produzcan volcamientos o movimientos estrepitosos durante la movilización del paciente.
3. El criterio de resistencia evalúa la capacidad que tiene cada una de las bases de soportar las cargas a las que serán sometidas sin llegar a romper, lo que a su vez está condicionado por el tipo de material que se usa en la estructura;
4. El criterio de confiabilidad evalúa la capacidad que tiene cada base para desempeñarse correctamente en un intervalo de tiempo determinado cumpliendo a cabalidad con su función.

5. El criterio de rigidez evalúa la capacidad de cada base para soportar las cargas a las que serán sometidas, sin deformarse y manteniendo su estructura original;
6. El criterio de ergonomía evalúa la forma en que interactúa la base con el paciente y el personal encargado.
7. Finalmente, el criterio de modularidad evalúa la cantidad de subdivisiones en elementos más pequeños que tiene cada una de las bases, lo que permite, en caso de ser necesario, reemplazar más fácilmente alguna de sus partes.

A continuación, se presenta la matriz de decisión con la cual se selecciona el tipo de base que se usará en el diseño, según los criterios de selección anteriormente mencionados.

**Tabla 20.** Matriz de decisión para la base.

	Seguridad	Estabilidad	Resistencia	Confiabilidad	Rigidez	Ergonomía	Modularidad	RANGO
Factor de ponderación	0.25	0.21	0.18	0.14	0.11	0.07	0.04	1.0
Base 1	10 2.5	10 2.1	8 1.44	9 1.26	8 0.88	9 0.63	10 0.4	9.2
Base 2	7 1.75	7 1.47	8 1.44	6 0.84	8 0.88	7 0.49	1 0.04	6.9
Base 3	7 1.75	7 1.47	8 1.44	6 0.84	8 0.88	4 0.28	1 0.04	6.7
Base 4	9 2.25	9 1.89	8 1.44	9 1.26	8 0.88	9 0.63	7 0.28	8.6

Fuente: Autores

De acuerdo con lo anterior, la base número 1 se considera la más estable debido a su disposición en forma de "H" lo que a su vez contribuye con la obtención de una base segura; razón por la cual obtiene una calificación de 10 puntos en estos dos criterios frente a las bases 2 y 3, que, aunque también son estables y seguras, lo son en menor medida debido, especialmente a su geometría. En cuanto a resistencia y rigidez, se considera calificar a todas las bases de la misma manera, bajo la suposición de que se encuentran hechas del mismo material.

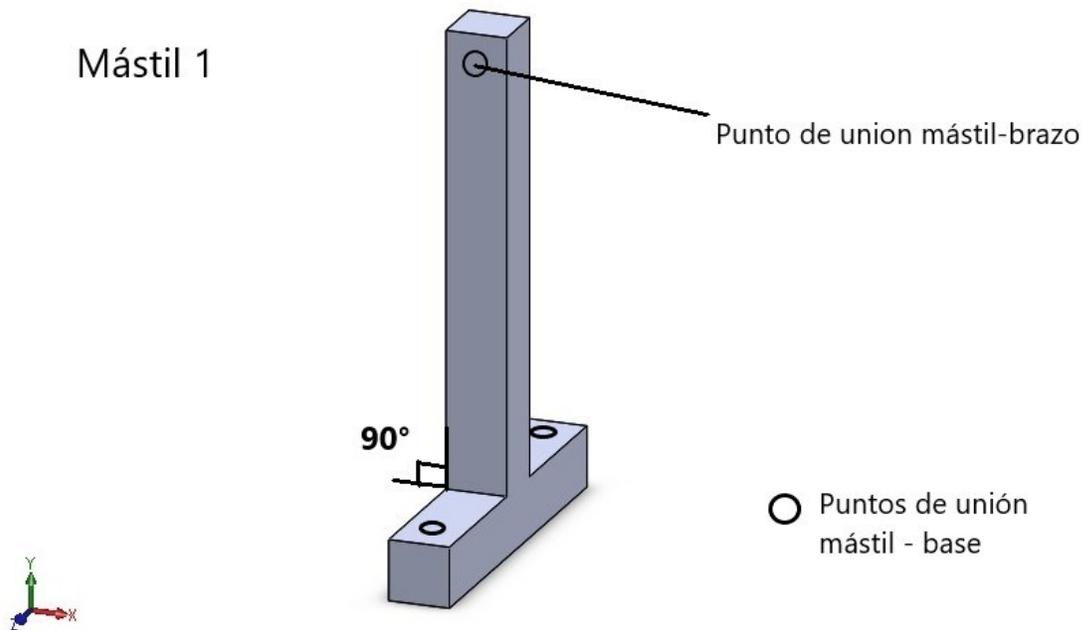
Se considera que la base número 1 es la más confiable debido a que tendrá un mejor desempeño gracias a su sistema ajustable que le permite adaptarse a todo tipo de sillas, y con el cual no cuentan las bases 2 y 3; en aspectos de ergonomía supera a la base número 3 gracias a su forma que permite una mejor ubicación de los demás elementos que componen la grúa, y en cuanto a modularidad aparece como la mejor opción respecto a las demás, debido a que cuenta con tres subdivisiones, frente a 2 que posee la base número 4 y ninguna las bases 2 y 3.

Con base en lo anterior, se procede a elegir la base número 1, la cual obtiene una calificación total de 9.2 en una escala del 1 al 10, siendo esta la base con mejores características respecto a las demás.

### 3.7 Selección del diseño conceptual para el mástil

Teniendo en cuenta las diferentes opciones de grúas existentes en el mercado, se toman como referencia los tipos de mástiles presentes en la mayoría de los modelos consultados. En las figuras 36 a 38 se pueden observar las alternativas que se tendrán en cuenta para el diseño del mástil.

**Figura 35.** Mástil recto.

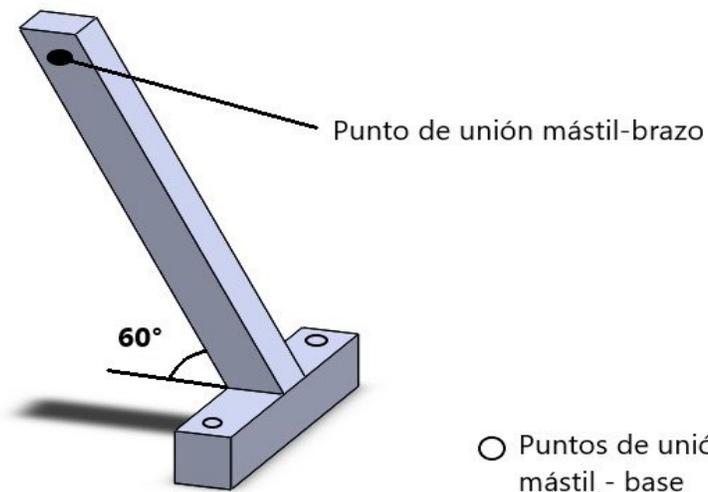


Fuente: Autores

Este tipo de mástil recto contribuye con la obtención de una grúa estable, sin embargo, siempre se recomienda dotar al mástil de una ligera inclinación entre 15 y 20 grados respecto a la línea vertical para mejorar los parámetros de estabilidad.

**Figura 36.** Mástil con inclinación.

**Mástil 2**

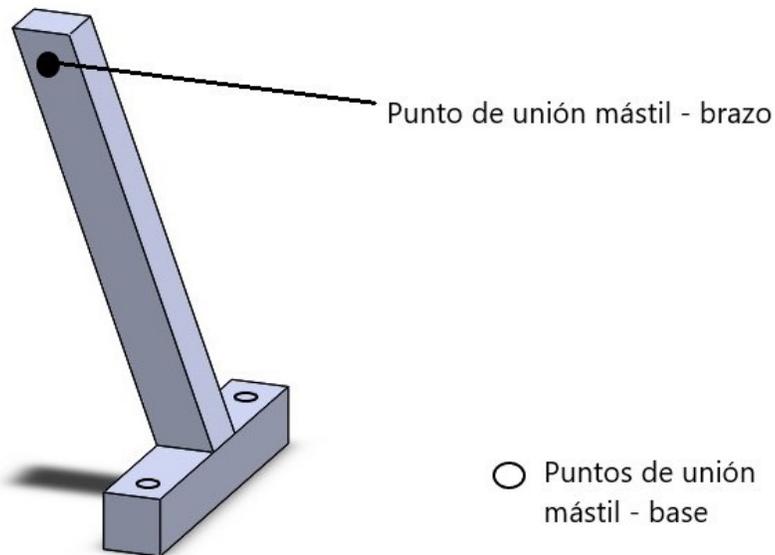


Fuente: Autores

Al dotar al mástil con demasiada inclinación como en la figura 37, se pierde estabilidad en la estructura además de estética en el diseño.

**Figura 37.** Mástil con ligera inclinación

**Mástil 3**



Fuente: Autores

Con base en la gran mayoría de grúas consultadas, se establece una inclinación para este mástil no tan pronunciada que cumpla con las recomendaciones hechas por los fabricantes, en donde una ligera inclinación además de brindar estabilidad a la estructura, permita ampliar la zona de trabajo para poder posicionar al paciente de manera más ergonómica.

### 3.7.1 Decisión de diseño para el mástil

Se considera que un mástil es estable y seguro cuando posee una correcta disposición dentro del conjunto que conforma la estructura; su resistencia y rigidez están dados por el tipo de material que se use en su fabricación lo cual define el punto de rotura y de deformación respectivamente bajo la aplicación de determinadas cargas; la confiabilidad de un mástil está determinada por el tipo de unión que existe entre este y la base, el cual generalmente se hace por medio de soldadura; finalmente la ergonomía del mástil está determinada por la inclinación que este posea debido a que contribuye con el aumento del espacio disponible para realizar la elevación del paciente.

A continuación, se presenta una matriz de decisión con la cual se selecciona el tipo de base que se usará en el diseño, según los criterios de selección anteriormente mencionados.

**Tabla 21.** Matriz de decisión para el mástil

	Seguridad	Estabilidad	Resistencia	Confiabilidad	Rigidez	Ergonomía	RANGO
Factor de ponderación	0.29	0.24	0.19	0.14	0.09	0.05	1.0
Mástil 1	9 2.61	9 2.16	8 1.52	9 1.26	8 0.72	9 0.45	8.7
Mástil 2	7 2.03	7 1.68	8 1.52	8 1.12	8 0.72	7 0.35	7.4
Mástil 3	10 2.9	10 2.4	8 1.52	9 1.26	8 0.72	10 0.5	9.3

Fuente: Autores

Según la tabla 21 el mástil número 3 obtiene la calificación más alta en aspectos de estabilidad y seguridad respecto al mástil número 2, debido a que cuenta con un ángulo de inclinación apropiado que favorece su correcta ubicación en la estructura y contribuye con la obtención de una mayor área de trabajo sin afectar aspectos estéticos del diseño. En cuanto a resistencia y rigidez se califican todas las opciones con el mismo valor bajo la suposición de que se encuentran hechas del mismo material. La confiabilidad del mástil número 3 es ligeramente superior a la del mástil número 2, debido a que este último presenta un ángulo de inclinación muy elevado que podría causar tensiones altas en el punto de unión con la base al concentrar el peso demasiado atrás de la estructura. En aspectos de ergonomía la base número 3 es la mejor opción gracias a que su ligera inclinación aumenta el área de trabajo sin afectar la estabilidad de la grúa.

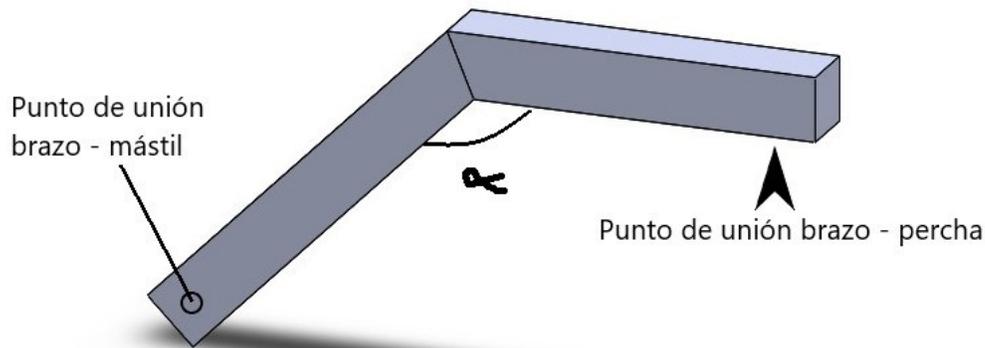
Con base en lo anterior, se procede a elegir el mástil número 3, el cual obtiene una calificación total de 9.3 en una escala del 1 al 10, siendo este el mástil con mejores características respecto a los demás.

### 3.8 Selección del diseño conceptual para el brazo

Teniendo en cuenta las diferentes opciones de grúas existentes en el mercado, se toman como referencia los tipos de brazos móviles presentes en la mayoría de los modelos consultados. En las figuras 38 a 41 se pueden observar las alternativas que se tendrán en cuenta para el diseño del brazo.

**Figura 38.** Brazo con disposición en ángulo

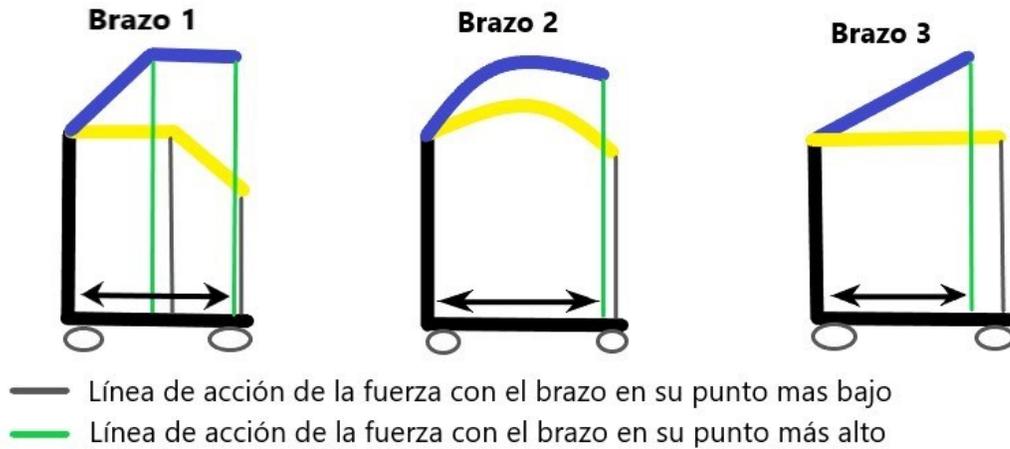
#### Brazo 1



Fuente: Autores

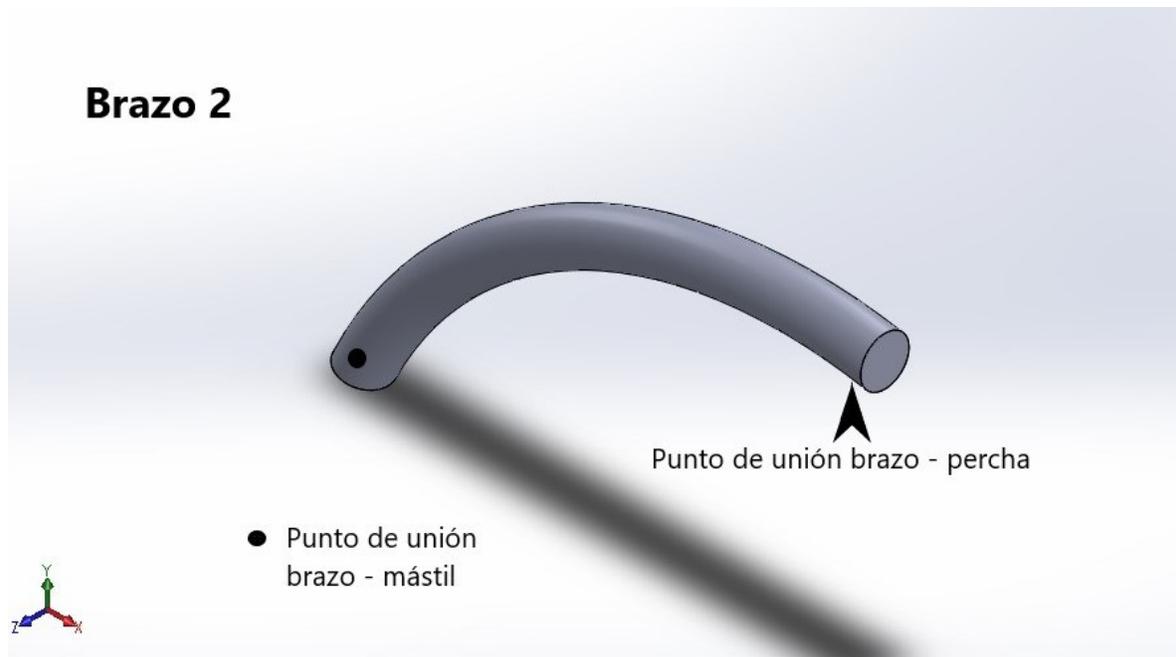
Este tipo de brazo se encuentra presente en muchas de las grúas consultas, su disposición en ángulo permite que al momento de efectuar la elevación se cuente con un área de trabajo mucho más amplia lo que a su vez permite mayor espacio entre la estructura y el paciente como se muestra en la figura 40.

**Figura 39.** Área de trabajo según el tipo de brazo.



Fuente: Autores

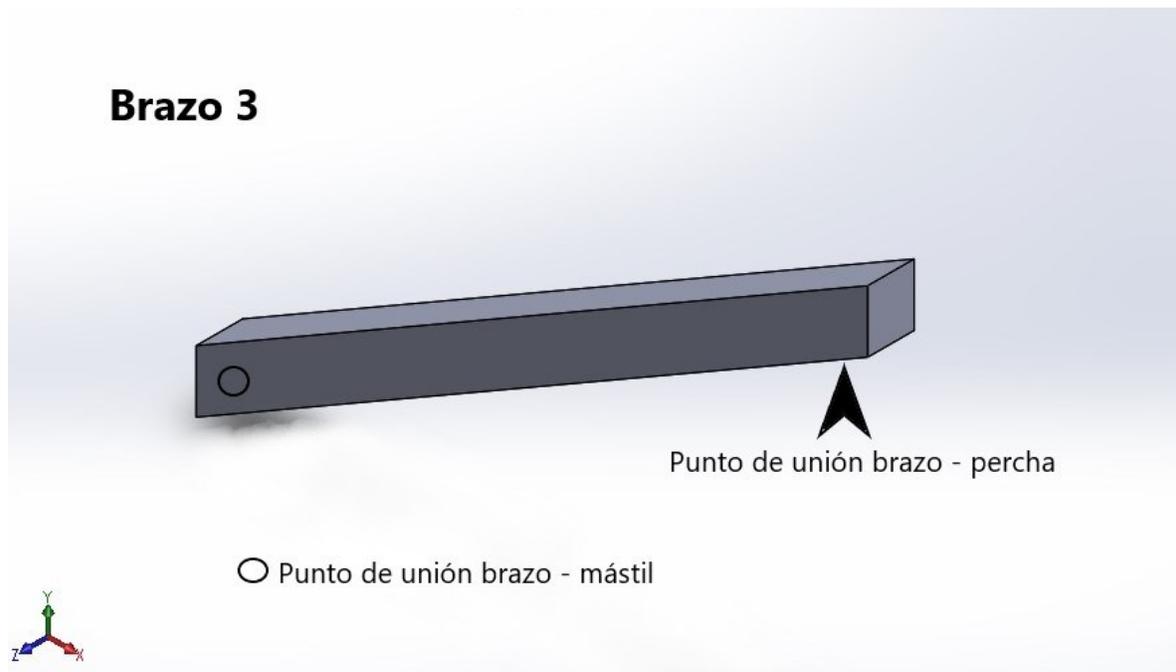
**Figura 40.** Brazo curvo



Fuente: Autores

Este tipo de brazo es usado generalmente en grúas con estructura cilíndrica, es una buena opción porque al igual que los brazos que tienen disposición en ángulo, permite una amplia área de trabajo, en donde el paciente no corre el riesgo de chocar con la estructura al momento de ser elevado.

**Figura 41.** Brazo recto



Fuente: Autores

El brazo de tipo recto no es utilizado en ningún modelo de los consultados debido a que por su forma concentra la mayor parte del peso del paciente en el punto de unión del brazo con el mástil, generando allí tensiones innecesarias que podrían ser distribuidas como en los diseños de brazo en ángulo y curvo, sin embargo, se tiene en cuenta como una opción poco convencional que debe ser mencionada.

### 3.8.1 Decisión de diseño para el tipo de brazo

Se considera que un brazo es seguro cuando soporta de manera adecuada las cargas que aplican sobre él y se comporta de la manera correcta para la que fue diseñado sin causar riesgos sobre el paciente y/o el personal encargado de las labores de asistencia; la resistencia y la rigidez de este elemento están dadas por el tipo de acero usado en su fabricación y el tipo de perfilera empleada; la confiabilidad se determina en gran parte por el tipo de unión entre el mástil y el brazo y finalmente el criterio de ergonomía se evalúa según sea el área de trabajo o espacio disponible que exista en la grúa, tal y como se muestra en la figura 40.

A continuación, se presenta una matriz de decisión con la cual se selecciona el tipo de brazo que se usará en el diseño, según los criterios de selección anteriormente mencionados.

**Tabla 22.** Matriz de decisión para el brazo

	Seguridad	Resistencia	Confiabilidad	Rigidez	Ergonomía	RANGO
Factor de ponderación	0.33	0.27	0.2	0.13	0.07	1.0
Brazo 1	10 3.3	9 2.43	10 2	9 1.17	10 0.7	9.6
Brazo 2	9 2.97	8 2.16	9 1.8	8 1.04	10 0.7	8.7
Brazo 3	8 2.64	9 2.43	7 1.4	9 1.17	6 0.42	8.0

Fuente: Autores

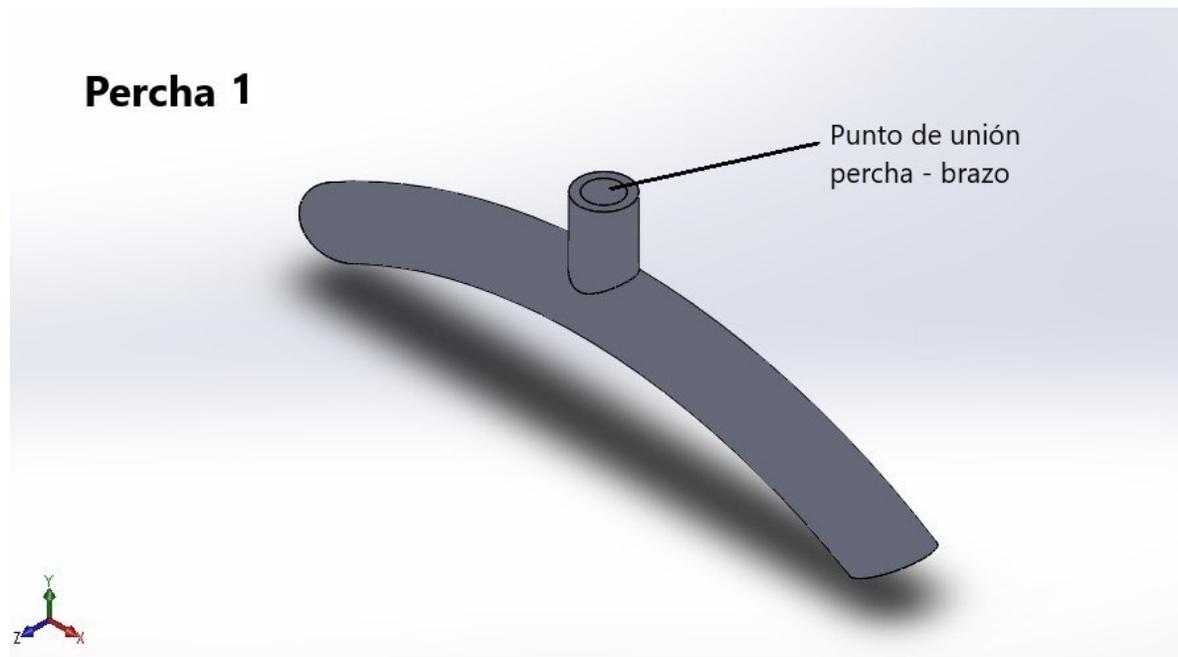
Según la tabla 22 el brazo número 1 obtiene la máxima calificación de 10 puntos en criterios de seguridad, confiabilidad y ergonomía debido principalmente a la forma en ángulo que permite un mejor desempeño y un área de trabajo mucho más amplia que la del brazo número 3. El brazo número 3, al ser recto, constituye una opción poco atractiva debido al área de trabajo reducida de la cual se dispone, y que ocasiona incomodidad al paciente pues este podría golpearse con la estructura al momento de realizar su elevación y traslado. En aspectos de resistencia y rigidez, a todos los brazos se les considera hechos del mismo material, sin embargo, el brazo número dos difiere ligeramente en su calificación debido al tipo de perfilera usado en su construcción; el cual, al ser de sección redonda, disminuye un poco sus propiedades mecánicas de rigidez asociadas al límite elástico según la tabla 17.

De acuerdo con lo anterior, la mejor opción para el tipo de brazo a utilizar en el diseño, corresponde al brazo número 1, el cual presenta unas mejores características que los brazos 2 y 3 en cuanto a ergonomía y resistencia debido a su forma y disposición dentro de la estructura de la grúa.

### **3.9 Selección del diseño conceptual para la percha**

Teniendo en cuenta las diferentes opciones de grúas existentes en el mercado, se toman como referencia los tipos de perchas encontrados en la mayoría de los modelos consultados. En las figuras 43 a 45 se pueden observar las alternativas que se tendrán en cuenta para el diseño de la percha.

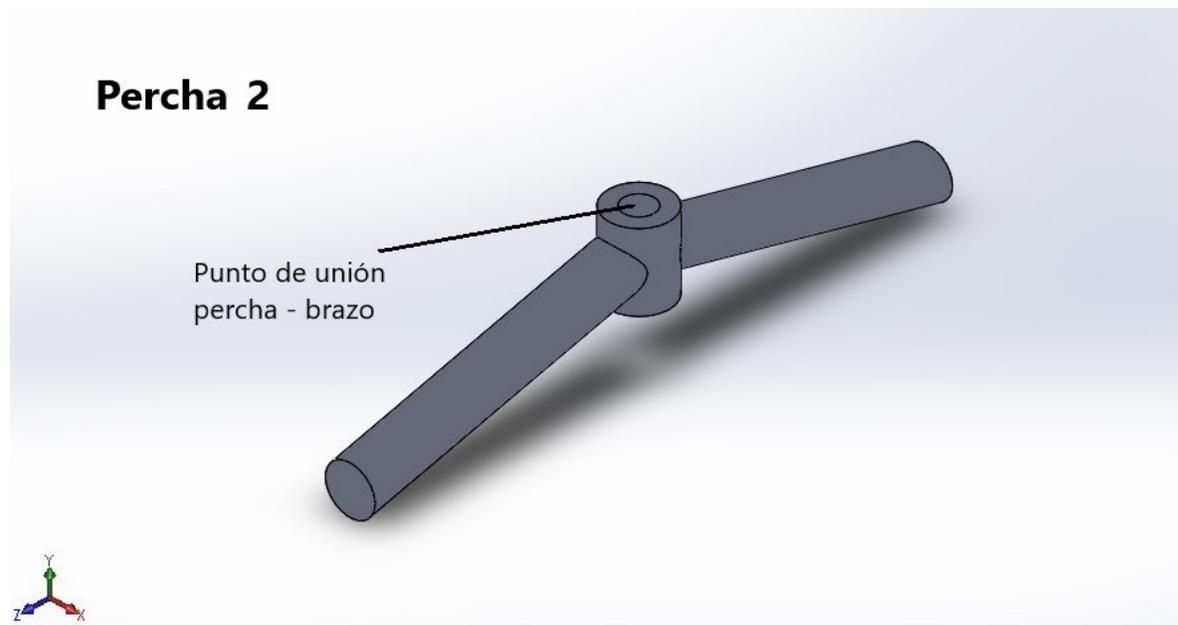
**Figura 42. Percha 1**



Fuente: Autores

La percha número 1 usada en las grúas 1, 5, 15, 16 y 18, es una percha de fácil diseño que tiene forma curvada y por su practicidad es usada en modelos de grúas de gama media -alta.

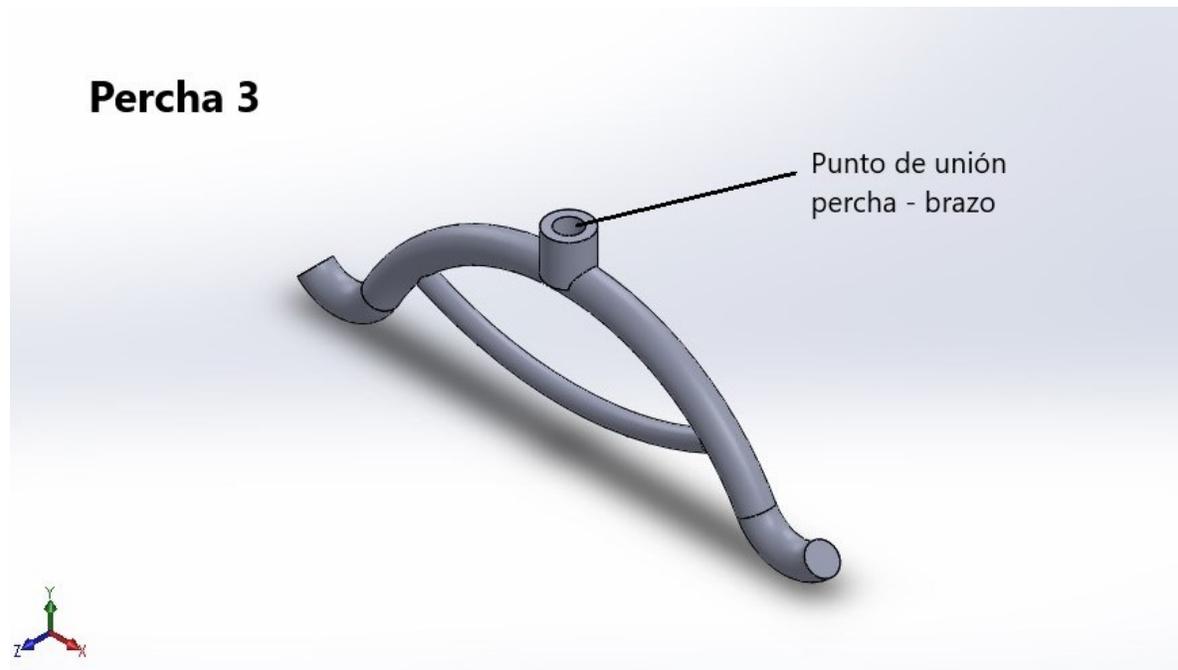
**Figura 43. Percha 2**



Fuente: Autores

Este tipo de percha se puede observar en las grúas 9, 10 y 17; aunque no es tan ampliamente usada, posee características de diseño sencillas y es practica en su desempeño.

**Figura 44.** Percha 3



Fuente: Autores

La percha número 3 es una percha más estilizada, presente en los modelos de gama alta principalmente; el tipo de segmento curvo hacen que sea una percha atractiva en lo estético, y su barra intermedia de refuerzo le permite contar con una resistencia un poco superior respecto de las perchas 1 y 2.

### 3.9.1 Decisión de diseño para el tipo percha

Para la selección del tipo de percha a usar en el diseño conceptual, se toman en cuenta aspectos de seguridad, los cuales son inherentes a la resistencia y rigidez que posee el elemento y que están determinados por el tipo de material usado en su fabricación. Se considera que una percha es segura cuando el material en la que está construida posee las características y propiedades mecánicas apropiadas, acordes con el valor de las cargas a las cuales será sometida; en cuanto a ergonomía, una percha se considera más o menos ergonómica según la facilidad con la que pueda engancharse en ella el paciente lo que a su vez está determinado por el número de ganchos de sujeción.

A continuación, se presenta una matriz de decisión con la cual se selecciona el tipo de percha que se usará en el diseño.

**Tabla 23.** Matriz de decisión para la percha

	Seguridad	Resistencia	Confiabilidad	Rigidez	Ergonomía	RANGO
Factor de ponderación	0.33	0.27	0.2	0.13	0.07	1.0
Percha 1	9 2.97	9 2.43	8 1.6	9 1.17	8 0.56	8.7
Percha 2	9 2.97	9 2.43	10 2	9 1.17	10 0.7	9.2
Percha 3	9 2.97	10 2.7	8 1.6	9 1.17	9 0.63	9.0

Fuente: Autores

Según la tabla 23 la percha número 2 presenta mejores características en cuanto a confiabilidad y ergonomía, debido principalmente a que posee un diseño práctico y sencillo. Con una calificación de 9.2, se elige la percha número 2 para la elaboración del presente diseño.

### 3.10 Características de un actuador hidráulico

Acorde con el estado del arte del numeral 1.6, donde se establecen los componentes principales de una grúa móvil, el actuador es un elemento esencial para el funcionamiento de la grúa, ya que es el encargado de aplicar una fuerza a través de un recorrido lineal sobre el brazo lo que permite elevarlo y a su vez elevar la percha.

Teniendo en cuenta los requisitos de diseño con base en la carga necesaria para la elevación de los adultos mayores, que cumpla con las condiciones de seguridad necesarias, las características principales de un actuador son:

- **Carrera:** El actuador hidráulico dispone de una carrera pequeña pero lo suficiente para poder realizar su función. La carrera es el recorrido de la pieza cilíndrica maciza que se mueve linealmente en el interior de cuerpo del cilindro.
- **Fuerza máxima:** Con base en los modelos comerciales disponibles en la ciudad de Bogotá se toma como valor de referencia una fuerza máxima entre 3 y 5 toneladas para este tipo de actuador.

### 3.11 Sistema de apertura para la base

Para el tipo de grúas con sistema de accionamiento hidráulico se encuentra dos tipos de sistemas de pedal y de palanca manual, para el presente diseño se elige el de pedal, que se definirá en detalle en el capítulo 5.

## 4 DISEÑO PRELIMINAR DE LA GRUA

### 4.1 Requerimientos de diseño

De acuerdo con el trabajo de campo realizado en el hogar geriátrico san Pedro Claver, se determina a través de la observación y de la toma de medidas, los requerimientos de diseño necesarios para el adecuado dimensionamiento de la grúa como lo son el ancho y alto de las puertas de las habitaciones, el tipo de tipo de piso, las dimensiones de los pasillos etc.

A continuación, se muestran algunas imágenes alusivas al trabajo de campo realizado para la obtención de los requerimientos de diseño mostrados en la tabla 25.

#### 4.1.1 Adulto con el peso mayor

Según la información recabada con el personal administrativo del lugar, 104 kg corresponde al peso máximo de uno de los pacientes que se registra en el hogar geriátrico para finales del año 2019. Con base en lo anterior, y debido a que su condición de adultos mayores, en raras ocasiones permite superar el límite de los 100 kg de peso, se propone una grúa con capacidad máxima de 135 kg como se observa en el título que lleva este proyecto.

#### 4.1.2 Altura mínima de las puertas

Con base en el trabajo de campo se midieron las puertas de los dormitorios de los adultos mayores, en donde la puerta más pequeña tiene una altura con un valor de 1780 mm de alto lo que equivale a 1,78 metros. Este valor se tiene en cuenta para determinar la altura definitiva de la grúa.

**Figura 45.** Puerta de menor altura de los dormitorios del hogar geriátrico San Pedro Claver.



Fuente: Autores

#### 4.1.3 Ancho mínimo de las puertas

Se identifica la puerta más angosta y por medio de las mediciones realizadas en el trabajo de campo se registra un valor de 1020 mm que equivalen a 1,02 m de ancho.

**Figura 46.** Puerta de menor ancho de los dormitorios del hogar geriátrico San Pedro Claver.



Fuente: Autores

#### 4.1.4 Altura mínima del techo

Para el caso en estudio, la altura del techo no es un valor limitante, debido a que los adultos mayores descansan en módulos los cuales no cuentan con techo, sin embargo, lo que limita el diseño es la altura de las puertas en el caso de ciertas habitaciones en especial como en los baños y de los pasillos donde existe la presencia de algunos "arcos".

**Figura 47.** Ausencia de techo como factor limitante en los módulos habitacionales donde descansan los adultos mayores.



Fuente: Autores

#### 4.1.5 Distancia mínima entre camas

Para el presente caso, se considera de suma importancia observar la distribución y el espacio disponible existente entre las camas de los adultos mayores, para poder determinar las medidas pertinentes en cuanto a la longitud de la grúa, y así garantizar una correcta maniobrabilidad en espacios reducidos. La distancia mínima entre camas encontrada en las habitaciones, es de 700 mm.

**Figura 48.** Distancia mínima entre camas



Fuente: Autores

#### 4.1.5 Altura mínima de las camas

Esta medida se tiene en cuenta para el correcto dimensionamiento de la base, y la correcta selección de las rodachinas en cuanto a su tamaño y con esto garantizar que la grúa pueda ser usada en todos los dormitorios sin ningún problema de accesibilidad con todos los pacientes. La cama con menor altura corresponde a la mostrada en la figura 50, con una medida de 290 mm desde el piso hasta los paralelos.

**Figura 49.** Altura mínima de las camas



Fuente: Autores

#### 4.1.6 Ancho de los pasillos

El hogar geriátrico San Pedro Claver cuenta con un amplio espacio dentro de sus instalaciones en donde el ancho de los pasillos no constituye un factor limitante para el presente diseño; las medidas de estos pasillos son de 1200 mm lo que equivale a 1,20 m.

**Figura 50.** Pasillo y Habitaciones de descanso de los adultos mayores.



Fuente: Autores

#### 4.1.7 Altura de los arcos presentes en los pasillos

En las instalaciones del hogar geriátrico, existen arcos entre los muros de los pasillos dispuestos como soportes estructurales de las habitaciones de los pacientes. Debido a que la grúa debe de ser movilizada por estos pasillos, se determina la altura de dichos arcos que corresponde a 1940 mm.

**Figura 51.** Arcos presentes en los pasillos



Fuente: Autores

#### 4.1.8 Tipo de piso

Con base en la observación en el trabajo de campo se determina la condición del suelo, el cual presenta un tipo de piso liso y uniforme que no presenta barreras que impidan el correcto traslado de la grúa, su material es cerámica de tipo baldosín, como se muestra en la figura 53.

**Figura 52.** Tipo de piso de las instalaciones del hogar geriátrico San Pedro Claver



Fuente: Autores

#### 4.1.9 Movilización de la grúa entre pisos

El hogar geriátrico San Pedro Claver cuenta con dos pisos en donde se realizan las labores de asistencia para los adultos mayores; también cuenta con un ascensor para efectuar su traslado de un nivel a otro, por lo cual no es necesario que la grúa sea plegable o desarmable debido a que puede ser trasladada con facilidad dentro de las instalaciones.

**Figura 53.** Ascensor presente en el hogar geriátrico



Fuente: Autores

La tabla 24 presenta la información relevante sobre las dimensiones del ascensor, ya que este será un factor limitante al momento de diseñar la grúa.

**Tabla 24.** Dimensiones del ascensor.

Medidas ascensor	
Ancho de la puerta (mm) :	900
Altura de la puerta (mm) :	2100
Ancho del cubículo (mm) :	1090
Profundidad del cubículo (mm) :	1320

Fuente: Autores

A continuación, la tabla número 25 resume la información referente a los requerimientos de diseño anteriormente mencionados, que se encuentran basados en las necesidades de los adultos mayores y las condiciones de su entorno.

**Tabla 25.** Requerimientos de diseño del hogar geriátrico San Pedro Claver.

Requerimientos de diseño	
Adulto con el peso mayor (kg)	104
Altura mínima de las puertas (mm)	1780
Ancho mínimo de las puertas (mm)	1020
Altura mínima del techo	No aplica
Distancia mínima entre camas (mm)	700
Altura mínima de las camas (mm)	290
Ancho de los pasillos (mm)	1200
Altura de los arcos presentes en los pasillos (mm)	1940
Tipo de piso	Baldosín, liso, uniforme.
¿La grúa debe ser plegable?	NO
¿Hay que trasladar la grúa entre pisos?	SI
¿El lugar tiene ascensor?	SI

Fuente: Autores

## 4.2 Dimensionamiento de la grúa

Par efectuar el correcto dimensionamiento de la grúa, se tiene en cuenta el diseño conceptual propuesto en el capítulo anterior junto con los requerimientos de diseño, el análisis hecho en el estado del arte y los aspectos funcionales con los que debe cumplir cada uno de los elementos que la conforman.

A continuación, en la tabla 26 se presenta la información resumida referente a los promedios de los valores encontrados para cada uno de los principales parámetros constructivos.

**Tabla 26.** Promedios y desviación estándar de las especificaciones técnicas de las grúas comerciales analizadas en el estado del arte

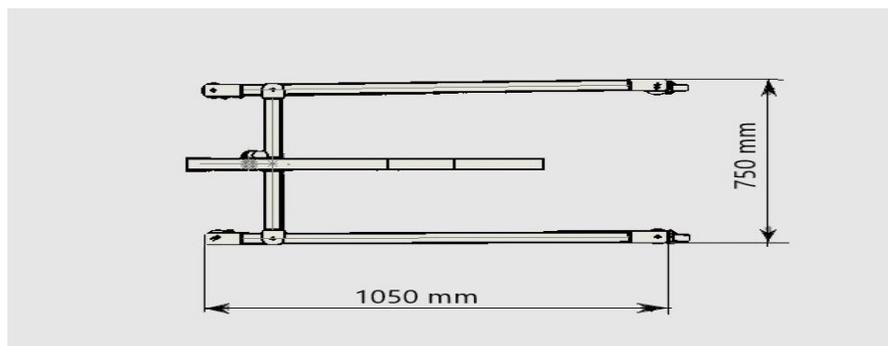
Principales parametros	Promedio	Desviación estándar
Capacidad máxima de carga :	162 kg	29 kg
Longitud total :	1129 mm	78,6 mm
Altura total :		
Máxima	1812 mm	79 mm
Mínima	1216 mm	81 mm
Altura de la percha :		
Máxima	1700 mm	151 mm
Mínima	546 mm	186 mm
Ancho de la base :		
Patas cerradas	649 mm	113 mm
Patas abiertas	889 mm	111 mm
Peso grúa :	37,9 kg	6,6 kg

Fuente: Autores

Según el análisis realizado del estado del arte, y con base en los requerimientos de diseño, se procede a definir las medidas preliminares que sirven de orientación en el diseño de la grúa.

- **Capacidad máxima de carga:** Aunque este valor fue definido desde el inicio del proyecto, se puede evidenciar que se encuentra dentro del rango permitido por la desviación estándar de los promedios encontrados en las grúas revisadas.
- **Longitud total:** Se elige como longitud un valor de 1050 mm, esto debido a que la distancia existente entre las camas de algunas habitaciones no supera los 700 mm y se requiere una grúa cuya longitud sea lo más corta posible respetando los valores mínimos permitidos para este parámetro, según el estudio hecho del estado del arte.

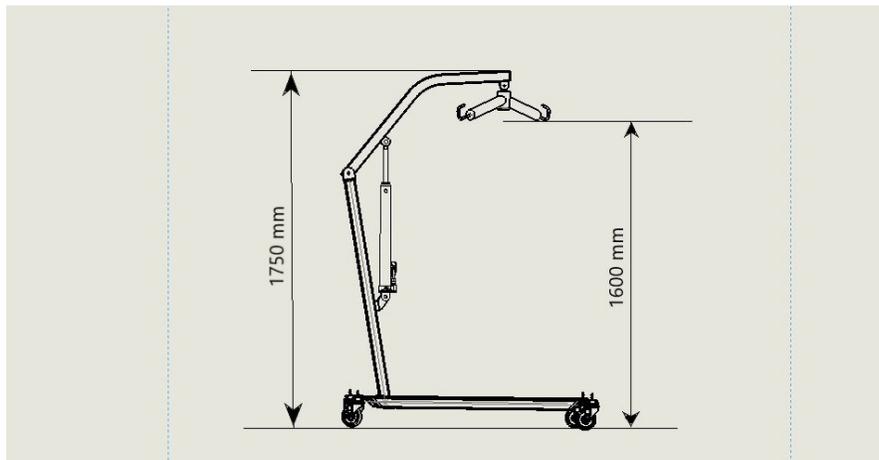
**Figura 54.** Medidas de la longitud de la base



Fuente: Autores

- **Altura total máxima de la grúa:** Se tiene que para los requerimientos de diseño del hogar geriátrico la altura mínima permitida de la puerta es de 1780 mm, basado en el promedio hallado de las grúas consultadas se elige una medida de 1750 mm, teniendo en cuenta la desviación estándar para este caso.
- **Altura máxima de la percha:** Para la altura máxima de la percha se toma el valor promedio encontrado para los 20 modelos de grúas consultados correspondiente a 1700 mm, ya que esta altura es adecuada según las dimensiones de las puertas de las habitaciones de los adultos mayores.

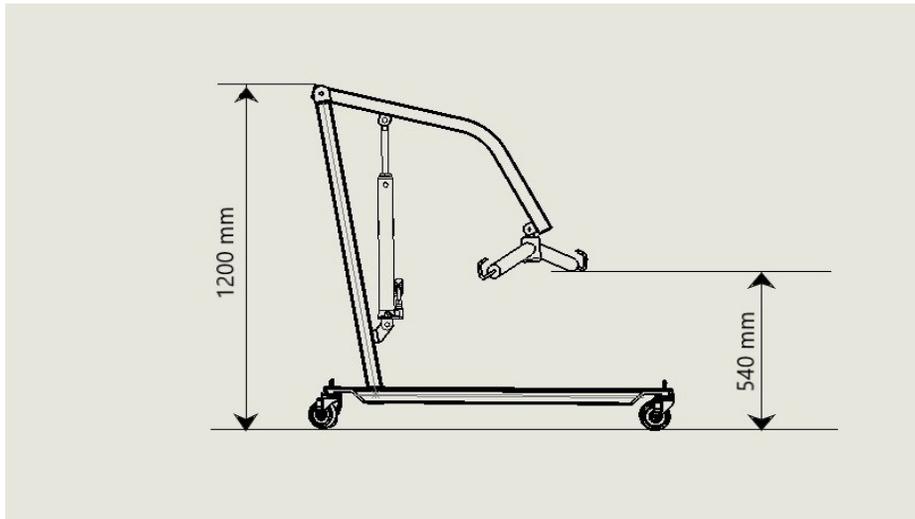
**Figura 55.** Altura total máxima de la grúa y altura máxima de la percha



Fuente: Autores

- **Altura total mínima de la grúa:** Para este parámetro se determina un valor de 1200 mm el cual se encuentra dentro del rango de los valores permitidos según el promedio y su desviación estándar y no incumple los requerimientos de diseño.
- **Altura mínima de la percha:** Para este parámetro se elige un valor ligeramente por debajo del promedio, correspondiente a 540 mm, ya que, en caso de requerirlo, es útil contar con un mayor rango de movimiento que permita realizar la elevación del paciente incluso si este se encuentra en el piso.

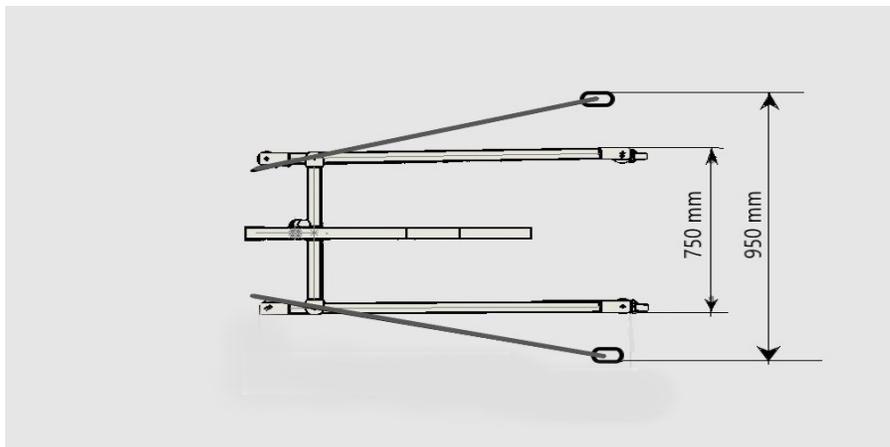
**Figura 56.** Altura mínima de la grúa y altura mínima de la percha



Fuente: Autores

- **Ancho de la base:** De acuerdo con los aspectos funcionales que se observaron en las grúas consultadas en el estado del arte, se determinó que la base debe ser de tipo ajustable para permitir el acceso no solo a sillas de ruedas convencionales sino a todo tipo de sillas que pudieran hacer parte del hogar geriátrico.
- **Patas cerradas:** Para el ancho de la base con las patas cerradas, se elige un valor de 750 mm de acuerdo con el ancho de las puertas medido en el trabajo de campo, y con base en el valor promedio hallado para este parámetro en las grúas consultas.
- **Patas abiertas:** Se elige un valor de 950 mm para el ancho de las patas cuando estas se encuentran abiertas, teniendo en cuenta para la definición de este valor principalmente las dimensiones generales de una silla de ruedas las cuales aparecen en la 58.

**Figura 57.** Ancho de la base con las patas abiertas y cerradas

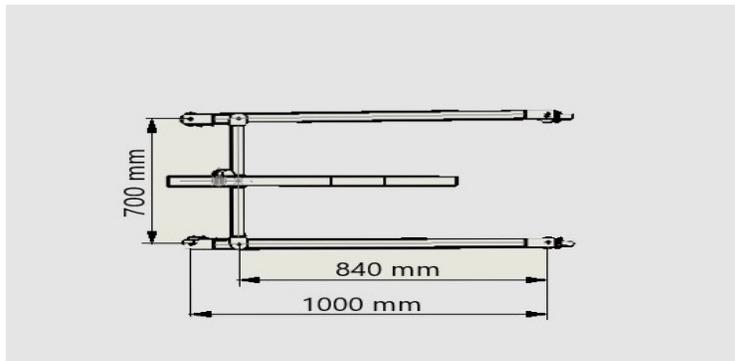


Fuente: Autores

- **Peso de la grúa:** Este parámetro viene generalmente dado por el peso de cada uno de los componentes de la grúa que a su vez se encuentra determinado por el tipo de material usado en su fabricación; para el presente diseño se toma 40 kg como límite máximo.

Para la realización del diseño detallado de la grúa, se establecen cotas preliminares para las distancias entre centros, que serán de utilidad al momento de realizar los cálculos para obtener las medidas definitivas.

**Figura 58.** Distancia entre centros



Fuente: Autores

Teniendo en cuenta los requerimientos de diseño y con base en la selección del tipo de componentes a usar que se realizó en el capítulo 3, se propone la grúa de la figura 60, la cual cumple con los aspectos funcionales observados en el análisis del estado del arte.

**Figura 59.** Diseño preliminar propuesto para la grúa



Fuente: Autores

### **4.3 Aspectos normativos generales**

El tipo de material que se elige es considerable para el diseño de la grúa, ya que, de acuerdo a sus propiedades en cuanto a su resistencia de tracción, debido a que la grúa está sometida a diferentes cargas, lo cual puede generar deformaciones en algunos puntos críticos como son en las uniones de los elementos y en los puntos de apoyo.

Como ya se observó en el numeral 1.12 donde muestra una serie de tablas donde se presentan propiedades y composición química de los aceros estructurales de acuerdo con la norma ASTM.

## 5 DISEÑO DE DETALLE

### 5.1 Análisis estático de la estructura

Para el diseño detallado de la grúa se tienen en cuenta las relaciones de equilibrio que dependen de las fuerzas aplicadas y del tipo de material. Para el presente diseño, se establece que el tipo de material a emplear debe ser acero estructural para secciones huecas ASTM 500 (para perfiles estructurales grado C) y ASTM A36 (para las platinas) debido a sus propiedades mecánicas y de composición principalmente.

Como se muestra en la tabla 17 el valor del límite elástico o esfuerzo de fluencia del acero ASTM A500 grado C es de  $\sigma_y = 345$  MPa y el esfuerzo de fluencia para ASTM A36 es  $\sigma_y = 250$  MPa se muestra en la tabla 19.

El factor de seguridad para el diseño de estructuras bajo cargas estáticas se encuentra entre 1,25 y 2 lo que garantiza un alto grado de confianza en todos los datos del diseño

El factor de seguridad a utilizar es de  $FS = 2$  con base en el tipo de material y condiciones del entorno del hogar geriátrico.

#### 5.1.1 Cálculo de la situación más crítica.

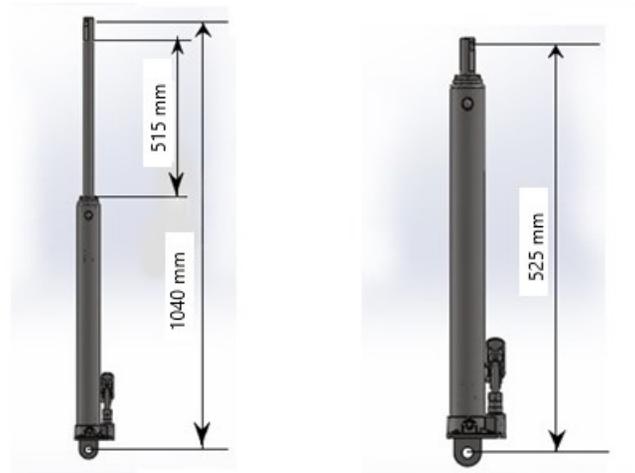
Para el presente estudio, se realizan los cálculos estáticos de la estructura, analizando la posición más desfavorable en cuanto a la resistencia de la grúa.

Para la selección del punto de apoyo en el brazo horizontal se considera que el brazo de la grúa se encuentra completamente extendido y bajo la acción de la carga máxima que va a soportar, cuyo valor es de 135 kg que equivale a  $W = 1324$  N, como se muestra en la figura 61-(A) se coloca el punto de apoyo del actuador hidráulico con su máxima carrera.

De acuerdo con el numeral 3.12, el actuador es parte esencial de la grúa y la posición en donde va estar ubicado es una decisión importante, para el correcto funcionamiento del hidráulico depende de las dimensiones y de su fuerza lineal de empuje.

Para el análisis se considera la situación más crítica en la cual el pistón está completamente extendido. Con base en los catálogos comerciales del actuador hidráulico la fuerza está comprendida entre 3 y 5 toneladas, que equivale a 29.4 kN y 49 kN respectivamente, para este cálculo se opta por el de 3 toneladas, cuya longitud total es de 1050 mm.

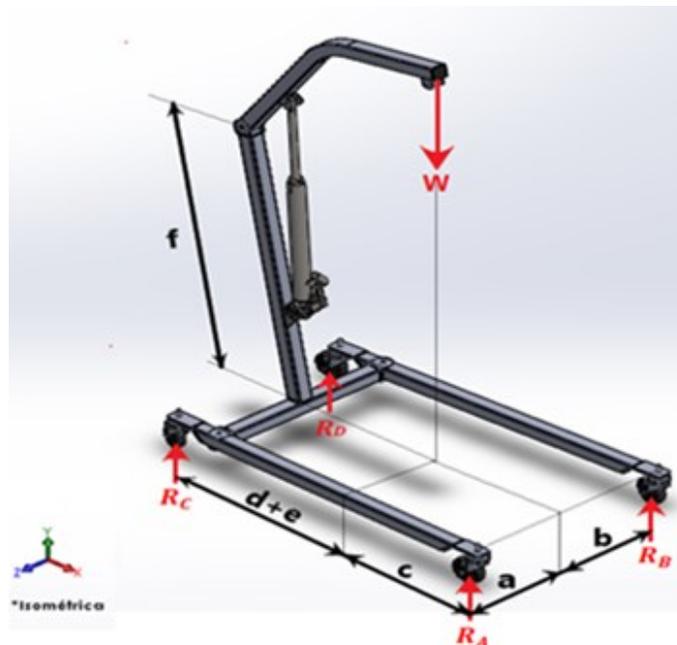
**Figura 60.** Actuador hidráulico, dimensiones y medida de la carrera.



Fuente: Autores

Para el análisis estático se comienza realizando el diagrama de cuerpo libre de la grúa completa que se observa en la figura 61.

**Figura 61.** Diagrama de cuerpo libre en 3D, vista isométrica

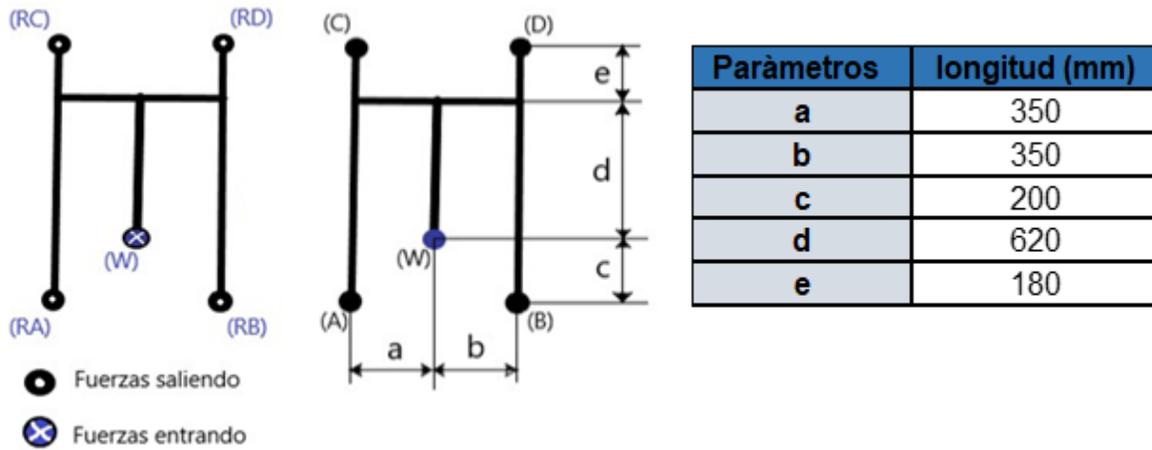


Fuente: Autores

Como elementos auxiliares, se realizan los planos de vista superior, frontal y lateral, con el objetivo de dimensionar claramente las distancias y parámetros más

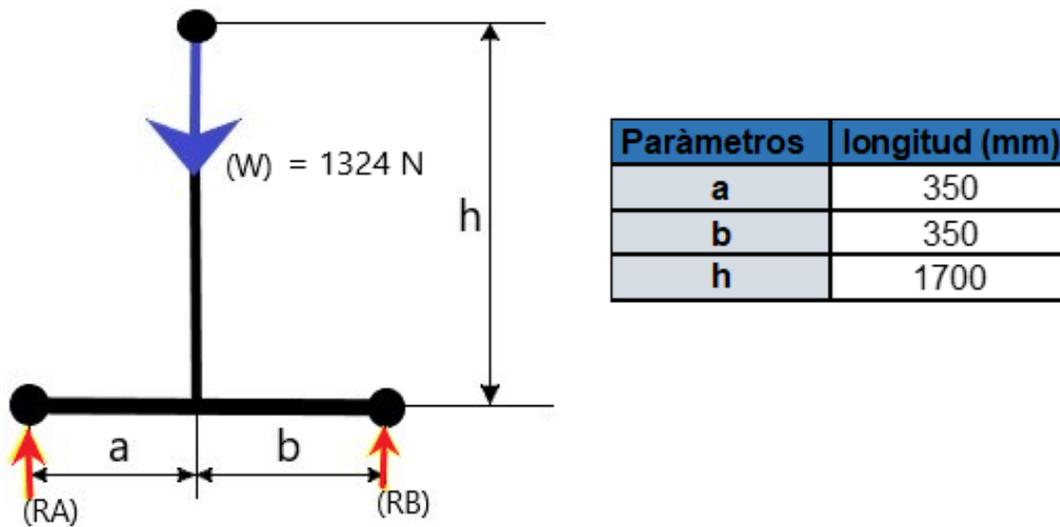
importantes a la hora de realizar los cálculos. Las figuras 63, 64 y 65 muestran la ubicación de las reacciones y de las distancias entre cada una de ellas y de los elementos que componen la grúa.

**Figura 62.** Diagrama de cuerpo libre, vista superior



Fuente: Autores

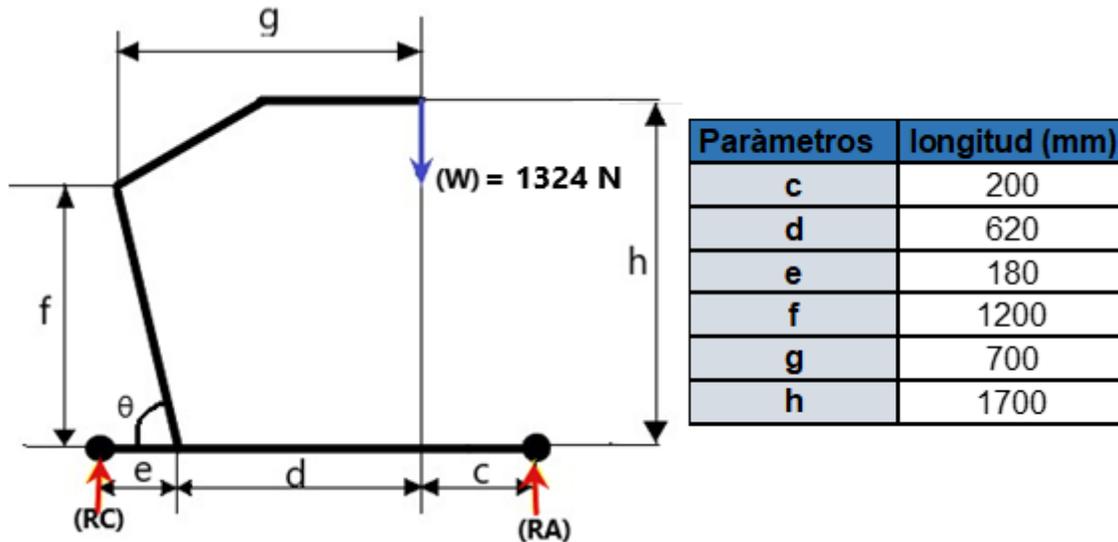
**Figura 63.** Diagrama de cuerpo libre, vista frontal



Fuente: Autores

**Figura 64.** Diagrama de cuerpo libre, vista lateral

Para los cálculos se realiza una vista lateral para encontrar las reacciones en los apoyos.



Fuente: autores

La tabla 27, recopila los valores asociados a cada uno de los caracteres alfabéticos que fueron dados a los parámetros de la grúa.

**Tabla 27.** Longitud de los parámetros de la grúa.

Parámetros	longitud (mm)
a	350
b	350
c	200
d	620
e	180
f	1200
g	700
h	1700

Fuente: autores

### 5.1.2 Análisis de fuerzas

Observando la vista superior figura 63 y la vista frontal figura 64 se observa que la línea de acción del peso en el funcionamiento normal de la grúa va quedar en un plano medio de simetría, por lo cual las reacciones a la derecha-izquierda van hacer

iguales  $R_A$  y  $R_B$  que están adelante y de la misma manera las reacciones a la derecha-izquierda que están en la parte de atrás  $R_C$  y  $R_D$ , por lo tanto:

$$R_A = R_B$$

$$R_C = R_D$$

De acuerdo con vista isométrica de la figura 62 la sumatoria de fuerzas es

$$+\rightarrow \sum F_x = 0 ;$$

$$+\uparrow \sum F_y = 0 ;$$

$$R_A + R_B + R_C + R_D - W = 0$$

$$2R_A + 2R_C = W \quad \text{Ecuación (10)}$$

Apoyándonos en la figura 65, Para encontrar las reacciones en los apoyos se realiza la sumatoria de momentos alrededor de un punto específico, en este caso alrededor del punto c.

$$+\curvearrowright \sum M_C = 0 ;$$

$$W(d + e) - 2R_A(d + e + c) = 0$$

$$R_A = \frac{W(d+e)}{2(d+e+c)} \quad \text{Ecuación (11)}$$

Reemplazando ecuación [2] en [1], se tiene que:

$$R_C = \frac{w}{2} - \frac{W(d+e)}{2(d+e+c)} \quad \text{Ecuación (12)}$$

Reemplazando los valores de los caracteres alfabéticos de la tabla 27 en las ecuaciones (2) y (3), los valores de las reacciones son:

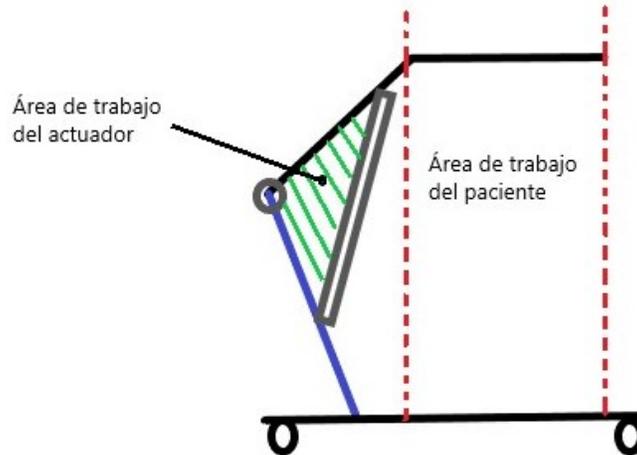
$$R_A = R_B = 529,6 \text{ N}$$

$$R_C = R_D = 132,4 \text{ N}$$

Una vez halladas las reacciones en los puntos de apoyo de la grúa, correspondientes a las cuatro ruedas, se procede a calcular las reacciones en cada uno de los elementos que componen la grúa por separado.

### 5.1.2.1 Definición del punto de ubicación del actuador

**Figura 65.** Área de trabajo del paciente y del actuador

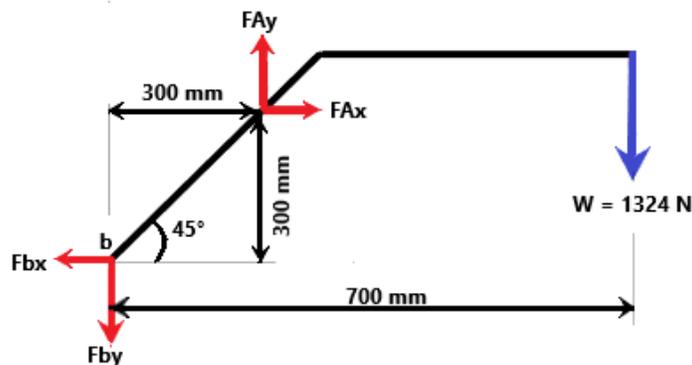


Fuente: Autores

Para el análisis estático del brazo, se define un ángulo de  $45^\circ$  respecto a la horizontal, cuando este se encuentra completamente extendido y en su punto más alto como se muestra en la figura 67.

Con base en la revisión del estado del arte y teniendo en cuenta aspectos contractivos y de operación se define una posición segura y conveniente fijando el punto de ubicación a 300 mm respecto al punto de articulación b, intentando que el área de trabajo del actuador no interfiera con el área de trabajo del paciente.

**Figura 66.** Diagrama de cuerpo libre del brazo en la posición más elevada.



Fuente: Autores

En el catálogo del fabricante la fuerza máxima que puede ejercer el actuador lineal es 29,4 kN, pero para el modelo no necesitamos esta fuerza máxima, por lo que procedemos a calcular cuanta fuerza lineal del actuador es necesaria para elevar la carga W.

$FA$ : Es la fuerza resultante que genera el actuador sobre el brazo y se descompone en  $FA_x$  y  $FA_y$

Se desarrolla la sumatoria de momentos con respecto al punto b, de esta manera hallamos el valor de la fuerza  $FA$

$$+\circlearrowleft \sum M_b = 0 ;$$

$$FA_y(0,3 \text{ m}) + FA_x(0,3 \text{ m}) - 1324 \text{ N}(0,7 \text{ m}) = 0 \quad \text{Ecuación (13)}$$

$$FA * \text{sen}(88,3^\circ)(0,3 \text{ m}) + FA * \text{cos}(88,3^\circ) (0,3) - 1324 \text{ N}(0,7) = 0$$

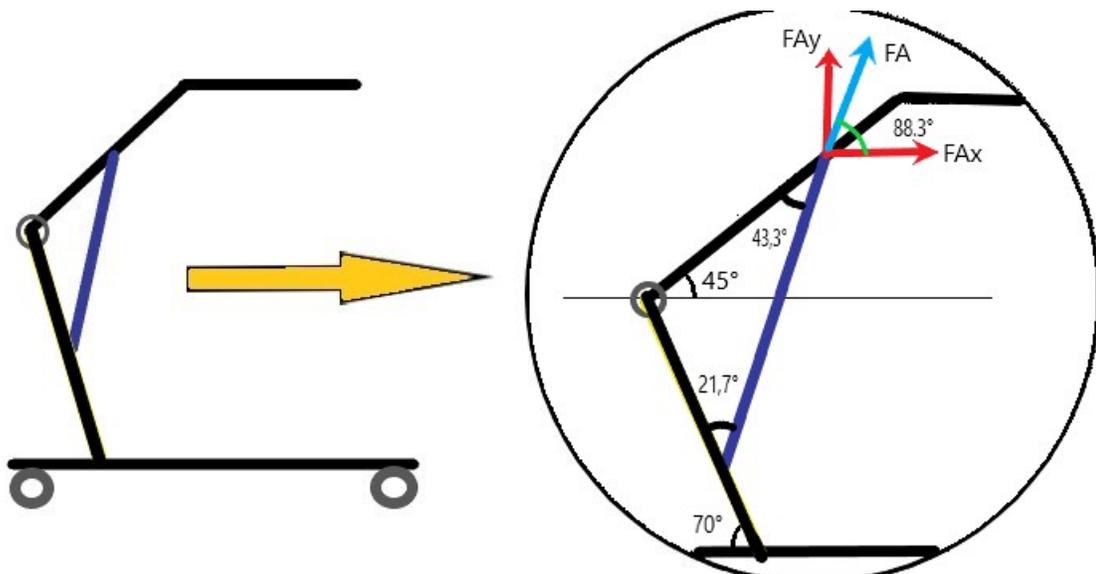
$$0,2998 \text{ m} * FA - 0,00889 \text{ m} * FA = 926,8 \text{ Nm}$$

$$FA = 3185,86 \text{ N}$$

Aproximamos la fuerza  $FA$  a 3186 N. Esta es la fuerza del actuador necesaria para elevar la carga de 135 kg.

### 5.1.2.2 Análisis estático del brazo

**Figura 67.** Punto de ubicación del actuador



Fuente: Autores

Luego de hallar la fuerza  $FA$ , podemos realizar una sumatoria de fuerzas respecto al eje  $x$  y  $y$  para hallar  $Fb_x$  y  $Fb_y$  respectivamente. De la figura 67 se tiene que:

$$+\uparrow \sum F_y = 0 ;$$

$$-Fb_y + FA_y - W = 0 \quad \text{Ecuación (14)}$$

$$-Fb_y + FA * \text{sen}(88,3^\circ) - 1324 \text{ N} = 0$$

$$Fb_y = 1860,46 \text{ N}$$

$$+\rightarrow \sum F_x = 0 ;$$

$$-Fb_x + FA_x = 0 \quad \text{Ecuación (15)}$$

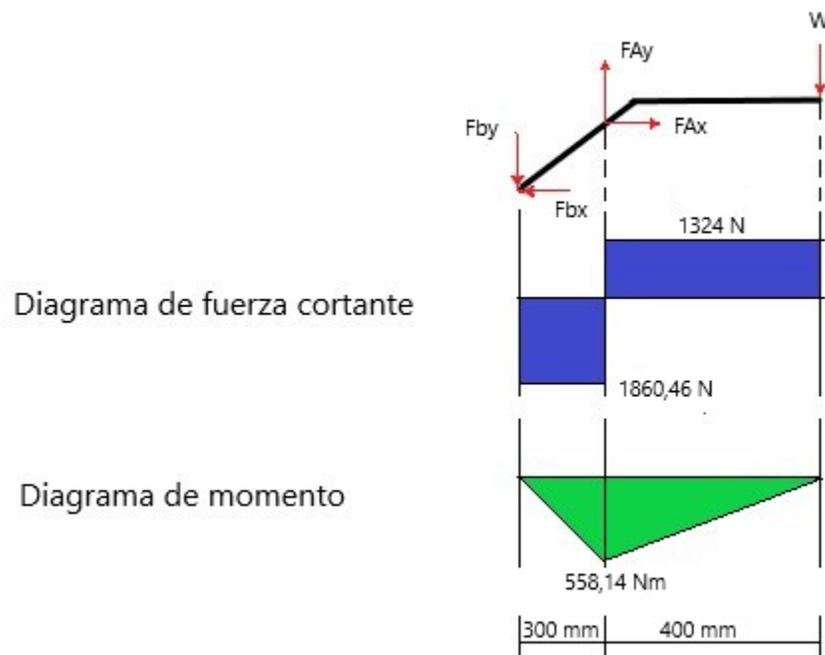
$$-Fb_x + FA * \text{cos}(88,3^\circ) = 0$$

$$Fb_x = -94,51 \text{ N} , \text{ entonces } FA_x = 94,51 \text{ N}$$

Remplazando  $Fb_y$  en la ecuación (14), se tiene que:

$$FA_y = 3184,46 \text{ N}$$

**Figura 68.** Diagrama de fuerza cortante y momento flector



Fuente: Autores

El momento flector máximo es de 558,14 N\*m de acuerdo con el diagrama de momento.

Una vez obtenido este valor se procede a calcular el valor de esfuerzo para el brazo

Los valores de esfuerzos  $\sigma$  de tensión y compresión se encuentra con la siguiente ecuación.

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad \text{Ecuación (16)}$$

Donde  $F$  representa la carga axial y  $A$  el área transversal.

Para un diseño seguro se requiere que el valor del esfuerzo máximo sea menor que el esfuerzo permisible  $\sigma_{max} \leq \sigma_{perm}$ , donde  $\sigma_{perm}$  viene dado por la siguiente ecuación.

$$\sigma_{perm} = \frac{\sigma_y}{FS} \quad \text{Ecuación (17)}$$

Donde  $\sigma_y$  es el esfuerzo de fluencia del material y  $FS$  es el factor de seguridad por los tanto, para garantizar esta seguridad se requiere elegir un esfuerzo permisible que restrinja la carga requerida a un valor que sea mayor a la carga que el elemento pueda soportar. Se encuentra el esfuerzo permisible calculado de la ecuación (8).

$$\sigma_{perm} = \frac{345 \text{ MPa}}{2}$$

$$\sigma_{perm} = 172,5 \text{ MPa} \rightarrow \text{para perfiles}$$

$$\sigma_{perm} = \frac{250 \text{ MPa}}{2}$$

$$\sigma_{perm} = 125 \text{ MPa} \rightarrow \text{para platinas}$$

Para el correcto diseño de una viga se utiliza el máximo valor absoluto del momento flector  $|M_{max}|$  que ocurrirá en el brazo. El esfuerzo normal máximo  $\sigma_{max}$  en el elemento se encuentra en la superficie de este en la sección crítica donde ocurre  $|M_{max}|$  y se obtiene partir de la siguiente ecuación.

$$\sigma_{max} = \frac{|M_{max}|}{S} \quad \text{Ecuación (18)}$$

Donde  $S$  es el módulo de sección el cual depende únicamente de la sección transversal de la viga.

$$S = \frac{I}{c} \quad \text{Ecuación (19)}$$

Donde  $I$  corresponde al momento de inercia de la sección transversal con respecto al eje central y  $C$  es la distancia mínima desde el centro de la superficie hasta el límite superior o inferior del elemento.

$$S_{min} = \frac{|M_{max}|}{\sigma_{perm}} \quad \text{Ecuación (20)}$$

$$S_{min} = \frac{558,14 \text{ Nm}}{172,5 \text{ MPa}}$$

$$S_{min} = 3,24 \text{ cm}^3$$

Una vez hallado el valor de  $S_{min}$  se procede a seleccionar el tipo de perfil adecuado que cumpla con la siguiente condición:

$$S_{Catalogo} \geq S_{min} \quad \text{Ecuación (21)}$$

De acuerdo con el catálogo del anexo 2 se selecciona un perfil de 40x40x2 cuyo módulo de sección corresponde al valor mostrado la figura 70.

**Figura 69.** Selección de perfil y módulo de sección requerido para el brazo.

PERFIL CUADRADO									
CARACTERÍSTICAS Y DENOMINACIÓN						PROPIEDADES ESTADÍSTICAS			
TAMAÑO PERFIL				ESPESOR DE PARED e mm	ÁREA cm <sup>2</sup>	FLEXIÓN			
TAMAÑO NOMINAL		REAL				MOMENTO INERCIA I <sub>x</sub> = I <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	MÓDULO ELÁSTICO S <sub>x</sub> = S <sub>y</sub> cm <sup>3</sup>	RADIO DE GIRO r <sub>x</sub> = r <sub>y</sub> cm	
PULG.	MM	d mm	b mm						
1 X 1	25 X 25	25,00	25,00	1,50	1,35	1,22	0,97	0,95	
	25 X 25	25,00	25,00	2,00	1,73	1,48	1,19	0,93	
	25 X 25	25,00	25,00	2,50	2,09	1,69	1,35	0,90	
1 4/7 X 1 4/7	40 X 40	40,00	40,00	1,50	2,25	5,49	2,75	1,56	
	40 X 40	40,00	40,00	2,00	2,94	6,94	3,47	1,54	
	40 X 40	40,00	40,00	2,50	3,59	8,22	4,11	1,51	
2 X 2	50 X 50	50,00	50,00	1,50	2,85	11,07	4,43	1,97	
	50 X 50	50,00	50,00	2,00	3,73	14,15	5,66	1,95	
	50 X 50	50,00	50,00	2,50	4,59	16,94	6,78	1,92	

Fuente: T. comena, «PERFIL ESTRUCTURAL TUBULAR Negro y Galvanizado ASTM A500 (NTC 4526),» [En línea]. Available: [https://www.academia.edu/40641008/PERFIL\\_ESTRUCTURAL\\_TUBULAR\\_Negro\\_y\\_Galvanizado\\_ASTM\\_A500\\_NTC\\_4526](https://www.academia.edu/40641008/PERFIL_ESTRUCTURAL_TUBULAR_Negro_y_Galvanizado_ASTM_A500_NTC_4526). [Último acceso: 08 26 2020].

Una vez seleccionado el material se debe cumplir la siguiente condición:

$$\sigma_{max} \leq \sigma_{perm} \quad \text{Ecuación (22)}$$

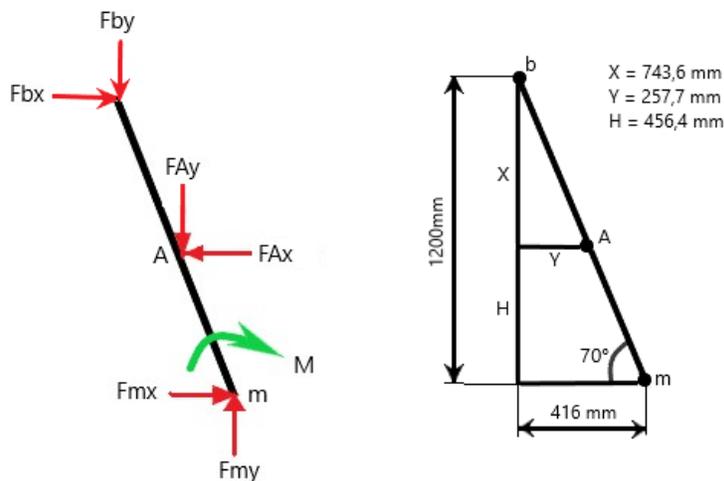
Para este diseño el esfuerzo máximo calculado con base en el módulo de sección del perfil elegido corresponde a:

$$126 \text{ MPa} \leq 172,5 \text{ MPa}$$

### 5.1.2.3 Análisis estático del mástil

Se realiza el diagrama de cuerpo libre del mástil para realizar la sumatoria de fuerzas en el eje  $x$  y  $y$  para hallar las fuerzas resultantes  $Fm_x$  y  $Fm_y$  respectivamente como se muestra en la figura 70.

**Figura 70.** Diagrama de cuerpo libre del mástil



Fuente: Autores

$$+\rightarrow \sum F_x = 0 ;$$

$$Fb_x + Fm_x - FA_x = 0$$

$$Fm_x = 189,02 \text{ N}$$

$$+\uparrow \sum F_y = 0 ;$$

$$Fm_y - FA_y - Fb_y = 0$$

$$+ Fm_y - 3184,46 - 1860,46 \text{ N} = 0$$

$$Fm_y = 5044,92 \text{ N}$$

$$+\cup \sum M_b = 0 ;$$

$$-FA_y(0,2577 \text{ m}) - FA_x(0,7436 \text{ m}) + Fm_y(0,416 \text{ m}) + Fm_x(1,2 \text{ m}) - M = 0$$

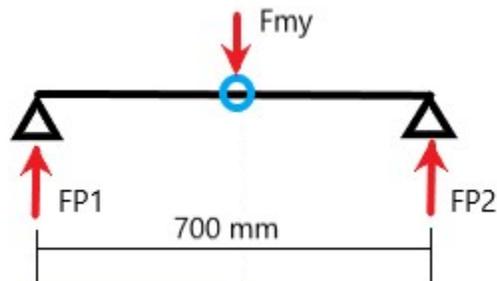
$$-3184,46 \text{ N}(0,2577 \text{ m}) - 94,51 \text{ N}(0,7436 \text{ m}) + 5044,92 \text{ N}(0,416 \text{ m}) + 189,02 \text{ N}(1,2 \text{ m}) - M = 0$$

$$M = 1434,59 \text{ Nm}$$

#### 5.1.2.4 Análisis estático de la base del mástil

Para el análisis estático de la base, se debe tener en cuenta que  $Fp_1 = Fp_2$ , debido a que el peso  $W$  está en un plano medio de simetría como se muestra en la figura 64, se realiza un diagrama de cuerpo libre ver la figura 72 para realizar la sumatoria de fuerzas en el eje  $y$  y hallamos las reacciones.

**Figura 71.** Diagrama de cuerpo libre de la base, vista frontal.



Fuente: Autores

$$+\uparrow \sum F_y = 0 ;$$

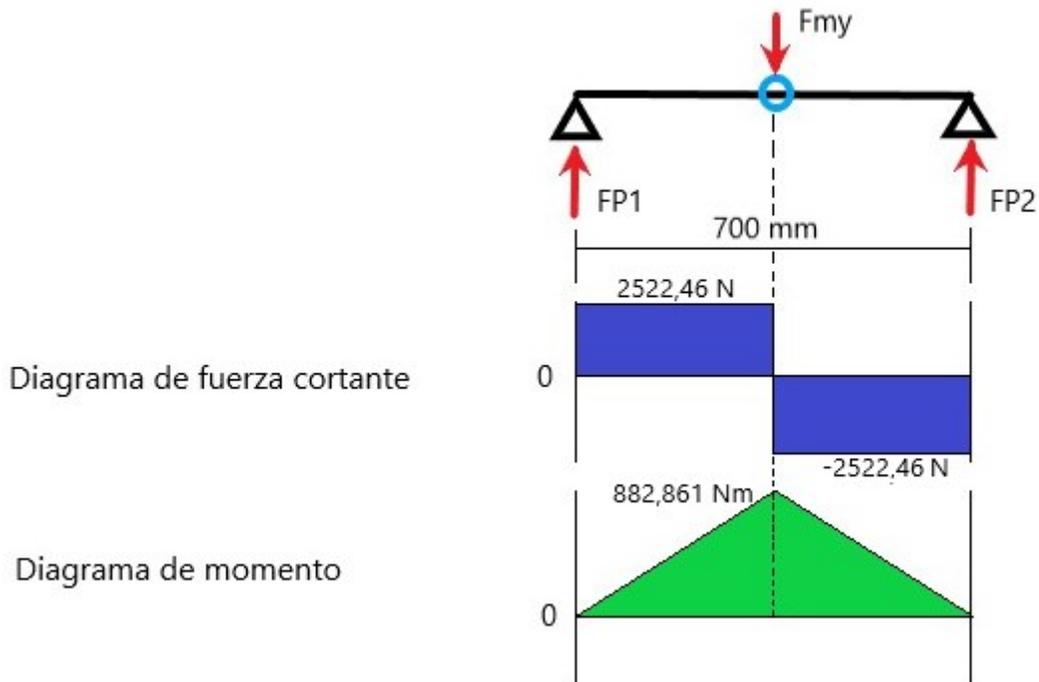
$$Fp_1 + Fp_2 - Fm_y = 0$$

$$2Fp_1 = Fm_y$$

$$Fp_1 = \frac{5044,92 \text{ N}}{2}$$

$$Fp_1 = 2522,46 \text{ N}$$

**Figura 72.** Diagrama de fuerza cortante y momento flector de la base.



Fuente: Autores

El momento flector máximo es de 882,86 N\*m de acuerdo con el diagrama de momento.

$$S_{min} = \frac{M_{max}}{\sigma_{perm}}$$

$$S_{min} = \frac{882,86 \text{ N} \cdot \text{m}}{172,5 \text{ MPa}}$$

$$S_{min} = 5,12 \text{ cm}^3$$

De acuerdo con el catálogo del ANEXO 2 el perfil adecuado para el  $S_{min}$  calculado, corresponde a un perfil de 50 x 50 x 2,0 cuyo módulo de sección corresponde al mostrado en la figura 74.

**Figura 73.** Selección de perfil y módulo de sección requerido para la base del mástil.

PERFIL CUADRADO								
CARACTERÍSTICAS Y DENOMINACIÓN						PROPIEDADES ESTADÍSTICAS		
TAMAÑO PERFIL				ESPESOR DE PARED e mm	ÁREA cm <sup>2</sup>	FLEXIÓN		
TAMAÑO NOMINAL		REAL				MOMENTO INERCIA I <sub>x</sub> = I <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	MÓDULO ELÁSTICO S <sub>x</sub> = S <sub>y</sub> cm <sup>3</sup>	RADIO DE GIRO r <sub>x</sub> = r <sub>y</sub> cm
PULG.	MM	d mm	b mm					
1 X 1	25 X 25	25,00	25,00	1,50	1,35	1,22	0,97	0,95
	25 X 25	25,00	25,00	2,00	1,73	1,48	1,19	0,93
	25 X 25	25,00	25,00	2,50	2,09	1,69	1,35	0,90
1 4/7 X 1 4/7	40 X 40	40,00	40,00	1,50	2,25	5,49	2,75	1,56
	40 X 40	40,00	40,00	2,00	2,94	6,94	3,47	1,54
	40 X 40	40,00	40,00	2,50	3,59	8,22	4,11	1,51
2 X 2	50 X 50	50,00	50,00	1,50	2,85	11,07	4,43	1,97
	50 X 50	50,00	50,00	2,00	3,73	14,15	5,66	1,95
	50 X 50	50,00	50,00	2,50	4,59	16,94	6,78	1,92
	50 X 50	50,00	50,00	3,00	5,41	19,47	7,79	1,90
2 1/3 X 2 1/3	60 X 60	60,00	60,00	1,50	3,45	19,52	6,51	2,38
	60 X 60	60,00	60,00	2,00	4,54	25,14	8,38	2,35

Fuente: T. comena, «PERFIL ESTRUCTURAL TUBULAR Negro y Galvanizado ASTM A500 (NTC 4526),» [En línea]. Available: [https://www.academia.edu/40641008/PERFIL\\_ESTRUCTURAL\\_TUBULAR\\_Negro\\_y\\_Galvanizado\\_ASTM\\_A500\\_NTC\\_4526](https://www.academia.edu/40641008/PERFIL_ESTRUCTURAL_TUBULAR_Negro_y_Galvanizado_ASTM_A500_NTC_4526). [Último acceso: 08 26 2020].

Una vez seleccionado el material se debe cumplir la siguiente condición:

$$\sigma_{max} \leq \sigma_{perm}$$

Para este diseño el esfuerzo máximo calculado con base en el módulo de sección del perfil elegido corresponde a:

$$155,9 \text{ MPa} \leq 172,5 \text{ MPa}$$

### 5.1.2.5 Análisis estático de las patas

Para realizar el análisis estático de las patas, se definen las siguientes convenciones:

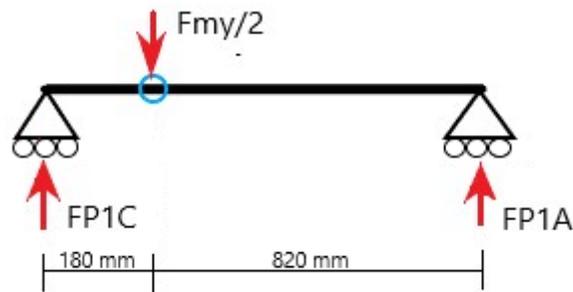
Fp1C = Fuerza en la pata 1 en el punto C

Fp1A = Fuerza en la pata 1 en el punto A

Se realiza el diagrama de cuerpo libre para calcular las reacciones en los apoyos  $Fp1_C$  y  $Fp1_A$ , con base en la figura 72 se ejerce una fuerza  $\frac{Fm_y}{2}$  sobre las patas como se muestra en la figura 75.

Primero calculamos la sumatoria de momentos alrededor de  $Fp1_C$  y luego sumatoria de fuerzas respecto al eje  $y$  para hallar  $Fp1_A$

**Figura 74.** Diagrama de cuerpo libre de las patas, vista lateral



Fuente: Autores

$$+\circlearrowleft \sum M_{Fp1_C} = 0 ;$$

$$\frac{Fm_y}{2}(0,18 \text{ m}) + Fp1_A(1 \text{ m}) = 0$$

$$Fp1_A = \frac{454,04 \text{ N m}}{1 \text{ m}}$$

$$Fp1_A = 454,04 \text{ N}$$

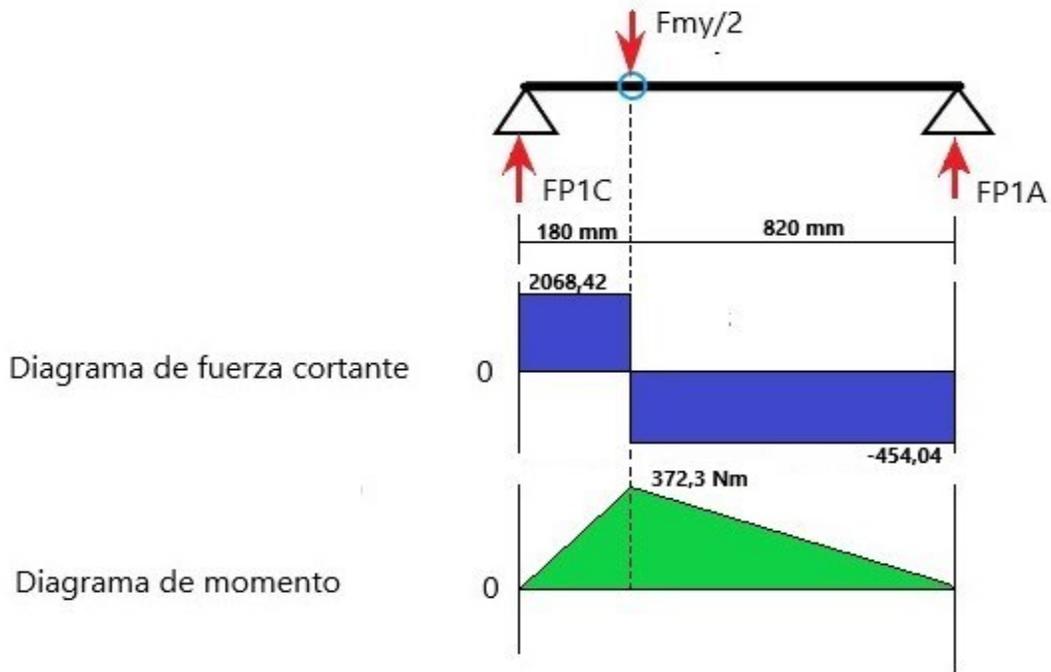
$$+\uparrow \sum F_y = 0 ;$$

$$Fp1_C + Fp1_A - \frac{Fm_y}{2} = 0$$

$$Fp1_C = 2522,46 \text{ N} - 454,04 \text{ N}$$

$$Fp1_C = 2068,42 \text{ N}$$

**Figura 75.** Diagrama de fuerza cortante y momento flector de las patas



Fuente: Autores

El momento flector máximo es de 372,3 N\*m de acuerdo con el diagrama de momento.

Teniendo en cuenta que la fuerza  $F_{my}$  se encuentra aplicada en el punto medio de la base del mástil, esta se distribuye en partes iguales a cada lado. Por lo tanto, se concluye que los valores de las reacciones halladas y el momento flector son idénticos para cada una de las patas.

Con base en el diagrama de momento de la figura 76, se calcula el módulo de sección  $S_{min}$ .

$$S_{min} = \frac{|M_{max}|}{\sigma_{perm}}$$

$$S_{min} = \frac{372,3 \text{ N} \cdot \text{m}}{172,5 \text{ MPa}}$$

$$S_{min} = 2,16 \text{ cm}^3$$

Una vez hallado el valor de  $S_{min}$  se procede a seleccionar el tipo de perfil adecuado que cumpla con la siguiente condición:

$$S_{Catalogo} \geq S_{min}$$

u

**Figura 76.** Selección de perfil y módulo de sección requerido para las patas.

PERFIL CUADRADO								
CARACTERÍSTICAS Y DENOMINACIÓN						PROPIEDADES ESTADÍSTICAS		
TAMAÑO PERFIL				ESPESOR DE PARED e mm	ÁREA cm <sup>2</sup>	FLEXIÓN		
TAMAÑO NOMINAL		REAL				MOMENTO INERCIA I <sub>x</sub> = I <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	MÓDULO ELÁSTICO S <sub>x</sub> = S <sub>y</sub> cm <sup>3</sup>	RADIO DE GIRO r <sub>x</sub> = r <sub>y</sub> cm
PULG.	MM	d mm	b mm					
1 X 1	25 X 25	25,00	25,00	1,50	1,35	1,22	0,97	0,95
	25 X 25	25,00	25,00	2,00	1,73	1,48	1,19	0,93
	25 X 25	25,00	25,00	2,50	2,09	1,69	1,35	0,90
1 4/7 X 1 4/7	40 X 40	40,00	40,00	1,50	2,25	5,49	2,75	1,56
	40 X 40	40,00	40,00	2,00	2,94	6,94	3,47	1,54
	40 X 40	40,00	40,00	2,50	3,59	8,22	4,11	1,51
2 X 2	50 X 50	50,00	50,00	1,50	2,85	11,07	4,43	1,97
	50 X 50	50,00	50,00	2,00	3,73	14,15	5,66	1,95
	50 X 50	50,00	50,00	2,50	4,59	16,94	6,78	1,92
	50 X 50	50,00	50,00	3,00	5,41	19,47	7,79	1,90
2 1/3 X 2 1/3	60 X 60	60,00	60,00	1,50	3,45	19,52	6,51	2,38
	60 X 60	60,00	60,00	2,00	4,54	25,14	8,38	2,35
	60 X 60	60,00	60,00	2,50	5,59	30,34	10,11	2,33
	60 X 60	60,00	60,00	3,00	6,61	35,13	11,71	2,31

Fuente: T. commena, «PERFIL ESTRUCTURAL TUBULAR Negro y Galvanizado ASTM A500 (NTC 4526),» [En línea]. Available: [https://www.academia.edu/40641008/PERFIL\\_ESTRUCTURAL\\_TUBULAR\\_Negro\\_y\\_Galvanizado\\_ASTM\\_A500\\_NTC\\_4526](https://www.academia.edu/40641008/PERFIL_ESTRUCTURAL_TUBULAR_Negro_y_Galvanizado_ASTM_A500_NTC_4526). [Último acceso: 08 26 2020].

Una vez seleccionado el material se debe cumplir la siguiente condición:

$$\sigma_{max} \leq \sigma_{perm}$$

Para este diseño el esfuerzo máximo calculado con base en el módulo de sección del perfil elegido corresponde a:

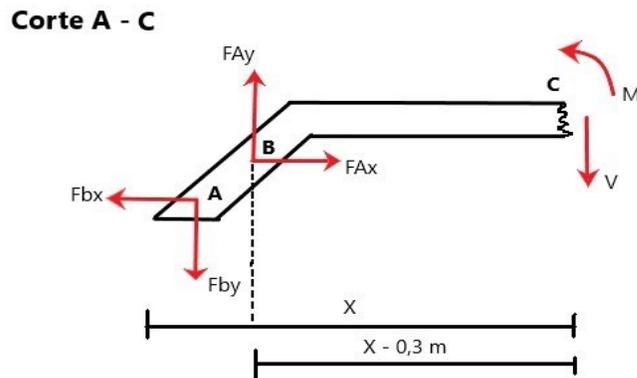
$$135,3 \text{ MPa} \leq 172,5 \text{ MPa}$$

### 5.1.3. Valores de deflexión para cada uno de los miembros

### 5.1.3.1 Deflexión para el brazo

Con base en el módulo de sección calculado y según el catálogo del ANEXO 2, para el brazo se elige tubo estructural de 40 x 40 x 2 cuyo módulo de sección es  $S = 3,47 \text{ cm}^3$  y el momento de inercia es de  $I = 6,94 \text{ cm}^4$ . Para hallar la ecuación correspondiente al momento flector en función de  $x$ , se utiliza el método de cortes con base en la figura 78.

**Figura 77.** Diagrama de corte en C para el brazo.



Fuente: Autores

Para obtener el valor de la fuerza cortante en el segmento  $X - 0,3 \text{ m}$ , se realiza sumatoria de fuerzas en Y y posteriormente se obtiene la ecuación del momento flector para toda  $x$ .

$$+\uparrow \sum F_y = 0 ;$$

$$-F_{by} + F_{Ay} - V = 0$$

$$-1860,46 + 3184,46 - V = 0$$

$$V = 1324 \text{ N}$$

$$+\circlearrowleft \sum M_C = 0 ;$$

$$-F_{by}(x) + F_{Ay}(x - 0,3) + M = 0$$

$$-1860,46(x) + 3184,46(x - 0,3) = M$$

$$M_{BC} = 1324x - 955,3$$

Para obtener la deflexión máxima en el brazo se realizan los cálculos con base en la ecuación de momento entre los puntos 0,3 m correspondiente al punto de ubicación del actuador y 0,7 m correspondiente a la longitud total del brazo.

$$0,3 \leq x \leq 0,7$$

Las condiciones de frontera para este caso son:

- 1)  $x = 0,3; \theta = 0$
- 2)  $x = 0,7; y = 0$

Se procede a integrar la ecuación de momento del segmento BC

$$\theta_{BC}EI = \int M_{BC} dx + C1$$

$$\theta_{BC}EI = \int 1324x - 955,34 dx + C1$$

$$\theta_{BC}EI = 662x^2 - 955,34x + C1$$

Teniendo en cuenta que en el punto  $x = 0,3$  la pendiente y la deflexión son siempre igual a cero sin importar cuanto se deforme el elemento, se reemplaza la primera condición de frontera y se despeja C1

$$662(0,3)^2 - 955,34(0,3) + C1 = 0$$

$$C1 = 227,02$$

Luego entonces, reemplazando el valor de la constante C1 la ecuación de la pendiente es:

$$\theta_{BC}EI = 662x^2 - 955,34x + 227,02$$

A continuación, se procede a integrar la ecuación de la pendiente para hallar la ecuación de deflexión en el segmento BC

$$y_{BC}EI = \int \theta_{BC}EI + C1 dx$$

$$y_{BC}EI = \int 662x^2 - 955,34x + 227,02 dx$$

$$y_{BC}EI = 220,67x^3 - 477,67x^2 + 227,02x + C2 \quad \text{Ecuación (23)}$$

Para nuestro caso se emplea  $E=207\text{GPa}$  para aceros al carbón y el momento de inercia  $I = 6,94 \text{ cm}^4$

$$EI = 14365,8 \text{ Pa m}^4$$

Reemplazando este valor en la ecuación (23) se obtiene:

$$y_{BC} = 0,01536x^3 - 0,003325x^2 + 0,01580x + C2$$

Reemplazando nuevamente la primera condición de frontera en donde la deflexión es cero, se obtiene el valor de C2

$$0,01536(0,3)^3 - 0,003325(0,3)^2 + 0,01580(0,3) + C2 = 0$$

$$C2 = 0,002162$$

Una vez conocidas las constantes de integración C1 y C2, estas se reemplazan en la ecuación de deflexión y se obtiene:

$$y_{BC} = 0,01536x^3 - 0,003325x^2 + 0,01580x + 0,002162$$

Con esta ecuación y reemplazando  $x = 0,7 \text{ m}$  que corresponde a la longitud total del brazo, se obtiene la deflexión máxima del componente.

$$y_{BC} = 0,01536(0,7)^3 - 0,003325(0,7)^2 + 0,01580(0,7) + 0,002162$$

$$y_{\max} = 2,2119 \text{ mm}$$

Según el resultado obtenido, se determina que la deflexión no es significativa y por ende no afecta el funcionamiento ni compromete la seguridad del componente.

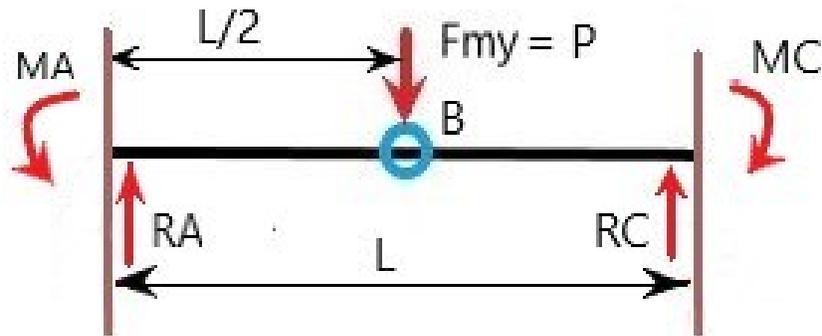
### 5.1.3.2 Deflexión para la base del mástil

Con base en el módulo de sección calculado y según el catálogo del anexo 2, para el mástil se elige tubo estructural de  $50 \times 50 \times 2$  cuyo módulo de sección es  $S = 5,66 \text{ cm}^3$  y cuyo momento de inercia es de  $I = 14,15 \text{ cm}^4$ . Debido a que la base del mástil se asemeja a una viga con doble empotramiento y a que la fuerza se encuentra aplicada en el centro de esta, el valor de la deflexión se puede calcular, usando la siguiente ecuación:

$$y_B = y_{\max} = \frac{-PL^3}{192EI}$$

Donde  $P$  es la fuerza aplicada en el centro de la base del mástil,  $L$  es la longitud de la base del mástil y  $EI$  corresponde al módulo de rigidez del material. La figura 79 muestra un esquema de este elemento.

**Figura 78.** Esquema simplificado de la base del mástil.



Fuente: Autores

Al reemplazar los valores en la ecuación, se obtiene la deflexión máxima para este elemento.

$$P = F_{my} = 5044,92 \text{ N}$$

$$L = 0,7 \text{ m}$$

$$EI = 29290,5 \text{ Pa m}^4$$

$$y_{max} = \frac{(-5044,92)(0,7)^3}{(192)(29290,5)}$$

$$y_{max} = -0,31 \text{ mm}$$

La deflexión máxima para la base del mástil corresponde a 0,31 mm, lo cual no afecta el correcto funcionamiento ni compromete la seguridad del componente.

### 5.1.3.3 Deflexión para las patas

Con base en el módulo de sección obtenido en los cálculos y según el catálogo del ANEXO 2, para el mástil se elige tubo estructural de 40 x 40 x 1,5 cuyo módulo de sección es  $S = 2,75 \text{ cm}^3$  y cuyo momento de inercia es de  $I = 5,49 \text{ cm}^4$ .

Las condiciones de frontera para este caso son:

$$1) \ x = 0,18; \ \theta = 0$$

$$2) \quad x = 0; y = 0$$

$$M = 2068,42x$$

Se procede a integrar la ecuación de momento

$$\theta EI = \int M dx + C1$$

$$\theta EI = \int 2068,42x dx + C1$$

$$\theta EI = 1034,21x^2 + C1$$

Para nuestro caso se emplea  $E = 207\text{GPa}$  para aceros al carbón y el momento de inercia  $I = 5,49 \text{ cm}^4$

$$EI = 11364,3 \text{ Pa m}^4$$

A continuación, se reemplaza la primera condición de frontera teniendo en cuenta que en este punto la pendiente será cero y la deflexión será máxima. Se despeja entonces la constante  $C1$  igualando la ecuación a cero.

$$\theta(x) = 0,0091(x)^2 + C1$$

$$\theta(0,18) = 0,0091(0,18)^2 + C1$$

$$C1 = 2,948 * 10^{-3}$$

Luego entonces, la ecuación de la pendiente es:

$$\theta(x) = 0,0091x^2 + 2,948 * 10^{-3}$$

A continuación, se procede a integrar la ecuación de la pendiente para hallar la ecuación de deflexión

$$y(x) = \int \theta(x) dx + C1$$

$$y(x) = \int 0,0091x^2 + 2,948 * 10^{-3} dx$$

$$y(x) = 0,0303x^3 + 2,948 * 10^{-3}x + C2$$

Al reemplazar la segunda condición de frontera  $x=0$ , se obtiene el valor de la constante  $C2$ .

$$y(0) = 0,0303(0)^3 + 2,948 * 10^{-3}(0) + C2$$

$$C2 = 0$$

Finalmente, la ecuación de deflexión al reemplazar las constantes C1 y C2 queda de la siguiente manera:

$$y(x) = 0,0303(x)^3 + 2,948 * 10^{-3}(x)$$

Reemplazando  $x=0,18$  se obtiene la deflexión máxima para las patas

$$y(0,18) = 0,0303(0,18)^3 + 2,948 * 10^{-3}(0,18)$$

$$y_{\max} = 0,7073 \text{ mm}$$

Según el resultado obtenido, se determina que la deflexión no es significativa y por ende no afecta el funcionamiento ni compromete la seguridad del componente.

### 5.1.4 Dimensionamiento de los pasadores

Para el dimensionamiento de los pasadores se tiene en cuenta que el esfuerzo normal permisible será igual al esfuerzo cortante permisible.

$$\sigma_{perm} = \tau_{perm} \quad \text{Ecuación (24)}$$

El material que se utiliza para los pasadores es acero ASTM A36 cuyo esfuerzo de fluencia equivale a 250 Mpa y un factor de seguridad de 8,5 el cual es el empleado para tornillos [27]. Reemplazando en la ecuación (8) se obtendrá el siguiente esfuerzo permisible.

$$\sigma_{perm} = \frac{250 \text{ MPa}}{8,5}$$

$$\sigma_{perm} = 29,41 \text{ MPa}$$

También, se tiene en cuenta el esfuerzo cortante permisible para determinar el espesor ( $t$ ) necesario para las platinas, el cual viene dado por la siguiente ecuación:

$$\tau_{perm} = \frac{P/2}{t \cdot D_r} \quad \text{Ecuación (25)}$$

Donde ( $P$ ) es la fuerza aplicada al pasador, ( $t$ ) el espesor de las platinas y  $D_{req}$  es el diámetro requerido del pasador.

El diámetro requerido de los pasadores se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

Despejando  $D$ , se obtiene:

$$D_r = \sqrt{\frac{4 \cdot A_r}{\pi}} \quad \text{Ecuación (26)}$$

Donde  $D_r$  es el diámetro requerido del pasador y  $A_r$  es el área de la sección transversal que se obtiene de la expresión del numeral 2,3.

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Despejando  $A$  se obtiene:

$$A_r = \frac{P}{\sigma_{perm}} \quad \text{Ecuación (27)}$$

#### 5.1.4.1 Pasadores del brazo

Se procede a calcular el diámetro requerido de los pasadores de acuerdo con la norma DIN 931 y el espesor de las platinas para el brazo como se observa en la figura 80.

**Figura 79.** Pasadores del brazo.

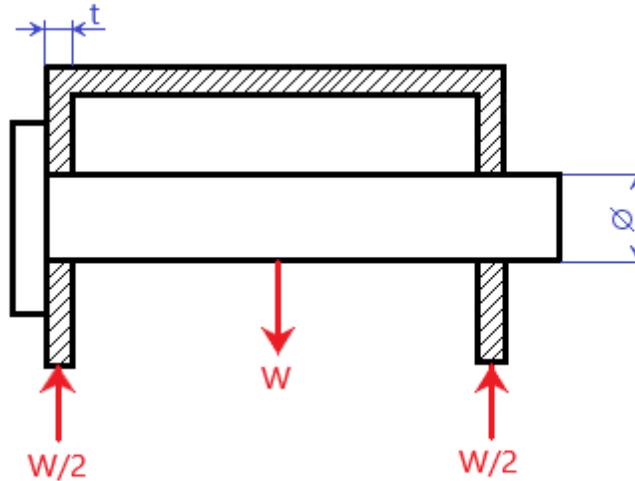


Fuente: Autores

- **Pasador A**

El pasador A, es el encargado de unir el brazo con la percha, con una platina de soporte y es el que soporta el peso vertical del adulto mayor. Las cargas presentes en este pasador se muestran en la figura 81.

**Figura 80.** Diagrama de cuerpo libre del pasador A.



Fuente: Autores.

$$\tau_{perm} = \frac{W/2}{A_r}$$

$$29,41 \text{ MPa} = \frac{662 \text{ N}}{A_r}$$

$$A_r = 2,25 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

Para encontrar el diámetro requerido se utiliza la ecuación 26, reemplazando se tiene lo siguiente:

$$D_r = \sqrt{\frac{4 \cdot A_r}{\pi}}$$

$$D_r = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,25 \times 10^{-5} \text{ m}^2}{\pi}}$$

$$D_r = 5,353 \times 10^{-3} \text{ m} \rightarrow 5,35 \text{ mm}$$

Se calcula el espesor ( $t$ ) de la platina con la ecuación 25, reemplazando el valor del diámetro requerido ( $D_r$ ), para el pasador A se obtiene:

$$t = \frac{W/2}{\tau_{perm} \cdot D_r}$$

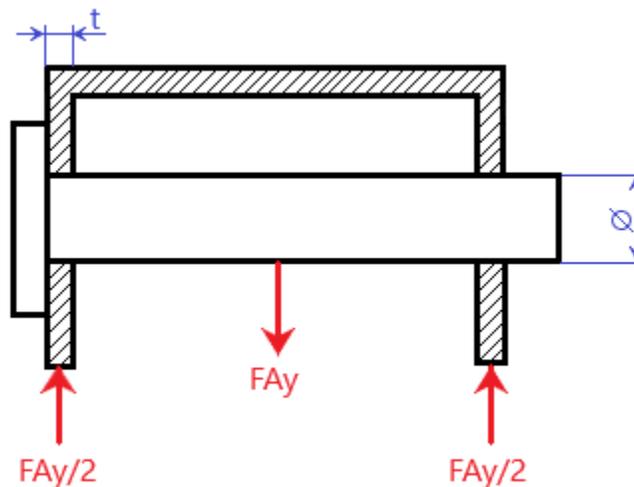
$$t = \frac{662 \text{ N}}{(29,41 \times 10^6 \text{ Pa})(5,35 \times 10^{-3} \text{ m})}$$

$$t = 4,207 \times 10^{-3} \text{ m} \rightarrow 4,21 \text{ mm}$$

- **Pasador B**

El pasador B, es el encargado de permitir la unión entre el brazo - actuador y el mástil – actuador, por lo tanto, para los cálculos del espesor y del diámetro requerido estos valores son iguales para ambos soportes del actuador.

**Figura 81.** Diagrama de cuerpo libre del pasador B.



Fuente: Autores.

$$\tau_{perm} = \frac{F_{Ay}/2}{A_r}$$

$$29,41 \text{ MPa} = \frac{1592,23 \text{ N}}{A_r}$$

$$A_r = 5,41 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$D_r = \sqrt{\frac{4 \cdot A_r}{\pi}}$$

$$D_r = \sqrt{\frac{4 \cdot 5,41 \times 10^{-5} \text{ m}^2}{\pi}}$$

$$D_r = 8,30 \times 10^{-3} \text{ m} \rightarrow 8,30 \text{ mm}$$

Se calcula el espesor de la platina despejando ( $t$ ) de la ecuación 25, reemplazando el valor del diámetro requerido ( $D_r$ ) del pasador B obtenemos:

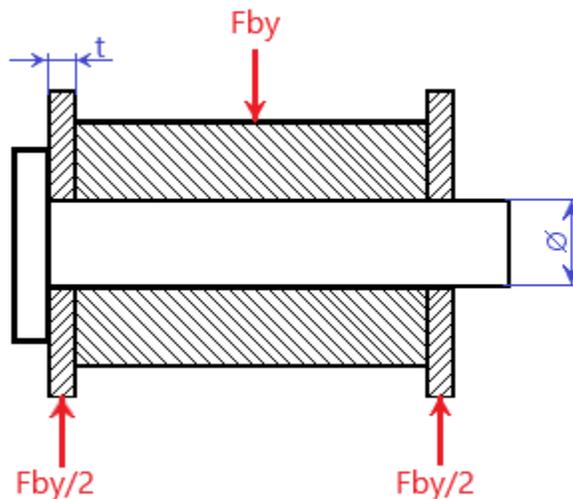
$$t = \frac{1592,93 \text{ N}}{(29,41 \times 10^6 \text{ Pa})(8,30 \times 10^{-3} \text{ m})}$$

$$t = 6,525 \times 10^{-3} \text{ m} \rightarrow 6,53 \text{ mm}$$

- **Pasador C**

Por medio del pasador C se une el bazo y el mástil, las cargas presentes en dicho pasador se muestran en la figura 83.

**Figura 82.** Diagrama de cuerpo libre del pasador C.



Fuente: Autores.

$$\tau_{perm} = \frac{Fb_y/2}{A_r}$$

$$29,41 \text{ MPa} = \frac{930,23 \text{ N}}{A_r}$$

$$A_r = 3,16 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$D_{req} = \sqrt{\frac{4 \cdot A_r}{\pi}}$$

$$D_r = \sqrt{\frac{4 \cdot 3,16 \times 10^{-5} \text{ m}^2}{\pi}}$$

$$D_r = 6,346 \times 10^{-3} \text{ m} \rightarrow 6,35 \text{ mm}$$

Se calcula el espesor de la platina despejando ( $t$ ) de la ecuación 25, reemplazando el valor del diámetro requerido ( $D_r$ ) del pasador B obtenemos:

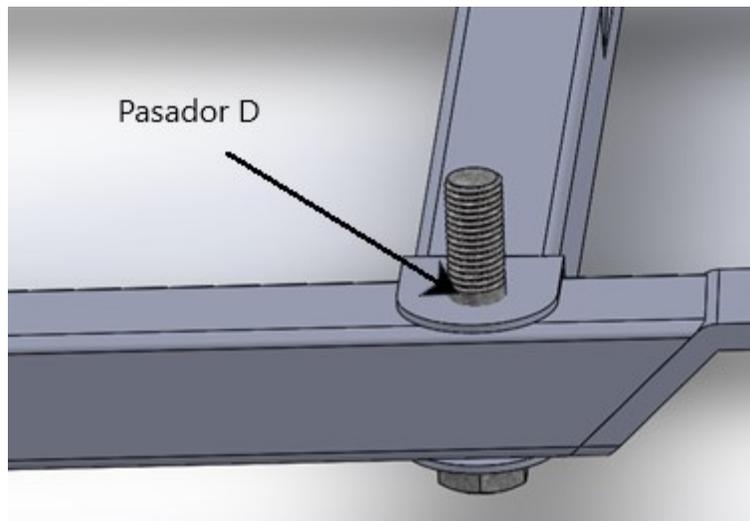
$$t = \frac{930,23 \text{ N}}{(29,41 \times 10^6 \text{ Pa})(6,35 \times 10^{-3} \text{ m})}$$

$$t = 4,979 \times 10^{-3} \text{ m} \rightarrow 4,98 \text{ mm}$$

#### 5.1.4.2 Pasadores de la base

Los pasadores que unen las dos patas son iguales por razones constructivas y de simetría, por lo tanto, se realiza el cálculo del espesor de la platina y el cálculo para diámetro requerido del pasador para ambos extremos de la base.

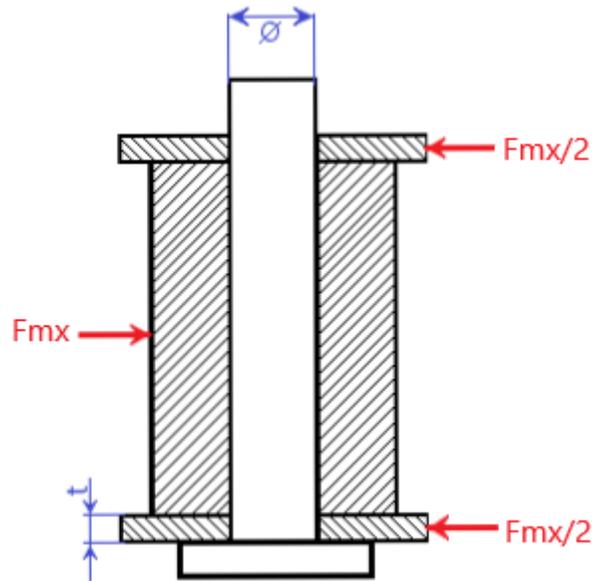
**Figura 83.** Pasador del base.



Fuente: Autores.

Se utiliza la fuerza horizontal  $Fm_x$  que genera el mástil sobre las patas, como se muestra en la figura 85.

**Figura 84.** Diagrama de cuerpo libre del pasador D.



Fuente: Autores.

$$\tau_{perm} = \frac{F_{m_x}/2}{A_r}$$

$$29,41 \text{ MPa} = \frac{94,51 \text{ N}}{A_r}$$

$$A_r = 3,21 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$D_r = \sqrt{\frac{4 \cdot A_r}{\pi}}$$

$$D_r = \sqrt{\frac{4 \cdot 3,21 \times 10^{-5} \text{ m}^2}{\pi}}$$

$$D_r = 2,022 \times 10^{-3} \text{ m} \rightarrow 2,0 \text{ mm}$$

$$t = \frac{94,51 \text{ N}}{(29,41 \times 10^6 \text{ Pa})(2,0 \times 10^{-3} \text{ m})}$$

$$t = 1,606 \times 10^{-3} \text{ m} \rightarrow 1,61 \text{ mm}$$

De acuerdo con el valor calculado del diámetro requerido para los pasadores y para el espesor de las platinas se seleccionan conforme a los ANEXOS 2 y 3 respectivamente, disponibles en el mercado.

## 5.2 Selección de los componentes normalizados de la grúa.

### 5.2.1 Selección del actuador

En el mercado local existen diferentes tipos de actuadores como neumáticos, hidráulicos y eléctricos todos de estos cumplen con los requerimientos del hogar geriátrico, pero por la relación de costo- mantenimiento se elige un actuador de accionamiento hidráulico.

Como ya se mencionó al comienzo de este capítulo se selecciona con base en los catálogos comerciales. La fuerza es de 3 toneladas equivalente a 29.4 kN.

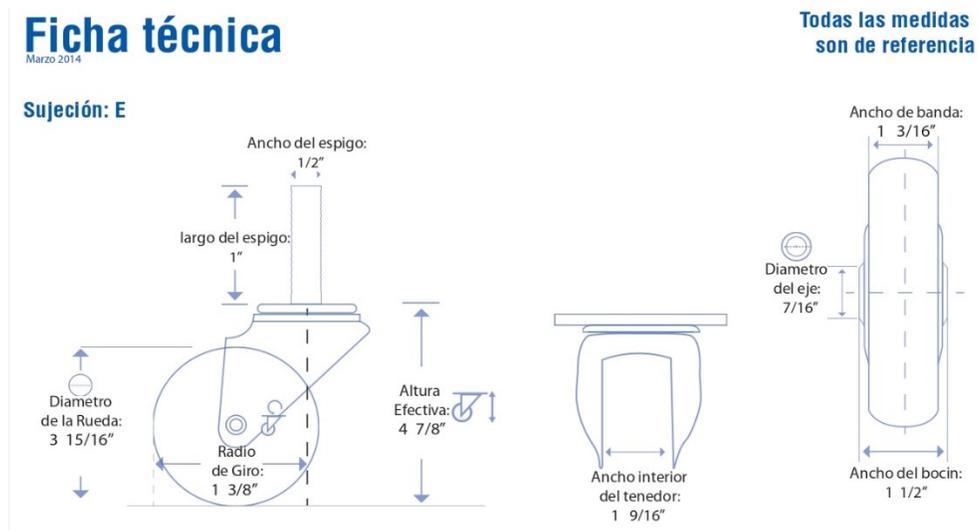
### 5.2.2 Selección de las rodachinas

De acuerdo con estado del arte del numeral 1.10 se seleccionan rodachinas de tipo hospitalario, ya que estas cumplen un mejor desempeño, debido a que la superficie dentro de las instalaciones del hogar geriátrico es completamente lisa, por lo tanto, se prefieren ruedas de goma para evitar que la grúa presente deslizamientos inesperados.

Las ruedas Isma son rodachinas altamente resistentes fabricadas en Nylon reforzado y con rueda tipo AM (Antimicrobial) que previene o controla la propagación de bacterias, las cuales soportan 130 kg de carga.

Para más detalle referirse al ANEXO 4.

**Figura 85.** Ficha técnica de las ruedas Isma.



Fuente: Ruedas Isma ANEXO 4.

### 5.2.3 Selección del arnés

Se selecciona un arnés de tipo universal con apoyo para cabeza, debido a que los adultos mayores del hogar geriátrico San Pedro Claver, son personas que en ocasiones tienen un control limitado de la cabeza, tronco y caderas. Este arnés cuenta con un ajuste rápido, ideal para personas con un alto grado de discapacidad y sus características de diseño permiten distribuir de forma uniforme la presión lo cual los hace muy cómodos para el usuario [28].

**Figura 86.** Arnés universal con reposacabezas



**Fuente:** «ortopedia en casa,» [En línea]. Available: <https://ortopediaencasa.com/arnes-universal-con-reposacabezas-invacare-1591.html>. [Último acceso: 17 11 2020].

Tomando como guía la información del ANEXO 5, se selecciona un arnés de talla M, debido a que este tamaño es el más adecuado para soportar el peso de los adultos mayores cuyo rango oscila entre 40 y 90 kg. Respecto a la contextura física o tamaño del paciente, este factor no representa ningún inconveniente, ya que para nuestro caso no existe ninguna persona con sobrepeso que pueda llegar a tener dificultades para ser trasladada.

### 5.2.4 Selección de la percha

La percha, al ser el elemento que soporta el peso del paciente, debe de ser elaborado bajo estrictos parámetros de construcción [29]. El tipo de percha sugerido para este diseño, es una percha de cuatro puntos de sujeción, similar a la elegida en el capítulo 3 mediante una matriz de decisión en donde se evaluaron el desempeño de varios de estos componentes disponibles en el mercado.

Se recomienda una percha de tipo universal como la de la figura 87, debido a que esta resulta adecuada para la mayoría de los casos y es compatible con la mayoría de los arneses.

**Figura 87.** Percha universal



**Fuente:** «Hill Room,» [En línea]. Available: <https://www.hill-rom.es/es/Products/Products-by-Category/patient-handling/sling-bars/>. [Último acceso: 17 11 2020].

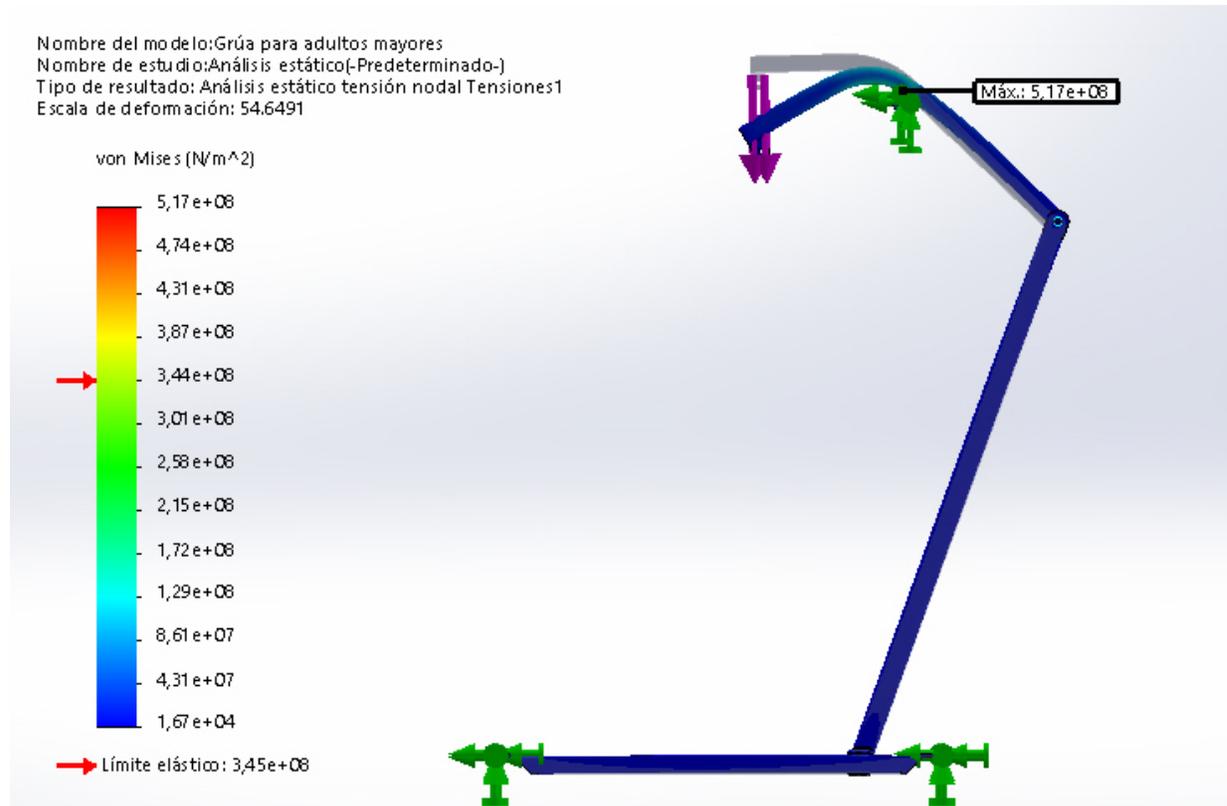
### **5.2.5 Selección de los tornillos**

Los tornillos se seleccionan de acuerdo con las dimensiones comerciales que existen en el mercado local, se elige la norma DIN 931 tornillos de cabeza hexagonal ya que cumple con las propiedades mecánicas para soportar las fuerzas de tensión dentro de las juntas.

Las dimensiones de los tornillos comerciales escogidos para las juntas de la grúa están en el ANEXO 2.

### 5.3 Análisis estático de los componentes no normalizados de la grúa en SolidWorks.

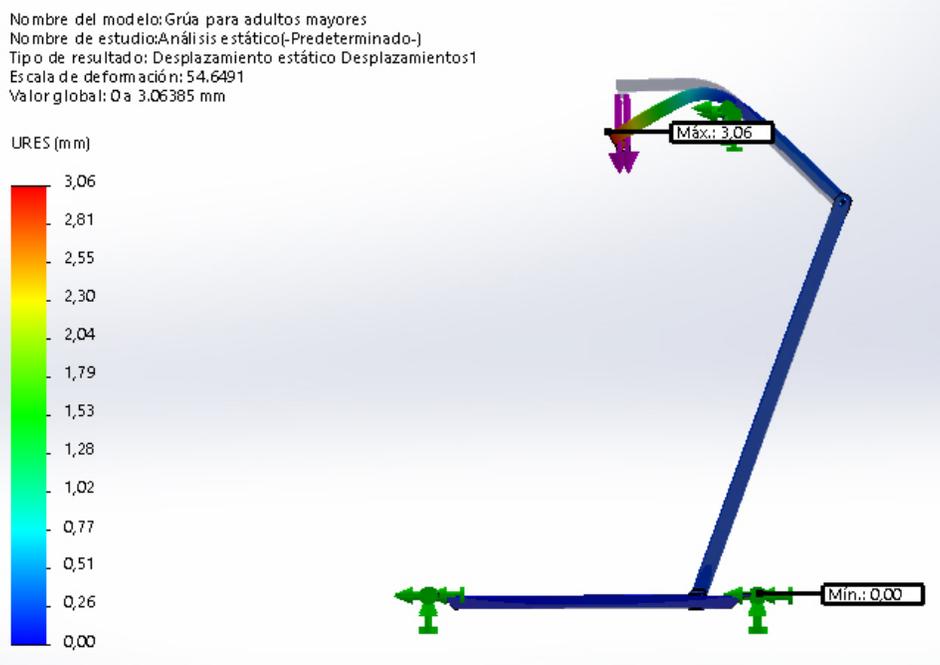
Figura 88. Tensión de von Mises



Fuente: Autores

Según el mapa de colores de la figura 88 se puede identificar la zona de tensión que aparece en la curvatura del brazo, ya que cerca de ahí se encuentra el punto de apoyo del actuador y se genera un torque respecto a este, debido a la carga del paciente. Para esta zona, el valor de tensión de von Mises es de 344 Mpa, el cual es menor al valor de resistencia del material.

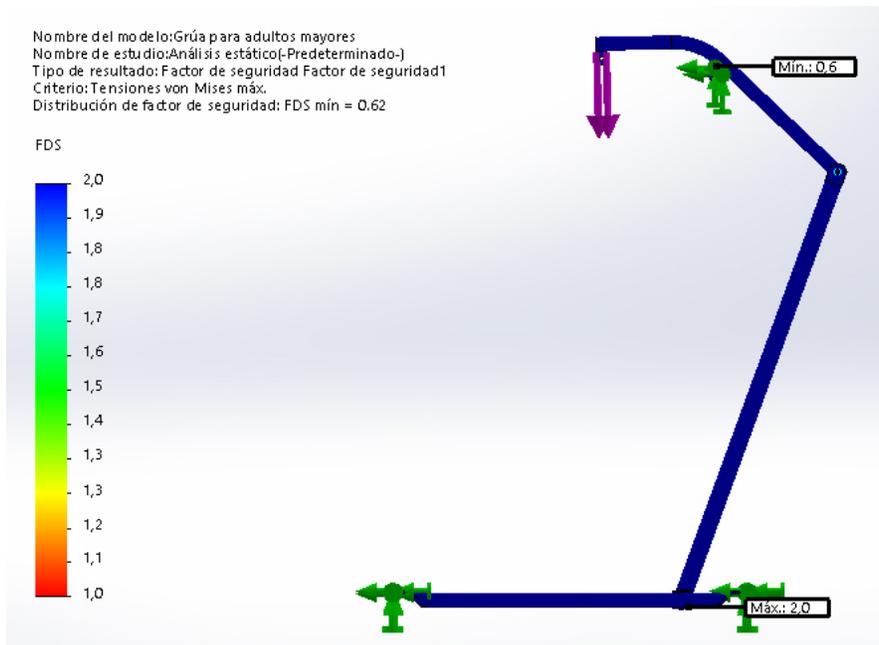
**Figura 89. Desplazamiento**



Fuente: Autores

De acuerdo con la figura 89 se muestran los resultados de desplazamiento máximo y mínimo los cuales se aproximan a los valores calculados donde la deflexión para la base de las patas es 0.

**Figura 90. Factor de seguridad**



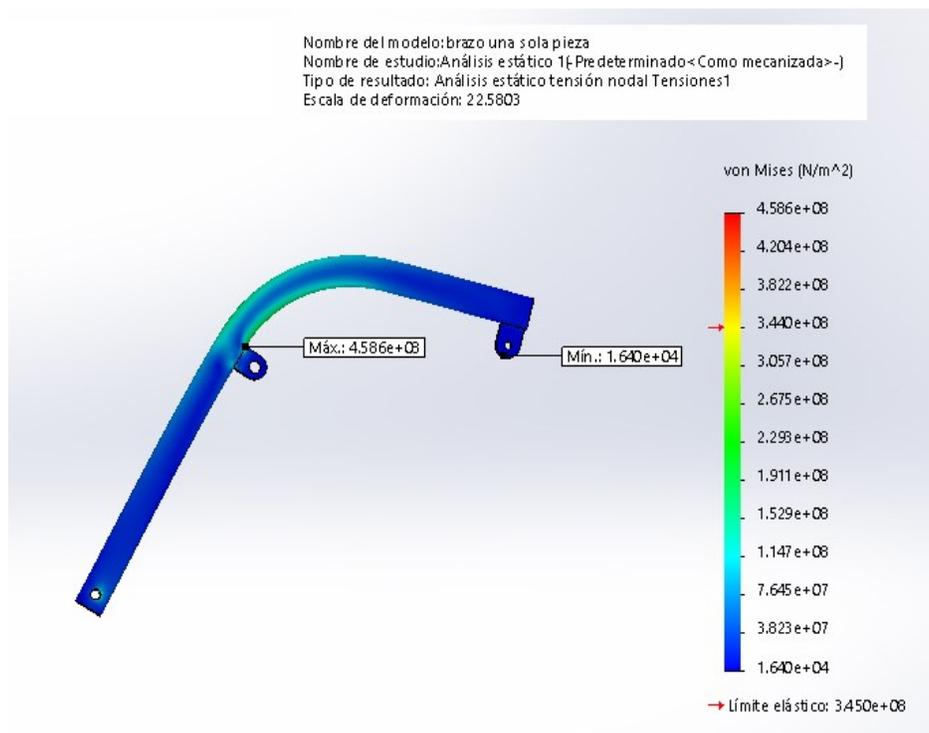
Fuente: Autores

Según la figura 90 la estructura se encuentra de color azul lo cual indica que el diseño es seguro gracias al factor de seguridad elegido, por lo tanto, la grúa no fallara bajo las cargas aplicadas.

A continuación, se realiza un análisis estático para cada uno de los componentes de la grúa.

### 5.3.1 Análisis estático de los componentes de la grúa

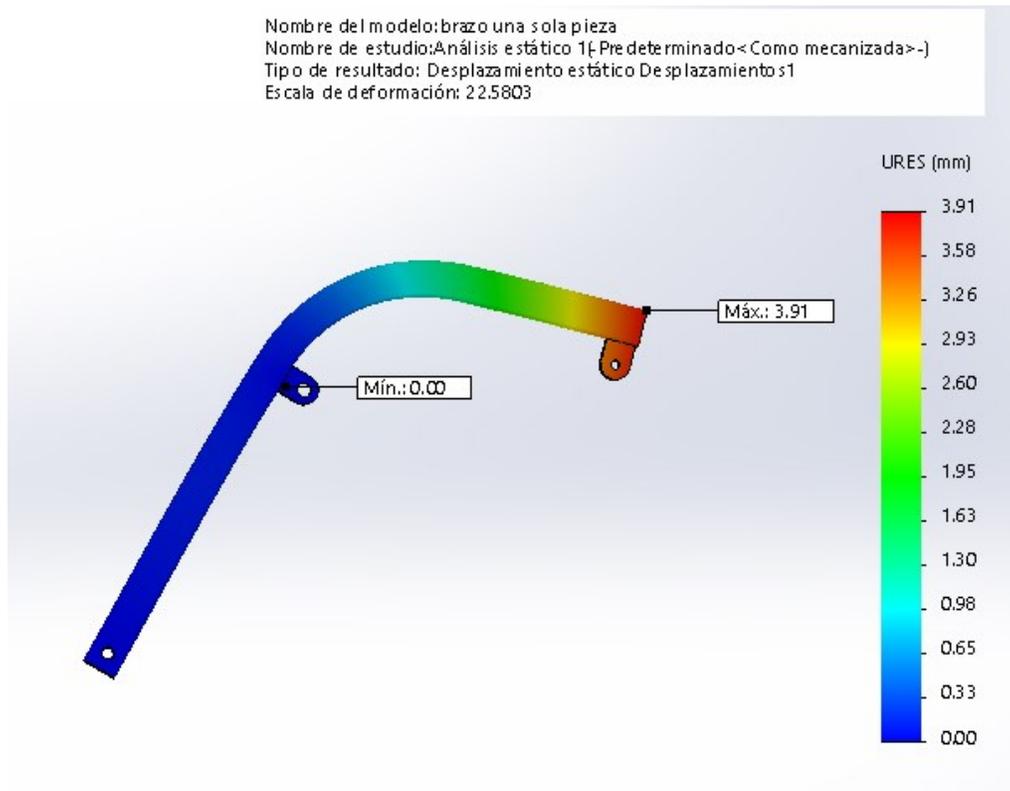
**Figura 91.** Tensión de von Mises del brazo



Fuente: Autores

En la figura 91, se puede observar que existen tensiones en la curvatura del brazo, en donde la tensión promedio en esa zona corresponde a 344 MPa. La estructura no presenta zonas de color rojo que indiquen la presencia de tensiones elevadas que pudiesen ocasionar la falla del componente.

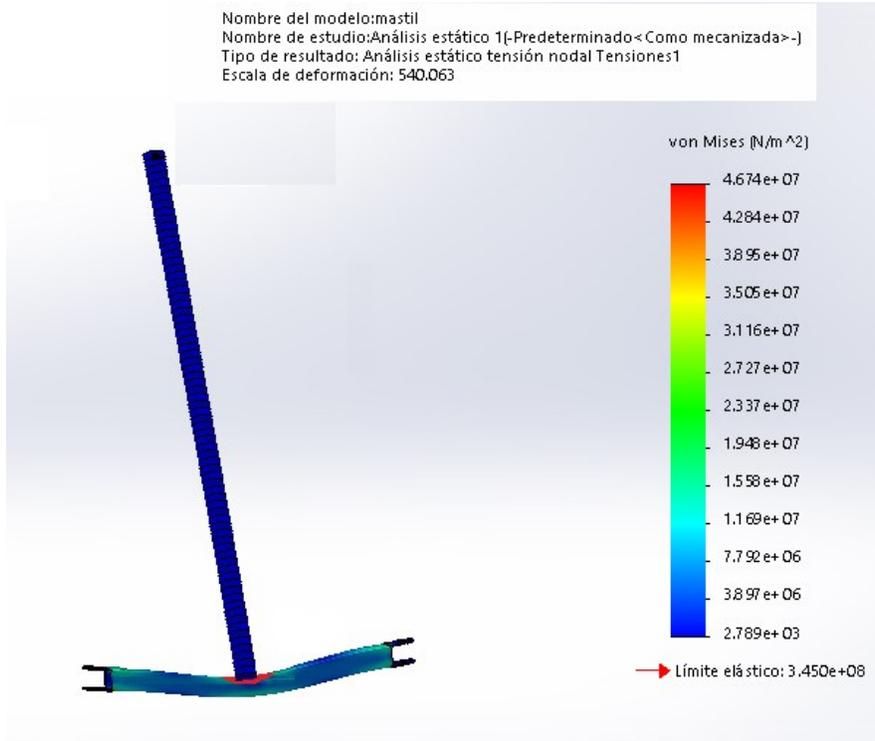
**Figura 92.** Desplazamiento del brazo



Fuente: Autores

La figura 92 permite observar el nivel de deformación que se genera en el brazo bajo la aplicación de la carga correspondiente al peso del paciente; la deformación máxima ocurre en el extremo derecho con un valor de 3,91 mm que se acerca al valor calculado.

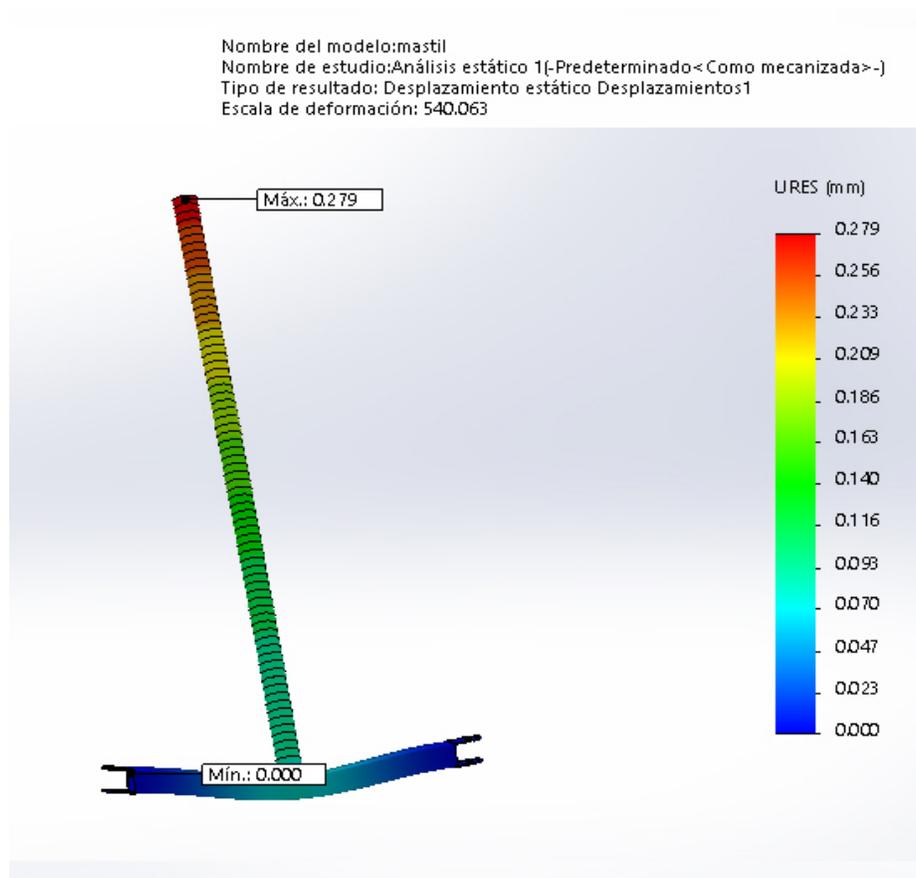
**Figura 93.** Tensión de von Mises de la Base del Mástil



Fuente: Autores

En la figura 93 se observa el punto de máxima tensión de color rojo, ubicado justamente en el centro de la base del mástil en donde se concentra la mayor parte de tensión. Este punto es de suma importancia, debido a que allí se concentra la mayoría de la fuerza, que luego se distribuye hacia los extremos en partes iguales que soportan cada una de las patas.

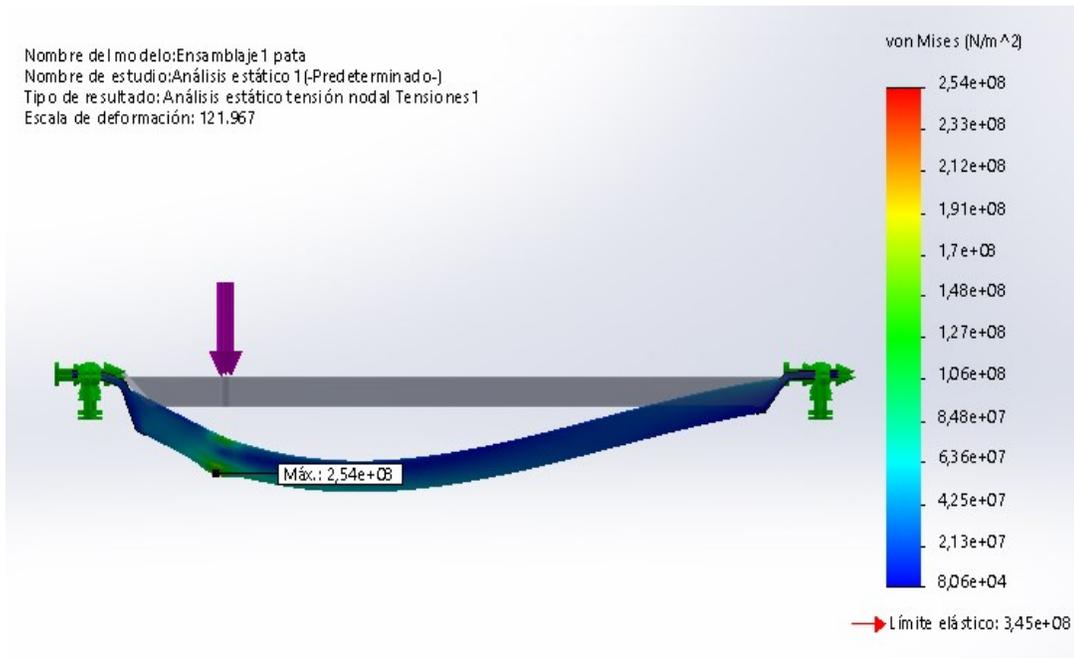
**Figura 94.** Desplazamiento de la base del mástil



Fuente: Autores

Se puede apreciar en la figura 94, que la deflexión máxima del mástil ocurre en el centro del mismo, con un valor de 0,279 mm que se aproxima bastante al valor calculado (0,307mm). Se puede observar también que el valor de la deflexión en los extremos del mástil es igual a cero, lo cual concuerda con la teoría.

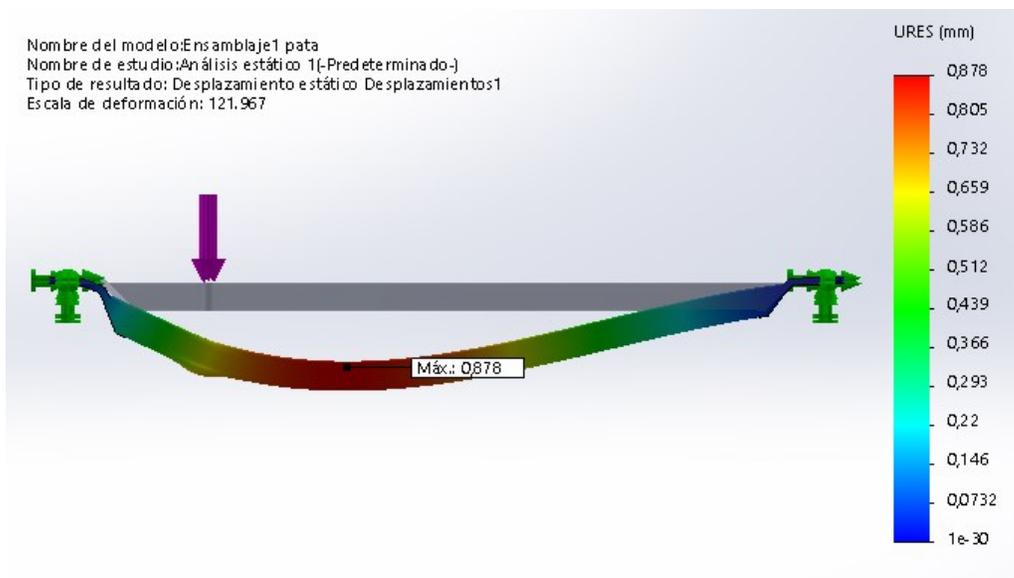
**Figura 95.** Tensión de von Mises de las patas



Fuente: Autores

En la figura 95 se pueden observar los niveles de tensión máxima, ubicados en el punto en donde se unen las patas con la base del mástil, ya que allí existen concentradores de esfuerzo asociados a los agujeros en donde van colocados los elementos de sujeción (pasadores).

**Figura 96.** Desplazamiento de las patas



Fuente: Autores

En la figura 96, se observa que la deflexión máxima correspondiente a 0.878 mm ocurre la zona de color rojo; este valor se aproxima al valor obtenido mediante los cálculos el cual es de 0,707 mm .

Los valores obtenidos en el análisis de la totalidad de la estructura y los obtenidos para cada uno de los componentes por separado difieren ligeramente, sin embargo, sirven como comprobación del óptimo desempeño que tendrá la estructura.

El plano para cada uno de los componentes de la grúa se encuentra en el ANEXO 5.

## 6. CONCLUSIONES

- Dentro de los componentes normalizados, se selecciona el arnés de tipo universal con apoya cabezas debido a que los adultos mayores en general presentan un control limitado de sus extremidades en especial de su cabeza. Este tipo de arnés también se prefiere porque es usado en la mayoría de grúas debido a su versatilidad y su ajuste rápido; es útil para la mayoría de pacientes del hogar geriátrico ya que estos presentan una contextura física muy similar, que hace que no se requiera de varios arneses de diferentes tallas. Según el criterio de selección presente en el catálogo del fabricante (ANEXO 5), se elige un arnés universal de talla M debido a que este soporta un rango de pesos del paciente entre 40 y 90 kg.
- La percha al ser un componente crítico en cuanto a las cargas que soporta, se considera un elemento normalizado que requiere un diseño y construcción más precisos, por lo tanto, para la adquisición de este elemento se elige un proveedor que brinde garantías en cuanto a su funcionamiento, ya que junto con el arnés forman una sola unidad que soporta las cargas correspondientes a peso del paciente y por ende debe de ser uno de los elementos con mayor confiabilidad.
- El actuador se selecciona con base en la disponibilidad de este tipo de elementos en el mercado local. En la ciudad de Bogotá, una de las zonas especializadas en este tipo de elementos es el barrio Ricaurte, en donde se dispone de varios modelos, sin embargo, se prefiere un actuador de tipo hidráulico con capacidad máxima de 3 toneladas, el cual posee un pistón de efecto simple y tiene una válvula integrada de derivación de aceite y sobrecarga que protege el sistema para que no se extienda más allá de sus límites de recorrido.
- De acuerdo con la información recopilada de 20 de las grúas disponibles en el mercado, se diseñaron los elementos no normalizados tomando como guía los componentes más representativos presentes con mayor frecuencia en estos modelos, que sirvieron como orientación para determinar correctamente aspectos dimensionales y el tipo de material usado en el presente diseño.
- Según los resultados obtenidos en el análisis estructural realizado, se pudo comprobar la seguridad de la estructura en general y de cada uno de sus componentes de forma individual, lo que valida su correcto funcionamiento.
- El modelamiento gráfico de cada uno de los componentes de la grúa mediante SolidWorks, permitió realizar adecuaciones a nivel constructivo, geométrico y de ajuste para garantizar el correcto funcionamiento de la estructura, lo que evidencia la gran importancia que tienen las herramientas computacionales en los procesos de diseño.
- La fuerza necesaria para levantar el peso máximo para el cual está diseñado la grúa es de 3185,86 N y el actuador utilizado en este proyecto tiene una capacidad máxima de 29,4 kN correspondiente a 3 toneladas fuerza; como el

actuador se encuentra trabajando al 10% de su capacidad total, se prevé una mayor durabilidad de este componente.

- De acuerdo con los resultados obtenidos al realizar el análisis estructural, la zona crítica principal se encuentra ubicada en el centro de la base del mástil representada en color rojo, lo cual indica que en ese punto las tensiones generadas son elevadas, sin embargo, la deformación es despreciable y no afecta el funcionamiento de la estructura ni la seguridad de la misma.
- Por razones constructivas se elige un tipo de perfilería de sección cuadrada ya que este tipo de estructura tiene mejores propiedades y cuenta con un límite de fluencia superior al de la perfilería de sección redonda.
- Según los requerimientos del hogar geriátrico se eligen unas rodachinas de tipo hospitalario antimicrobial, las cuales inhiben la propagación de bacterias y poseen un buen nivel de adherencia al piso, debido su recubrimiento en goma.
- Según los resultados del análisis de deformación, las deflexiones que se generan bajo la aplicación de la carga máxima de diseño, no representan un riesgo de falla de la estructura.
- Según la necesidad del hogar geriátrico San Pedro Claver este diseño se realiza sin ánimo de lucro, en donde fueron seleccionados de forma aleatoria diferentes tipos de catálogos de grúas que sirvieron de orientación durante todo el proceso.

## 7. RECOMENDACIONES

- No exceda el límite de peso máximo de 135 kg.
- Debido a que la grúa presenta varios puntos de unión, se deben mantener alejadas las manos y los dedos de las piezas móviles.
- Verificar que las ruedas traseras se encuentren bloqueadas antes de trasladar al paciente.
- Realizar los ajustes de seguridad asociados a la correcta colocación del arnés, verificando siempre que los brazos del paciente no queden aprisionados por las tiras.
- Durante el traslado del paciente, No conducir la grúa por superficies irregulares que la desequilibren e incluso puedan ocasionar su volcamiento.
- Revisar periódicamente las ruedas y elementos de sujeción (pernos), para comprobar que están apretados y que no presentan desgaste.
- En caso de hallar algún componente metálico deteriorado, este se debe reemplazar inmediatamente.
- Los elementos de anclaje y sujeción no deben ajustarse excesivamente, ya que ello compromete su duración.
- Se recomienda engrasar periódicamente todas las partes de la grúa en las que hay movimiento, lo que mejora su funcionamiento y evita el desgaste de las piezas por su uso diario
- Evite la acumulación de suciedad en el eje y en los rodamientos de las ruedas.
- No es conveniente usar la grúa en ambientes o recintos con un alto grado de humedad para evitar fenómenos de corrosión.
- Maniobre la grúa únicamente usando los mandos de agarre y nunca lo haga empujando el mástil, el brazo de elevación o al paciente.
- Realice el traslado del paciente siempre con las patas de la grúa en posición cerrada y con el brazo de elevación a una altura lo más baja posible.
- No dejar nunca al paciente solo en la grúa.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] minsalud.gov.co, «Sala situacional de las personas con Discapacidad (PCD),» 07 Septiembre 2019 . [En línea]. Available: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/PES/presentacion-sala-situacional-discapacidad-2017.pdf>.
- [2] M. Lucia, Interviewee, *Situación actual hogar geriátrico San Pedro Claver*. [Entrevista]. 04 Agosto 2019.
- [3] S. P. S. LENNIN, de *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA GRÚA PARA TRANSFERENCIA DE PERSONAS CON DISCAPACIDAD MOTRIZ*, Ibarra - Ecuador, 2016, p. 75.
- [4] a. -. enfermería, «Movilización de pacientes con GRÚA - PROTOCOLO - TIPOLOGÍA DE GRÚAS ORTOPÉDICAS,» Santiago Ramón Lorenzo Ortega, [En línea]. Available: [http://www.auxiliar-enfermeria.com/protocolo\\_grua.htm](http://www.auxiliar-enfermeria.com/protocolo_grua.htm). [Último acceso: 08 Agosto 2019].
- [5] minsalud.gov.co, «Sala situacional de la población adulta mayor,» 31 Mayo 2019. [En línea]. Available: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/PS/sala-situacional-poblacion-adulta-mayor.pdf>. [Último acceso: 07 Marzo 2020].
- [6] e. G. d. C. M. d. educación, «DISCAPACIDAD MOTORA,» de *GUÍA DE APOYO TECNICO PEDAGÓGICO: NECESIDADES EDUCATIVAS ESPECIALES EN EL NIVEL DE EDUCACIÓN PARVULARIA*, Chile, Gobierno de Chile, 2016, p. 07.
- [7] incluyeme.com, «Todo lo que necesitas saber sobre discapacidad motriz,» [En línea]. Available: <https://www.incluyeme.com/todo-lo-que-necesitas-saber-sobre-discapacidad-motriz/>. [Último acceso: 10 Septiembre 2019].
- [8] tiposde.com, «Tipos de discapacidad,» SALUD, [En línea]. Available: <https://www.tiposde.com/tipos-de-discapacidad.html>. [Último acceso: 15 Septiembre 2019].
- [9] minsalud.gov.co, «Datos sobre la discapacidad en Colombia,» Junio 2018. [En línea]. Available: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/PS/sala-situacional-discapacidad-junio-2018.pdf>. [Último acceso: 25 septiembre 2019].
- [10] hill-rom.es, «Elevador de techo,» [En línea]. Available: [www.liko.com](http://www.liko.com). [Último acceso: 27 Septiembre 2019].
- [11] S. M. S.L, «Grúas de traslado,» SUNLIFT, 2008. [En línea]. Available: <https://www.ortopediaplaza.com/wp-content/uploads/2017/08/ARNESES-GRUAS.pdf>. [Último acceso: 28 Septiembre 2019].
- [12] interferenciales.mx, «Grúa móvil,» [En línea]. Available: <https://interferenciales.com.mx/products/grua-movil-1641>. [Último acceso: 28 Septiembre 2019].
- [13] edadespalencia.es, «GRÚAS Y ARNESES,» Ayudas dinámicas, [En línea]. Available: <http://edadespalencia.es/wp-content/uploads/2017/01/gruasarneses.pdf>. [Último acceso: 28 Septiembre 2019].
- [14] E. a. dinámicas, «GRUAS Y ARNESES,» [En línea]. Available: <http://edadespalencia.es/wp-content/uploads/2017/01/gruasarneses.pdf>. [Último acceso: 29 Septiembre 2019].
- [15] o. -. M. d. usuario, «Grúa de bipedestación GB-20,» 2014. [En línea]. Available: <https://www.ortoweb.com/media/useruploads/files/manual-usuario-grua-de-bipedestacion-plegable-gb-20-con-arnes.pdf>. [Último acceso: 20 Septiembre 2019].
- [16] hnsa.com.co, «CILINDROS HIDRÁULICOS,» 05 Febrero 2019. [En línea]. Available: <http://www.hnsa.com.co/cilindros-hidraulicos/>.
- [17] S. Verswyvel, «Manual de una silla de ruedas estándar,» [En línea]. Available: <http://unaciudadparatodos.com/sccs/manual.php?id=1>. [Último acceso: 23 Agosto 2020].
- [18] «Antioqueña de rodachinas Ltda,» [En línea]. Available: <https://www.antioquenaderodachinas.com>. [Último acceso: 27 07 2020].

- [19 «Arquitectura + acero,» [En línea]. Available: <http://www.arquitecturaenacero.org/uso-y-aplicaciones-del-acero/materiales/perfiles-y-tubos>. [Último acceso: 28 07 2020].
- [20 «Alacero,» [En línea]. Available: <https://www.alacero.org/es/page/el-acero/tubos-sin-costura>. [Último acceso: 28 07 2020].
- [21 «United Steel Industry,» [En línea]. Available: <http://www.united-steel.com/es/newsshow/363.html>. [Último acceso: 29 07 2020].
- [22 «Permanet Steel Manufacturing,» [En línea]. Available: <https://www.permanentsteel.com/es/newsshow/astm-a501.html>. [Último acceso: 29 07 2020].
- [23 «Octal Steel,» [En línea]. Available: <https://www.octalacero.com/astm-a53>. [Último acceso: 29 07 2020].
- [24 R. L. Mott, Resistencia de materiales, México: Pearson Educación, 2009.  
]
- [25 R. L. Mott, DISEÑO DE ELEMENTOS DE MÁQUINAS, México : Pearson, 2006.  
]
- [26 E. MUNDARAY, «Teoria de fallas para materiales dúctiles,» [En línea]. Available: <https://teoriadefalla.wordpress.com/2016/05/06/teoria-de-falla-para-materiales-ductiles>. [Último acceso: 13 10 2020].
- [27 T. Engineering, «Factores de seguridad,» [En línea]. Available: [https://www.engineeringtoolbox.com/factors-safety-fos-d\\_1624.html](https://www.engineeringtoolbox.com/factors-safety-fos-d_1624.html). [Último acceso: 10 Octubre 2020].
- [28 «ortopedia en casa,» [En línea]. Available: <https://ortopediaencasa.com/arnes-universal-con-reposacabezas-invacare-1591.html>. [Último acceso: 17 11 2020].
- [29 «Hill Room,» [En línea]. Available: <https://www.hill-rom.es/es/Products/Products-by-Category/patient-handling/sling-bars/>. [Último acceso: 17 11 2020].
- [30 «You Tube,» [En línea]. Available: [https://www.youtube.com/watch?v=\\_1dPINtP9os](https://www.youtube.com/watch?v=_1dPINtP9os). [Último acceso: 25 03 2020].
- [31 «You Tube,» [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=Vqo58V-5R1c>. [Último acceso: 25 03 2020].
- [32 «You Tube,» [En línea]. Available: [https://www.youtube.com/watch?time\\_continue=2&v=GpO16eeMyqk&feature=emb\\_logo](https://www.youtube.com/watch?time_continue=2&v=GpO16eeMyqk&feature=emb_logo). [Último acceso: 26 03 2020].
- [33 «You Tube,» [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=9HLVPNgGJbQ>. [Último acceso: 26 03 2020].
- [34 «You Tube,» [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=110tuHG8tQs>. [Último acceso: 28 03 2020].
- [35 «You Tube,» [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=HbeV7UsSs1Y>. [Último acceso: 27 03 2020].
- [36 «You Tube,» [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=P4eAOjQpxTk>. [Último acceso: 29 03 2020].
- [37 «You Tube,» [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=-1j2nhSU9NM>. [Último acceso: 30 03 2020].
- [38 «You Tube,» [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=LWphDwvmros>. [Último acceso: 30 03 2020].
- [39 «You Tube,» [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=IfV-gOdoyu0&t=461s>. [Último acceso: 31 03 2020].
- [40 «Grupo hierros Alfonso,» [En línea]. Available: <https://www.grupohierrosalfonso.com/productos/perfiles-estructurales-viga/perfiles-ipn.html>. [Último acceso: 27 07 2020].
- [41 R. C. Hibbeler, Mecanica de materiales, México: Pearson Educación, 2011.  
]

[42 R. c. Hibbeler, MECANICA DE MATERIALES, México : Pearson, 2011.

]

[43 Sunlift, «Sunrisemedical,» [En línea]. Available: <https://www.sunrisemedical.es/ayudas-y-gruas/sunlift/gruas-hospitalarias>. [Último acceso: 09 09 2020].

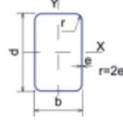
[44 T. commena, «PERFIL ESTRUCTURAL TUBULAR Negro y Galvanizado ASTM A500 (NTC 4526),»

] [En línea]. Available:

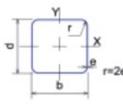
[https://www.academia.edu/40641008/PERFIL\\_ESTRUCTURAL\\_TUBULAR\\_Negro\\_y\\_Galvanizado\\_ASTM\\_A500\\_NTC\\_4526](https://www.academia.edu/40641008/PERFIL_ESTRUCTURAL_TUBULAR_Negro_y_Galvanizado_ASTM_A500_NTC_4526). [Último acceso: 08 26 2020].

# ANEXOS

## ANEXO 1. Catálogo de perfiles laminados



PERFIL RECTANGULAR																		
CARACTERÍSTICAS Y DENOMINACIÓN					PROPIEDADES ESTADÍSTICAS								UNIDAD					
TAMANO NOMINAL	REAL	ESPEJOR DE PARED	PESO	ÁREA	FLEXIÓN EJE X - X				FLEXIÓN EJE Y - Y			MÓDULO PLÁSTICO	TORSIÓN	EMPAQUE				
PULG.	MM	d mm	h mm	cm <sup>2</sup>	MOMENTO INERCIA I <sub>xx</sub> cm <sup>4</sup>	MÓDULO SECCIÓN S <sub>xx</sub> cm <sup>3</sup>	RADIO DE GIRO r <sub>xx</sub> cm	MÓDULO INERCIA I <sub>yy</sub> cm <sup>4</sup>	RADIO DE GIRO r <sub>yy</sub> cm	MÓDULO ELÁSTICO S <sub>yy</sub> cm <sup>3</sup>	MÓDULO PLÁSTICO Z <sub>xx</sub> cm <sup>3</sup>	MÓDULO PLÁSTICO Z <sub>yy</sub> cm <sup>3</sup>	MOMENTO INERCIA J <sub>cmf</sub>	MÓDULO ELÁSTICO E <sub>cmf</sub>				
2X1/2	50 x 13	50.00	12.00	1.50	1.27	1.49	1.72	4.54	1.81	1.62	0.50	0.77	0.54	2.46	0.90	1.45	20	
	50.00	30.00	1.50	1.77	1.90	2.25	2.72	2.97	1.85	2.78	2.06	1.11	3.70	2.94	6.71	3.56	25	
	50.00	30.00	2.00	2.31	2.49	2.94	3.76	3.76	1.82	3.49	2.58	1.89	4.74	2.89	8.63	4.49		
50.00	30.00	2.50	2.82	2.98	3.59	11.55	4.44	1.79	4.09	5.03	1.07	5.69	3.58	10.41	5.31			
2.38X1.1/2	60 X 40	60.00	40.00	1.50	2.24	2.93	2.85	13.84	4.61	2.20	6.81	3.60	5.59	4.07	14.59	5.99	20	
	60.00	40.00	2.00	2.93	3.31	3.73	17.89	5.90	2.18	8.66	4.57	1.32	7.22	5.26	18.95	7.66		
	60.00	40.00	2.50	3.60	3.97	4.38	21.18	7.86	2.15	10.32	5.45	1.50	8.75	6.35	23.07	9.18		
2X1 1/2	76 X 28	76.00	38.00	1.00	2.57	2.89	3.27	24.92	6.54	2.76	8.54	4.48	1.61	8.07	5.00	20.50	7.74	16
	76.00	38.00	2.00	3.27	3.79	4.29	32.06	8.42	2.73	10.90	5.72	1.99	10.40	6.47	26.65	9.93		
	76.00	38.00	2.50	4.15	4.55	5.39	39.64	10.14	2.70	13.05	6.35	1.57	12.75	7.85	32.48	11.94		
2.310X1.1/2	80 X 40	80.00	40.00	2.00	2.96	3.86	4.45	45.11	11.28	2.94	15.26	7.23	1.85	14.15	8.22	37.91	12.28	16
	80.00	40.00	3.00	5.19	-	6.61	52.25	13.66	2.81	17.56	8.78	1.83	16.54	10.16	44.20	15.36		
	80.00	40.00	1.50	2.18	2.54	4.05	44.88	9.96	2.22	18.15	7.26	2.12	12.09	8.07	41.02	12.32		
21/202	90 X 50	90.00	50.00	2.00	4.19	4.65	5.34	58.15	12.90	3.20	22.41	9.36	2.09	15.78	10.52	53.62	15.93	16
	90.00	50.00	3.00	5.17	5.59	6.59	70.59	15.66	2.77	28.28	11.21	2.07	18.91	12.84	65.78	19.32		
	90.00	50.00	1.00	6.13	6.92	7.81	82.24	18.24	3.25	32.80	13.12	2.05	22.67	15.05	77.28	22.49		
4X14/7	100 X 40	100.00	40.00	1.50	2.18	2.54	4.05	50.49	10.10	2.53	12.16	6.08	1.73	12.68	6.89	31.94	10.80	16
	100.00	40.00	2.00	4.19	4.65	5.34	65.38	13.08	3.50	15.61	8.11	1.71	16.54	8.69	41.59	13.91		
	100.00	40.00	2.50	5.17	5.59	6.59	73.92	16.78	5.39	1.82	18.78	5.39	20.23	10.38	50.77	16.80		
4X2	100 X 50	100.00	50.00	1.00	6.13	6.92	7.81	92.34	18.47	3.44	21.67	10.84	1.67	23.28	12.28	59.49	19.48	16
	100.00	50.00	2.00	4.90	5.32	5.74	74.88	15.00	2.62	25.67	10.27	2.12	18.50	11.46	61.72	17.75		
	100.00	50.00	2.50	5.56	6.41	7.09	91.20	18.24	3.59	31.06	14.42	2.09	22.67	14.68	73.88	21.54		
4.34X2.3/8	120 X 60	120.00	60.00	2.00	6.74	7.23	8.59	167.03	27.43	4.41	35.68	18.59	2.50	31.94	20.77	135.18	32.22	16
	120.00	60.00	3.00	8.01	8.45	10.20	185.96	32.18	4.38	45.03	21.71	2.55	40.05	24.46	159.61	37.73		
	120.00	60.00	1.00	8.82	-	11.41	206.55	39.81	5.12	52.65	21.06	2.15	39.41	24.89	159.80	38.36		
6X2	150 X 90	150.00	90.00	4.00	11.73	-	14.95	381.29	50.85	5.05	66.16	26.47	2.10	66.47	30.13	199.22	48.51	16
	150.00	90.00	4.00	14.87	5.91	18.95	594.60	79.28	5.60	218.57	63.71	4.10	95.67	72.90	264.06	105.15		
	150.00	90.00	6.00	21.69	-	27.63	834.69	111.29	5.50	444.19	88.84	4.01	136.69	101.20	357.04	147.81		
6.27X2.9/8	160 X 65	160.00	65.00	1.00	10.13	-	12.91	403.25	51.04	5.62	100.23	31.84	2.70	64.95	34.24	204.40	54.83	16
	160.00	65.00	4.00	13.20	-	16.95	524.69	65.59	5.56	127.44	39.21	2.74	81.50	44.21	242.49	70.05		
	160.00	65.00	4.00	14.36	-	18.55	709.17	78.80	6.18	142.25	42.80	2.77	101.25	49.22	298.32	79.21		
8X2.3/4	200 X 70	200.00	70.00	4.00	16.13	-	20.55	983.18	96.92	6.87	185.51	50.00	3.00	124.52	59.68	321.89	96.93	9
	200.00	70.00	4.00	22.88	-	30.10	1284.68	158.45	6.74	258.39	72.97	2.92	173.26	83.75	741.80	192.47		
	200.00	70.00	4.00	18.01	-	22.95	1399.71	139.97	7.23	410.78	82.16	4.23	148.04	91.70	988.08	142.01		
8X4	200 X 100	200.00	100.00	6.00	26.40	-	33.63	1703.31	170.33	7.12	576.91	115.28	4.14	213.27	131.50	1426.66	200.83	9
	200.00	100.00	5.00	26.18	-	31.26	2353.76	204.30	8.75	609.85	121.97	4.35	258.51	258.51	1823.94	217.49		
	200.00	100.00	5.00	26.18	-	31.26	2353.76	204.30	8.75	609.85	121.97	4.35	258.51	258.51	1823.94	217.49		
10x6	250 X 150	250.00	150.00	1.00	20.13	-	26.11	2841.88	284.19	8.06	1507.23	301.66	4.20	293.76	329.82	2392.86	327.32	9
	250.00	150.00	5.00	30.11	-	38.36	4852.22	271.01	10.29	722.77	144.55	4.34	343.15	359.59	2949.91	382.65		
	250.00	150.00	7.00	41.43	-	52.78	5455.64	363.71	10.17	954.21	190.84	4.26	472.62	215.04	2784.22	348.77		
14x6	350 X 150	350.00	150.00	7.00	32.42	-	66.78	10222.35	304.13	12.37	2732.02	364.27	6.40	723.37	405.79	7083.97	493.79	6
	350.00	150.00	9.00	30.80	-	102.67	21303.90	1385.15	14.40	7274.28	727.43	8.42	1393.09	816.15	17421.99	1299.37		
	350.00	150.00	9.00	30.80	-	102.67	21303.90	1385.15	14.40	7274.28	727.43	8.42	1393.09	816.15	17421.99	1299.37		



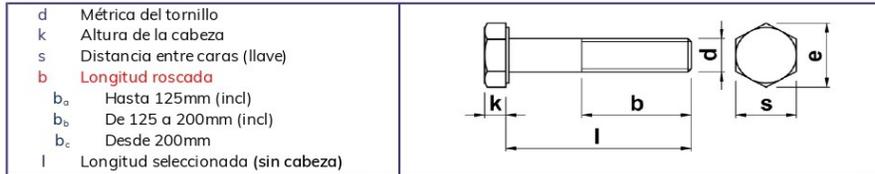
PERFIL CUADRADO															
CARACTERÍSTICAS Y DENOMINACIÓN					PROPIEDADES ESTADÍSTICAS								UNIDAD		
TAMANO NOMINAL	REAL	ESPEJOR DE PARED	PESO	ÁREA	FLEXIÓN				TORSIÓN			EMPAQUE			
PULG.	MM	d mm	h mm	cm <sup>2</sup>	MOMENTO INERCIA I <sub>xx</sub> cm <sup>4</sup>	MÓDULO ELÁSTICO S <sub>xx</sub> cm <sup>3</sup>	RADIO DE GIRO r <sub>xx</sub> cm	MÓDULO INERCIA I <sub>yy</sub> cm <sup>4</sup>	RADIO DE GIRO r <sub>yy</sub> cm	MÓDULO ELÁSTICO S <sub>yy</sub> cm <sup>3</sup>	MÓDULO PLÁSTICO Z <sub>xx</sub> =Z <sub>yy</sub> cm <sup>3</sup>	MOMENTO INERCIA J <sub>cmf</sub>	MÓDULO ELÁSTICO E <sub>cmf</sub>		
1 X 1	25 X 25	25.00	25.00	1.50	1.06	1.23	1.35	1.22	0.97	0.95	1.17	1.47	2.58	1.82	36
	25 X 25	25.00	25.00	2.00	1.36	1.60	1.73	1.48	1.19	0.93	1.47	2.58	1.82	36	
	25 X 25	25.00	25.00	2.50	1.64	1.90	2.09	1.89	1.35	0.90	1.71	3.07	2.11	36	
1.47 X 1.47	40 X 40	40.00	40.00	1.50	1.77	1.90	2.25	5.49	2.75	1.56	3.22	8.77	4.13	25	
	40 X 40	40.00	40.00	2.00	2.21	2.49	2.94	6.94	3.47	1.54	4.13	11.36	5.25	25	
	40 X 40	40.00	40.00	2.50	2.82	2.98	3.59	8.22	4.11	1.51	4.97	13.79	6.25	25	
2 X 2	50 X 50	50.00	50.00	1.50	2.24	2.53	2.85	11.07	4.43	1.97	5.15	17.45	6.66	25	
	50 X 50	50.00	50.00	2.00	2.93	3.31	3.73	14.15	5.66	1.95	6.66	22.73	8.53	25	
	50 X 50	50.00	50.00	2.50	3.60	3.97	4.59	16.94	6.78	1.92	8.07	27.75	10.26	25	
2.1/3 X 2.1/3	60 X 60	60.00	60.00	1.50	2.94	3.24	3.65	15.92	5.91	2.38	7.53	30.53	9.78	25	
	60 X 60	60.00	60.00	2.00	3.56	3.86	4.54	25.14	8.38	2.35	9.79	39.91	12.61	25	
	60 X 60	60.00	60.00	2.50	4.39	4.63	5.59	30.34	10.11	2.33	11.93	48.92	15.26	25	
2.3/4 X 2.3/4	70 X 70	70.00	70.00	3.00	5.19	-	6.61	35.13	11.71	2.31	13.95	57.57	17.73	16	
	70 X 70	70.00	70.00	1.50	3.18	3.54	4.05	31.46	8.99	2.79	10.26	46.89	13.50	16	
	70 X 70	70.00	70.00	2.00	4.19	4.65	5.34	40.73	11.64	2.76	13.52	64.10	17.50	16	
3 X 3	70 X 70	70.00	70.00	2.50	5.17	5.59	6.59	49.41	14.12	2.74	16.54	78.79	21.27	16	
	75 X 75	75.00	75.00	3.00	6.60	-	8.41	71.62	18.10	2.92	22.49	115.14	28.81	16	
	75 X 75	75.00	75.00	4.00	8.59	-	10.95	90.19	24.05	2.87	28.76	148.83	36.48	16	
3.1/2 X 3.1/2	90 X														

## ANEXO 2. Tornillos de cabeza hexagonal DIN 931

### TORNILLO HEXAGONAL DIN-931 | ISO-4014 (MÉTRICO)

Cincado

Calidad 8.8



### Cotas en milímetros (mm)

	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M12	M14	M16
d										
k	2,8	3,5	4	5	5,5	6,25	7	8	9	10
s	7	8	10	11	13	15	17	19	22	24
b <sub>a</sub>	14	18	18	20	22	22	26	30	34	38
b <sub>b</sub>	-	22	24	26	28	28	32	36	40	44
b <sub>c</sub>	-	-	-	-	-	-	45	49	53	57
paso	0,7	0,8	1	1	1,25	1,25	1,5	1,75	2	2

	M18	M20	M22	M24	M27	M30	M33	M36		
d										
k	12	13	14	15	17	19	21	22		
s	27	30	32	36	41	46	50	55		
b <sub>a</sub>	42	46	50	54	60	66	72	78		
b <sub>b</sub>	48	52	56	60	66	72	78	84		
b <sub>c</sub>	61	65	69	73	78	85	91	97		
paso	2,5	2,5	2,5	3	3	3,5	3,5	4		

## ANEXO 3. Catalogo de platinas para acero estructural al carbono

# PLATINAS

### CARACTERÍSTICAS DIMENSIONALES

DENOMINACIÓN COMERCIAL	DIMENSIONES mm		TOLERANCIAS			LONGITUD NOMINAL (m)	
	ANCHO	ESPESOR	ANCHO mm		ESPESOR mm		
PULGADAS			Máximo	Mínimo			
1/8 X 1	25.4	3.175	1	1	±0.18	<b>6</b>	
1/8 x 1 1/4	31.75		1	1			
1/8 x 1 1/2	38.1		1	1			
1/8 X 2	50.8		1.5	1			±0.2
3/16 X 3/4	19.05	4.76	1	1	±0.18		
3/16 X 1	25.4		1	1			
3/16 x 1 1/4	31.75		1	1			
3/16 x 1 1/2	38.1		1	1			
3/16 X 2	50.8		1	1			±0.2
3/16 x 2 1/2	63.5		1.5	1			
3/16 X 3	76.2	6.35	1	1	±0.18		
1/4 x 3/4	19.05		1	1			
1/4 X 1	25.4		1	1			
1/4 x 1 1/4	31.75		1	1			±0.3
1/4 x 1 1/2	38.1		1	1			
1/4 X 2	50.8		1.5	1			
1/4 x 2 1/2	63.5		1.5	1			±0.4
1/4 x 3	76.2		1.5	1			
3/8 x 1	25.4	9.5	1	1	±0.3		
3/8 x 1 1/2	38.1		1	1			
3/8 x 2	50.8		1.5	1			
3/8 x 2 1/2	63.5		1.5	1		±0.4	
1/2 x 1 1/2	38.1	12.7	1	1			

### ACERO ESTRUCTURAL AL CARBONO

REQUISITOS DE PROPIEDADES MECÁNICAS			
PROPIEDADES	NTC 1920:2014		
	Kg/mm <sup>2</sup>	Mpa	psi
Resistencia a la Tracción (mínimo)	40 - 56	400 - 500	58.000 80.000
Limite de Fluencia (mínimo)	25	250	36.000
% de elongación mínimo en 8 pulgadas para el sistema Ingles, o 200mm para el Sistema Internacional (SI)	<b>20</b>		

## INDUSTRIA COLOMBIANA

### USOS Y APLICACIONES

Nuestras platinas son utilizadas en múltiples aplicaciones de la industria metalmecánica, tales como la ornamentación, elementos arquitectónicos, metalistería y forjas.

[www.mepesa.com.co](http://www.mepesa.com.co)

## ANEXO 4. Catálogo del fabricante de rodachinas isma.

**ROD-4-PG-023-E 1/2-FTO/BP-7/16-PL-GR-TZ**  
**Código IMSA: 7018510**



**www.imsa-colson.com**



### Características:

Rodachinas ensambladas con un tenedor de acero de grueso calibre, acabado galvanizado, doble pista de rodamientos y rueda de poliuretano gris. Disponibles fijas y giratorias, con o sin freno total.

### Usos:

Especiales para transporte de carga intermedia. Excelente capacidad de carga para su tamaño. Ideal para ser usada en la industria y en los hospitales, carros de lavandería y hoteles.



**Material de la banda: POLIURETANO ELASTOMERICO.**



**Dureza de la banda: 90 +/- 5 SHORE A**



**Superficie de la banda: Semiredonda**



**Capacidad de carga: 125 Kg**



**Rodamiento: BALINERA DE PRECISIÓN**



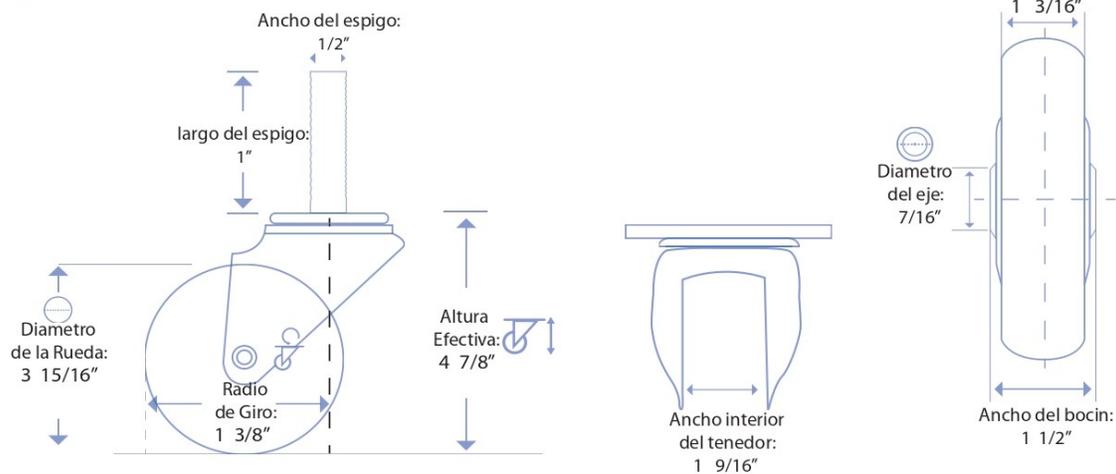
**Protección de piso: Media**

## Ficha técnica

Marzo 2014

Todas las medidas son de referencia

Sujeción: E



**ROD-4-PG-023-E 1/2-F00/BP-7/16-PL-GR-TZ**  
**Código IMSA: 7018560**



**www.imsa-colson.com**



**Características:**

Rodachinas ensambladas con un tenedor de acero de grueso calibre, acabado galvanizado, doble pista de rodamientos y rueda de poliuretano gris. Disponibles fijas y giratorias, con o sin freno total.

**Usos:**

Especiales para transporte de carga intermedia. Excelente capacidad de carga para su tamaño. Ideal para ser usada en la industria y en los hospitales, carros de lavandería y hoteles.

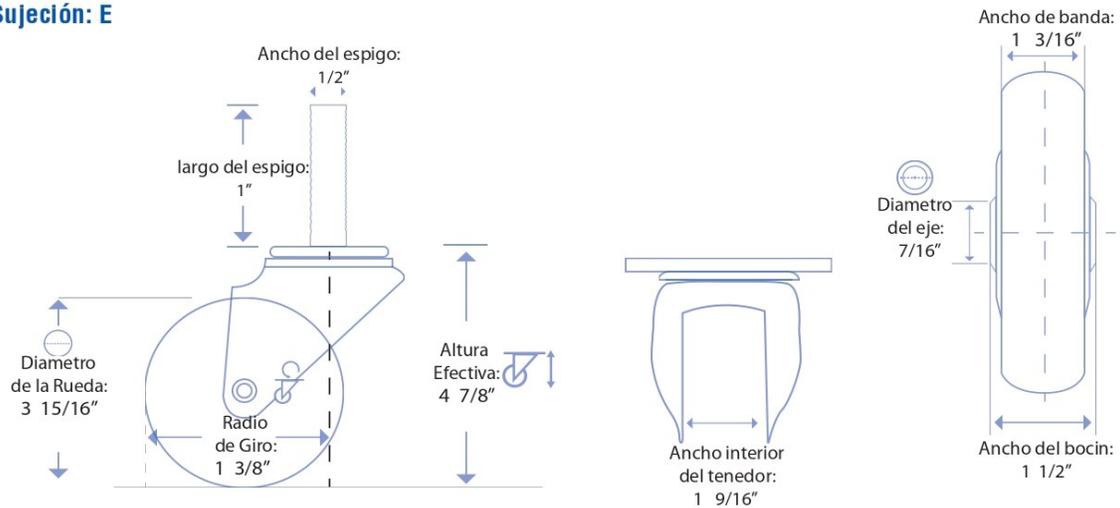
-  **Material de la banda: POLIURETANO ELASTOMERICO.**
-  **Dureza de la banda: 90 +/- 5 SHORE A**
-  **Superficie de la banda: Semiredonda**
-  **Capacidad de carga: 125 Kg**
-  **Rodamiento: BALINERA DE PRECISIÓN**
-  **Protección de piso: Media**

**Ficha técnica**

Marzo 2014

**Todas las medidas son de referencia**

**Sujeción: E**



## ANEXO 5. Catalogo arnés universal estándar



### Invacare **Eslinga Universal con Reposacabezas**

La **Eslinga Universal con reposacabezas** permite a los usuarios mantener los brazos libres durante la transferencia. Está destinada para usuarios que tienen un control limitado de la cabeza, tronco o caderas, o para transferencias hacia o desde una posición acostada. Se puede colocar y retirar en posición sentada.

Este modelo tiene, a la altura de la espalda, un segmento reforzado para asegurar una mejor distribución de la presión y mayor comodidad del usuario.

Material : Tejido

	Tallas	A	B	C	D
<b>Naranja</b>	<b>S</b>	1380	840	880	340
<b>Amarillo</b>	<b>M</b>	1510	950	930	450



### Invacare **Eslinga Universal Estándar**

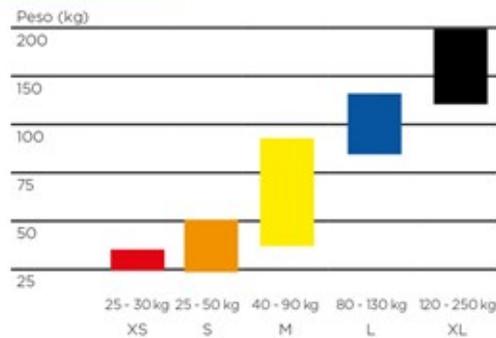
Esta eslinga sujeta todo el cuerpo incluyendo los hombros, sin embargo debe ser utilizada en pacientes que tengan control de cabeza. La **Eslinga Universal Estándar** puede ser utilizada en transferencias para o desde una posición sentada, siendo muy fácil su colocación.

Este modelo tiene, a la altura de la espalda, un segmento reforzado para asegurar una mejor distribución de la presión y mayor comodidad del usuario.

Material : Tejido

	Tallas	A	B	C	D
<b>Naranja</b>	<b>S</b>	1000	920	510	410
<b>Amarillo</b>	<b>M</b>	1090	1050	560	480
<b>Azul</b>	<b>L</b>	1180	1090	580	560
<b>Negro</b>	<b>XL</b>	1240	1250	585	710

### Guía de tallas



200 kg  
Tallas XL : 250 kg



95°



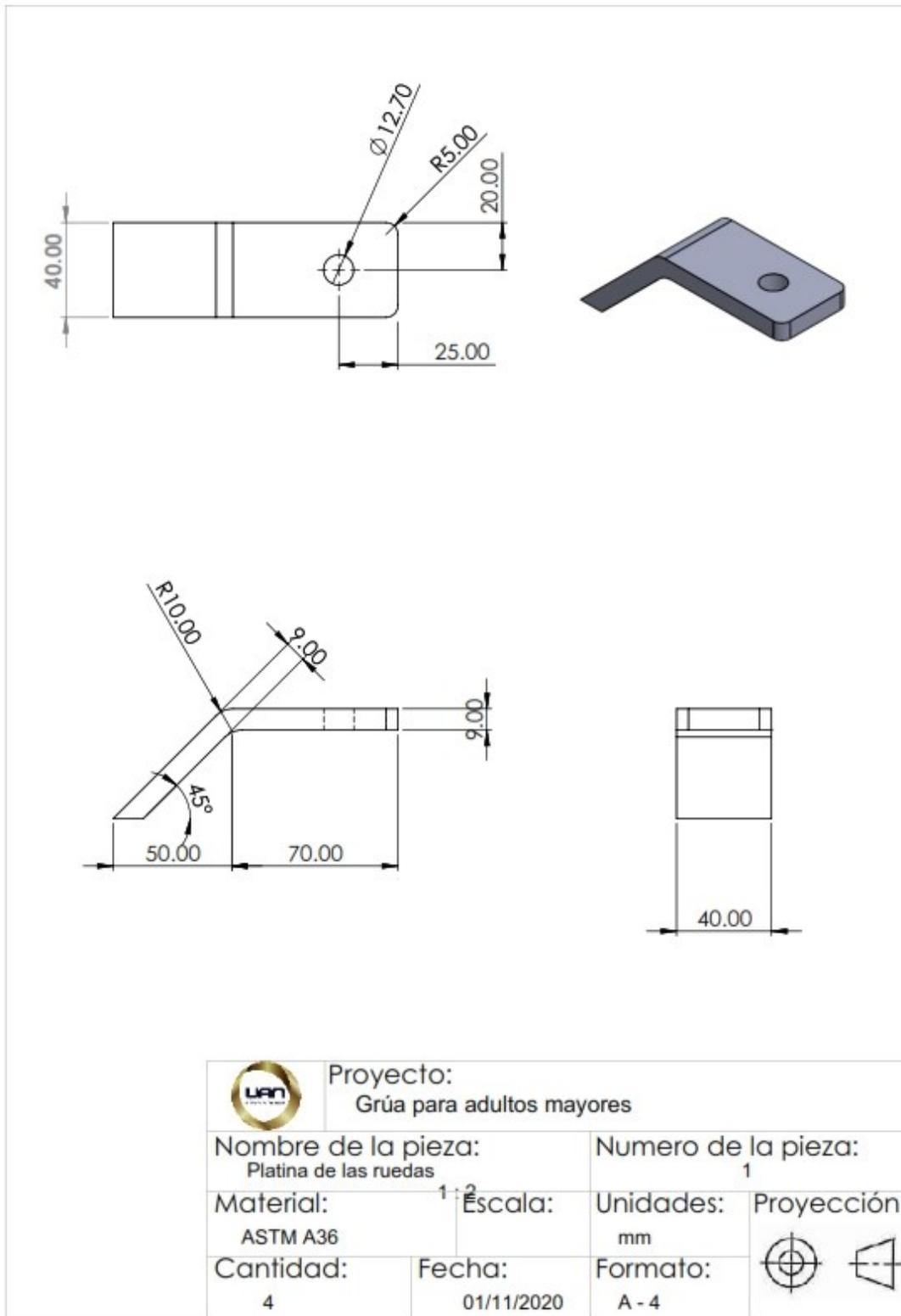
Todas las eslingas deben ser probadas y ajustadas al usuario para asegurar comodidad y seguridad durante las transferencias.

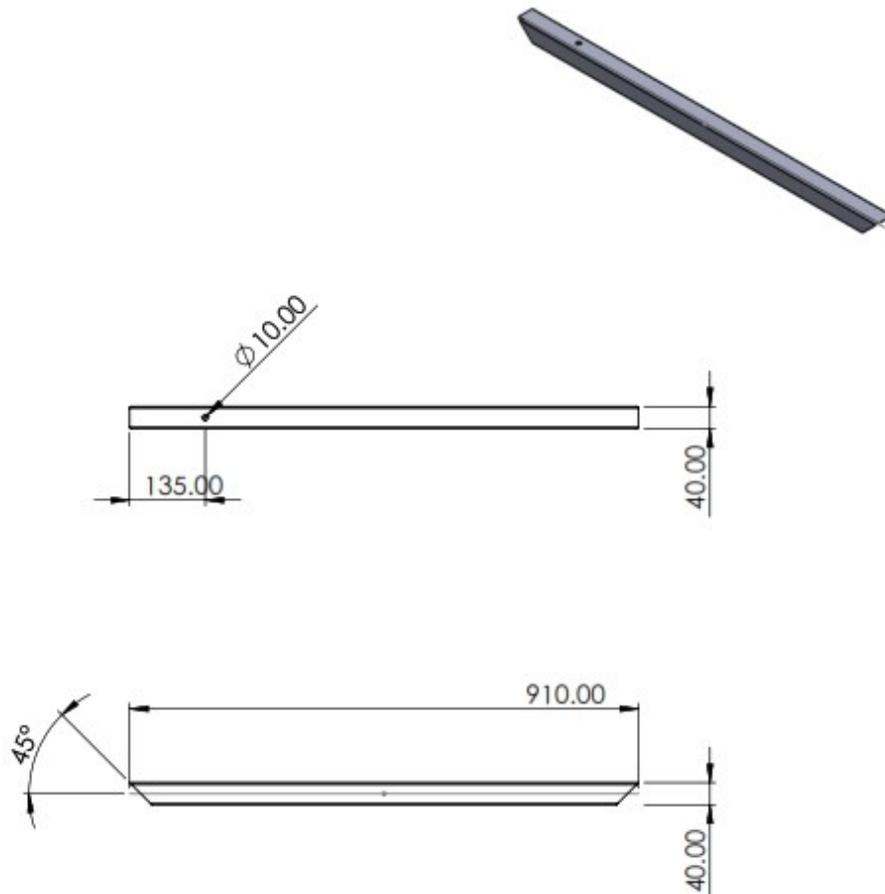
1/ Talla seleccionada. En las tallas XL, el peso máximo de usuario es de 250 kgr.

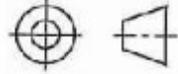


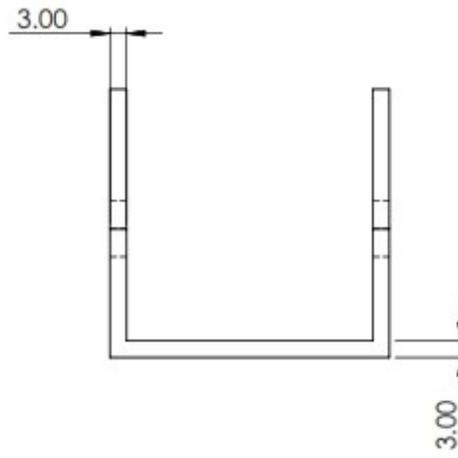
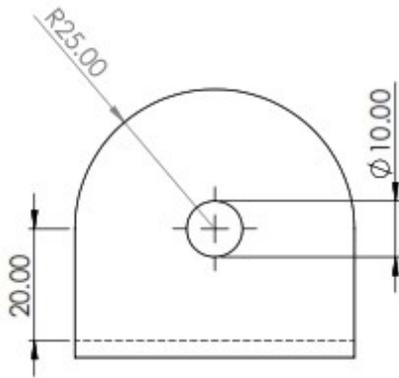
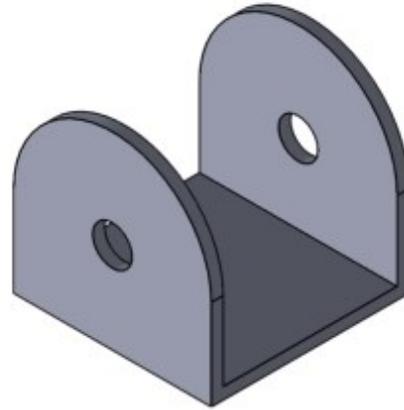
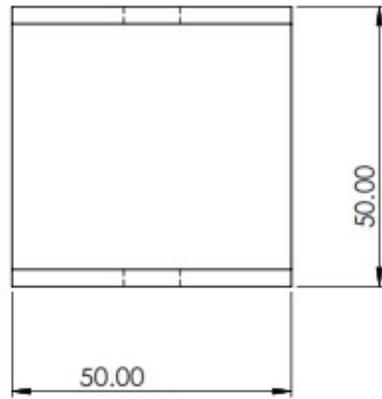
Algunas tallas y material de las eslingas descritas en este catálogo se consideran como producto disponible bajo pedido especial.  
- Es importante realizar un análisis de riesgo de la piel de las personas que deben permanecer en la eslinga largos periodos de tiempo.  
- Dimensiones de las eslingas en mm.

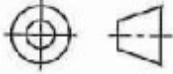
**ANEXO 6. Planos de la grúa móvil para traslado de adultos mayores.**

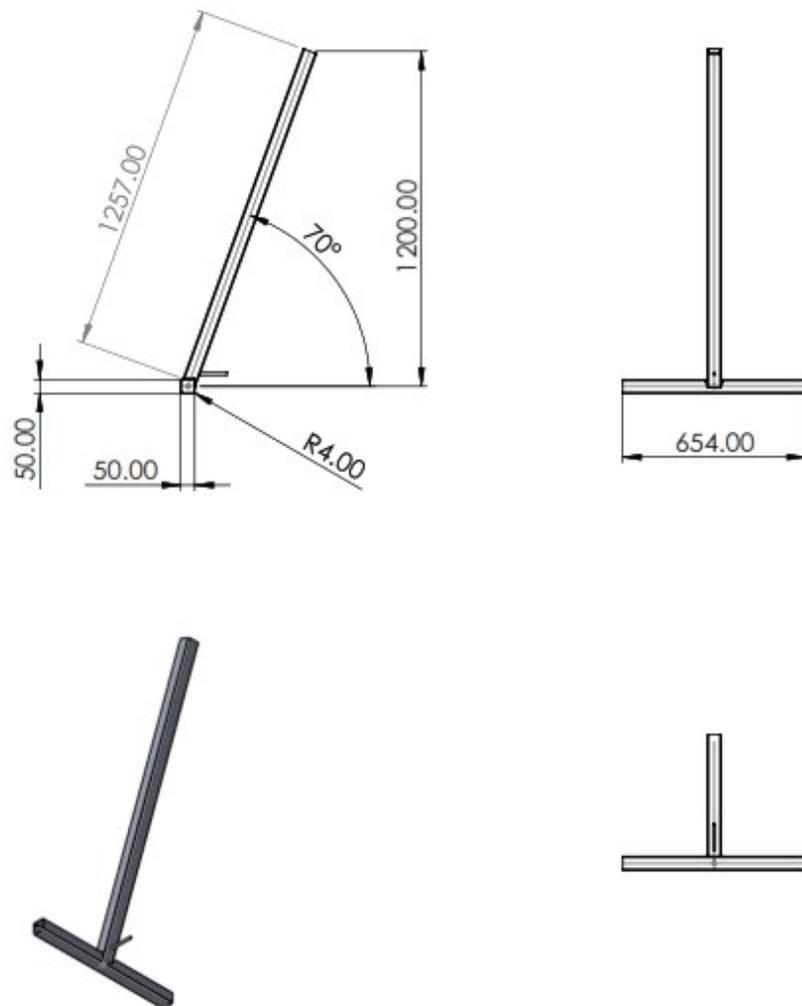


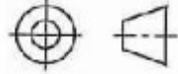


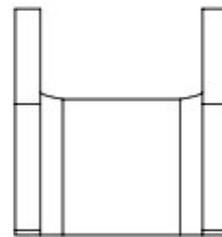
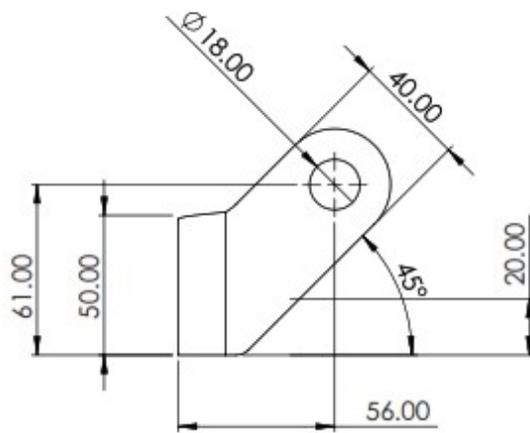
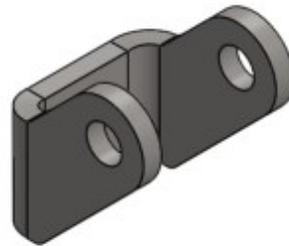
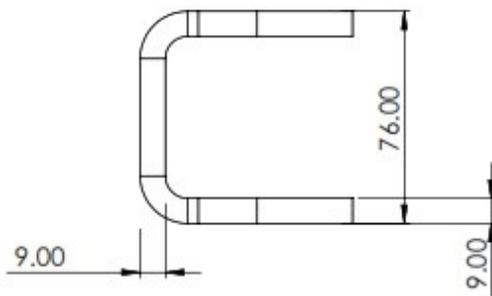
		<b>Proyecto:</b> Grúa para adultos mayores	
<b>Nombre de la pieza:</b> Base lateral de la grúa		<b>Numero de la pieza:</b> 2	
<b>Material:</b> Acero estructural 40x40x1,5	<b>Escala:</b> 1 : 10	<b>Unidades:</b> mm	<b>Proyección</b> 
<b>Cantidad:</b> 2	<b>Fecha:</b> 01/11/2020	<b>Formato:</b> A - 4	



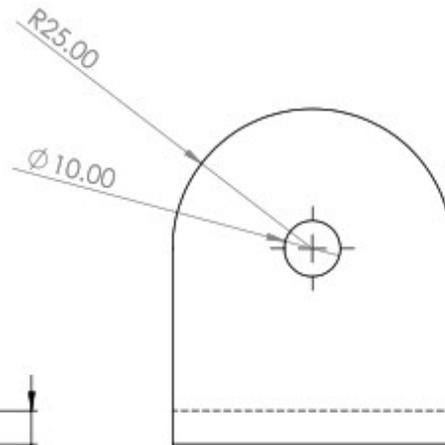
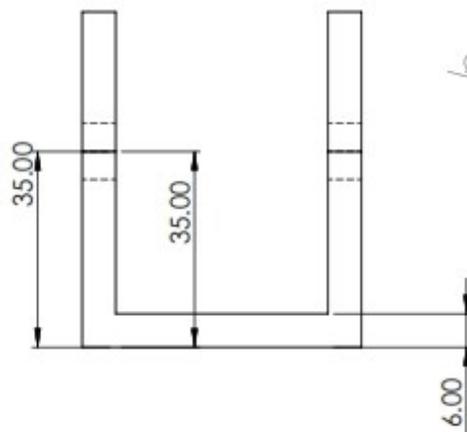
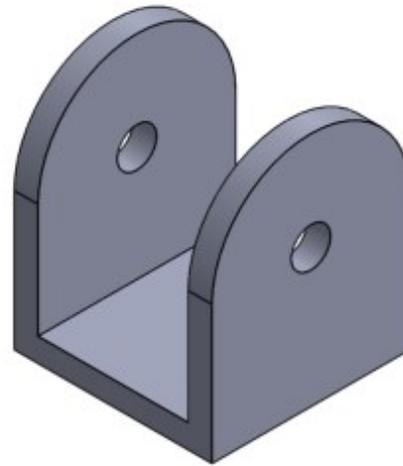
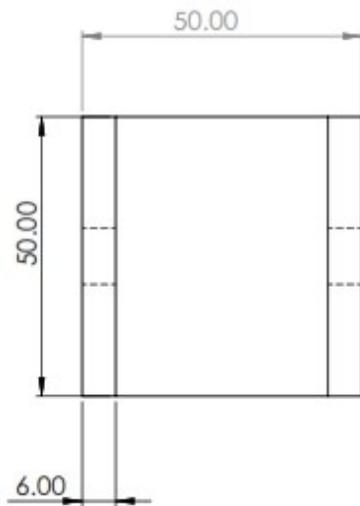
		<b>Proyecto:</b> Grúa para adultos mayores	
<b>Nombre de la pieza:</b> Platina de la base del mástil		<b>Numero de la pieza:</b> 3	
<b>Material:</b> ASTM A - 36	<b>Escala:</b> 1 : 1	<b>Unidades:</b> mm	<b>Proyección</b> 
<b>Cantidad:</b> 2	<b>Fecha:</b> 1/11/2020	<b>Formato:</b> A-4	

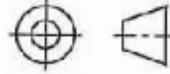


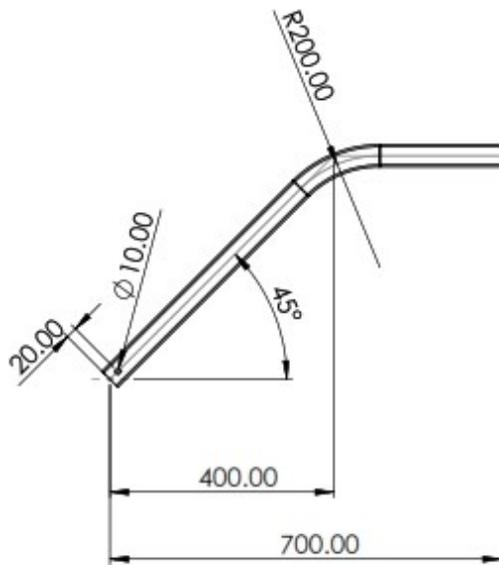
		<b>Proyecto:</b> Grúa para adultos mayores	
<b>Nombre de la pieza:</b> Mástil		<b>Numero de la pieza:</b> 4	
<b>Material:</b> Acero estructural 50x50x2	<b>Escala:</b> 1 : 20	<b>Unidades:</b> mm	<b>Proyección</b> 
<b>Cantidad:</b> 1	<b>Fecha:</b> 1/11/2020	<b>Formato:</b> A - 4	



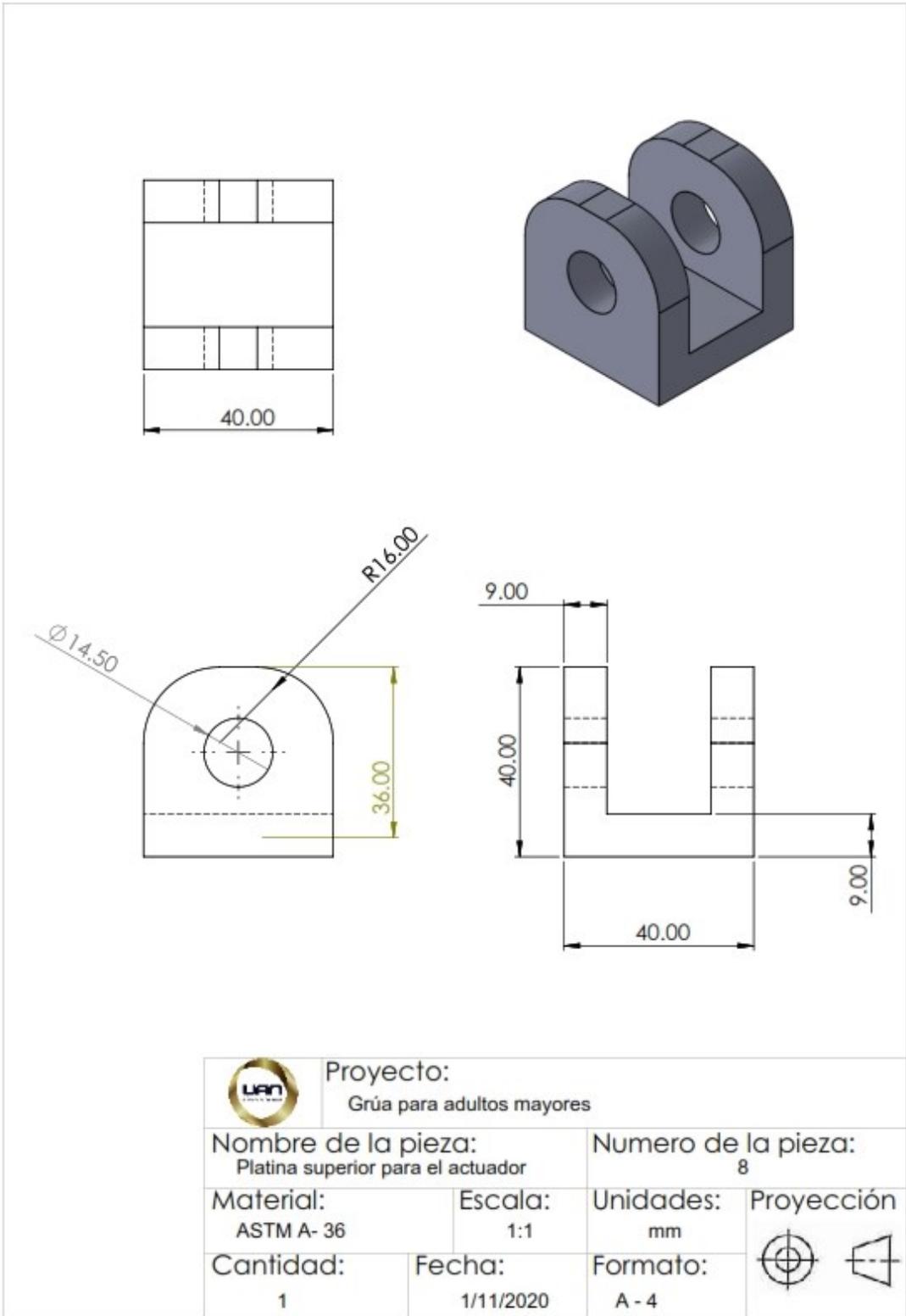
		<b>Proyecto:</b> Grúa para adultos mayores	
<b>Nombre de la pieza:</b> Platina inferior para el actuador		<b>Numero de la pieza:</b> 5	
<b>Material:</b> ASTM A-36	<b>Escala:</b> 1 : 2	<b>Unidades:</b> mm	<b>Proyección</b> 
<b>Cantidad:</b> 1	<b>Fecha:</b> 1/11/2020	<b>Formato:</b> A - 4	

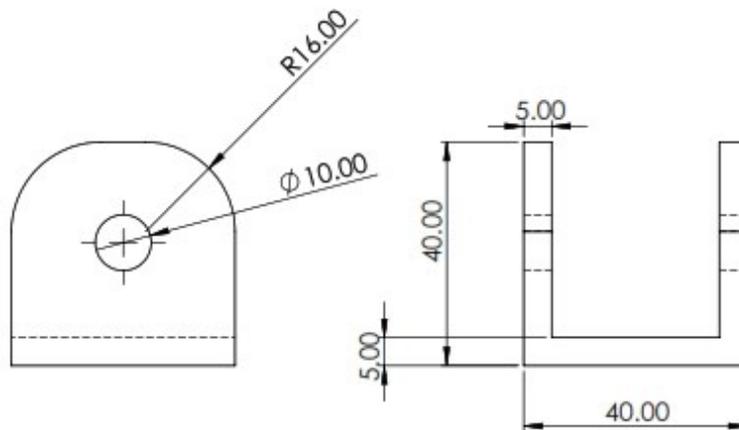
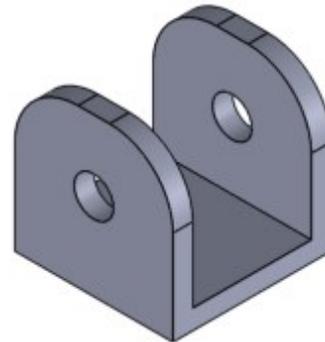
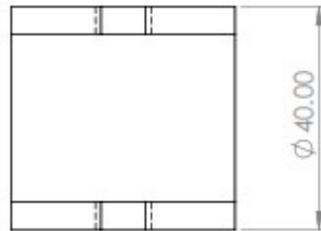


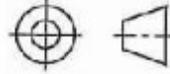
		<b>Proyecto:</b> Grúa para adultos mayores	
<b>Nombre de la pieza:</b> Platina unión brazo - mástil		<b>Numero de la pieza:</b> 6	
<b>Material:</b> ASTM A - 36	<b>Escala:</b> 1 : 1	<b>Unidades:</b> mm	<b>Proyección</b> 
<b>Cantidad:</b> 1	<b>Fecha:</b> 1/11/2020	<b>Formato:</b> A - 4	

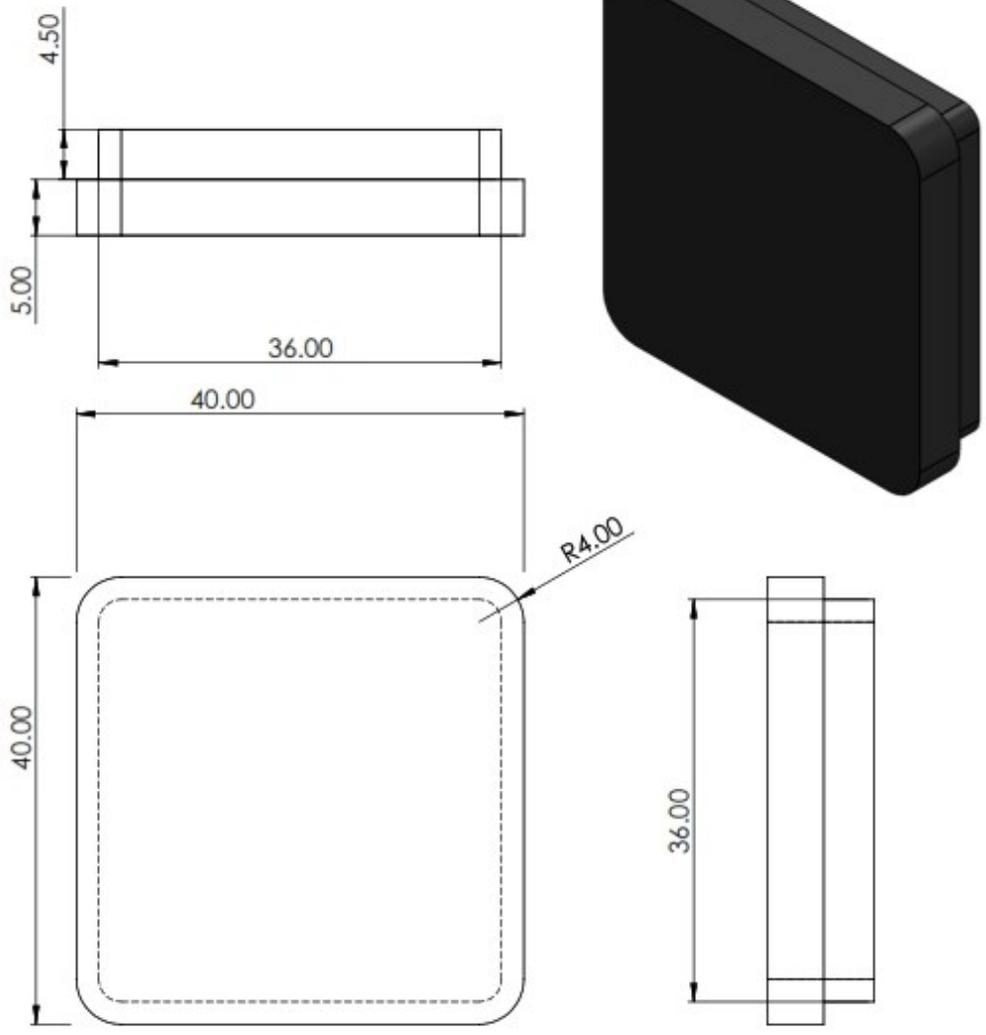


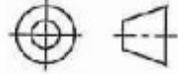
		<b>Proyecto:</b> Grúa para adultos mayores	
<b>Nombre de la pieza:</b> Brazo		<b>Numero de la pieza:</b> 7	
<b>Material:</b> Acero estructural 40x40x2	<b>Escala:</b> 1 : 10	<b>Unidades:</b> mm	<b>Proyección</b> 
<b>Cantidad:</b> 1	<b>Fecha:</b> 1/11/2020	<b>Formato:</b> A - 4	

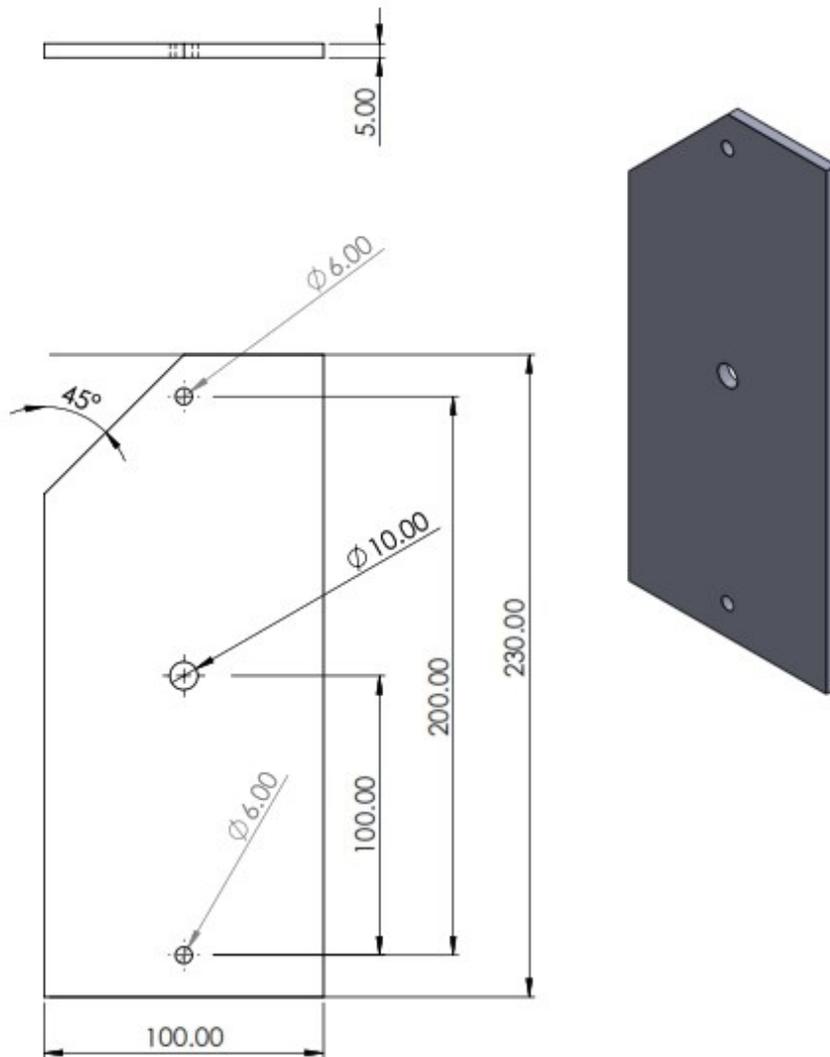


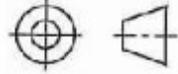


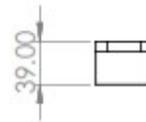
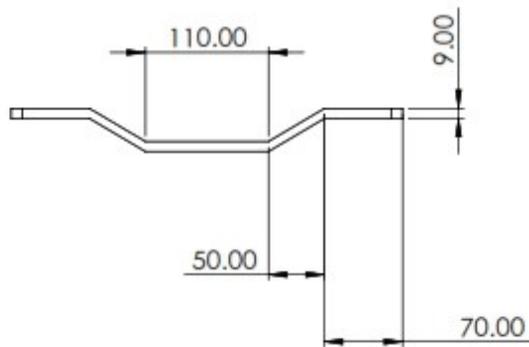
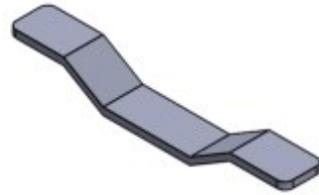
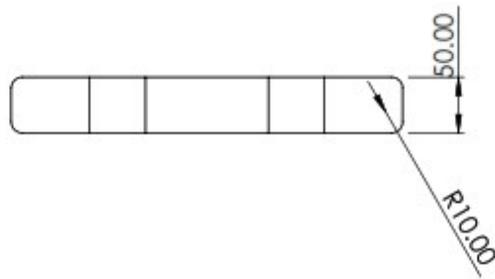
		<b>Proyecto:</b> Grúa para adultos mayores	
<b>Nombre de la pieza:</b> Soporte de la percha		<b>Numero de la pieza:</b> 9	
<b>Material:</b> ASTM A - 36	<b>Escala:</b> 1:1	<b>Unidades:</b> mm	<b>Proyección</b> 
<b>Cantidad:</b> 1	<b>Fecha:</b> 1/11/2020	<b>Formato:</b> A - 4	

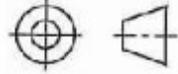


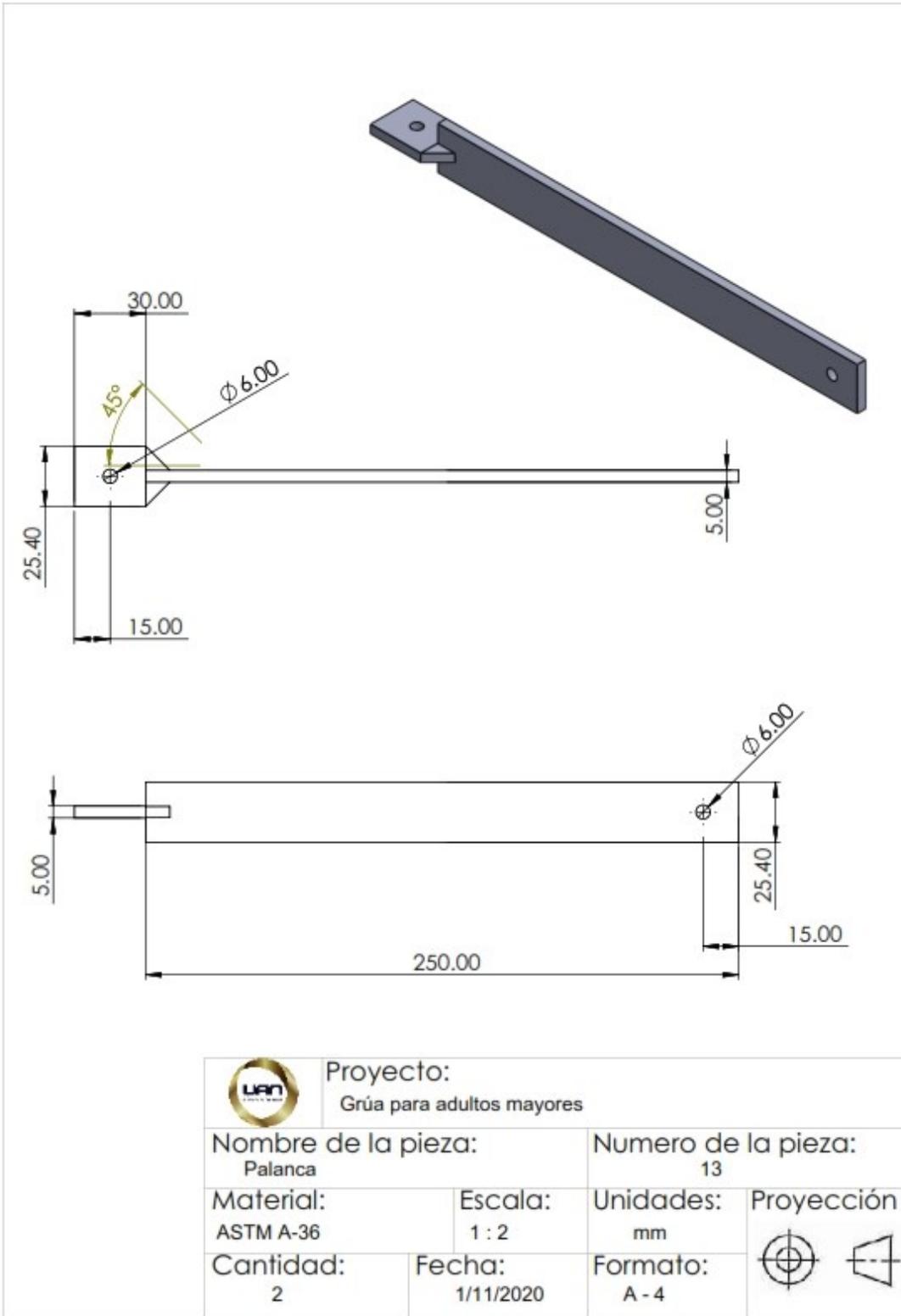
		<b>Proyecto:</b> Grúa para adultos mayores	
<b>Nombre de la pieza:</b> Tapa para el brazo		<b>Numero de la pieza:</b> 10	
<b>Material:</b> Polimero PVC	<b>Escala:</b> 2 : 1	<b>Unidades:</b> mm	<b>Proyección</b> 
<b>Cantidad:</b> 2	<b>Fecha:</b> 1/11/2020	<b>Formato:</b> A - 4	

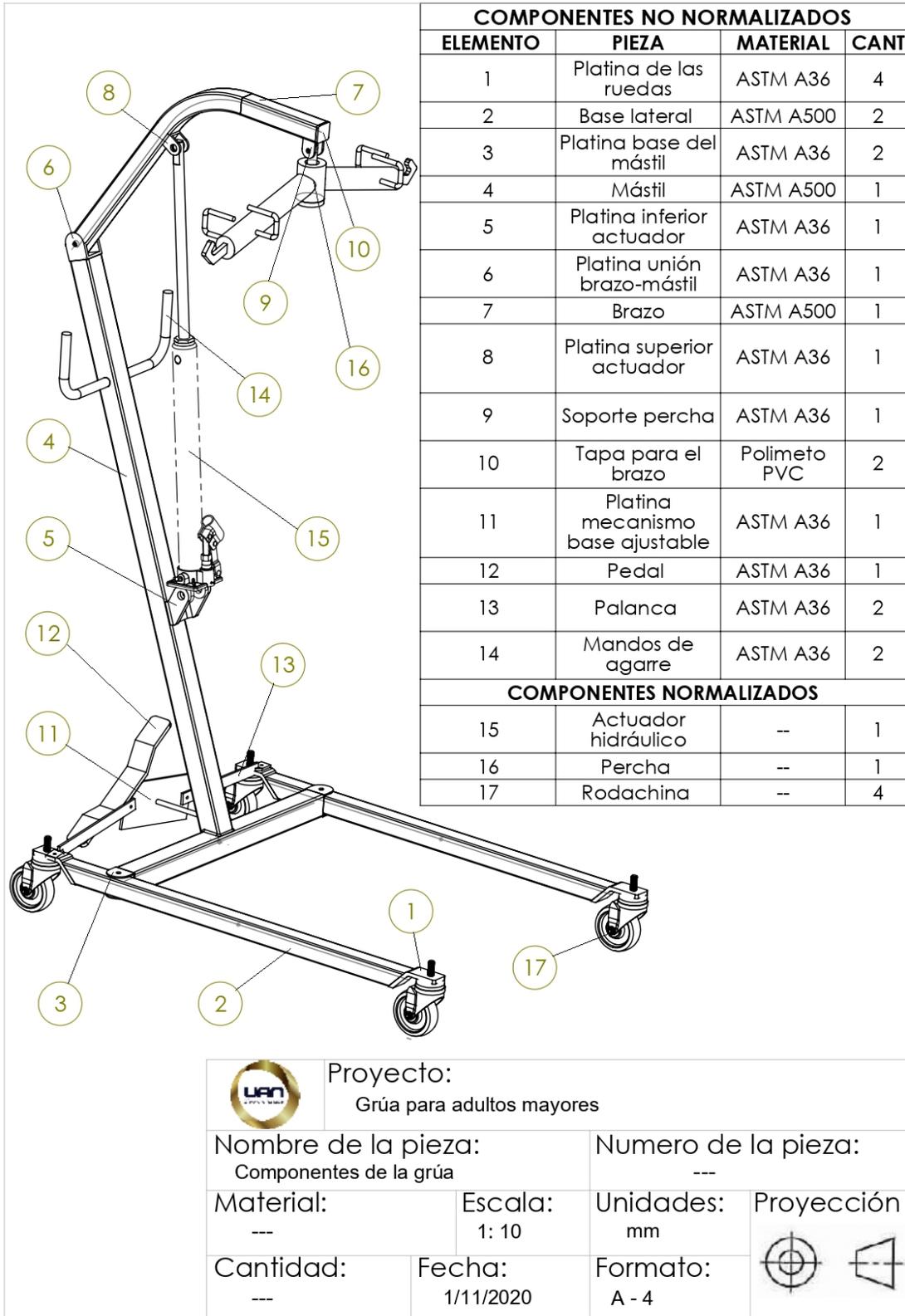


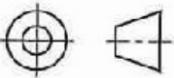
		<b>Proyecto:</b> Grúa para adultos mayores	
<b>Nombre de la pieza:</b> Platina mecanismo base ajustable		<b>Numero de la pieza:</b> 11	
<b>Material:</b> ASTM A - 36	<b>Escala:</b> 1 : 2	<b>Unidades:</b> mm	<b>Proyección</b> 
<b>Cantidad:</b> 1	<b>Fecha:</b> 1/11/2020	<b>Formato:</b> A - 4	



		<b>Proyecto:</b> Grúa para adultos mayores	
<b>Nombre de la pieza:</b> Pedal		<b>Numero de la pieza:</b> 12	
<b>Material:</b> ASTM A - 36	<b>Escala:</b> 1: 5	<b>Unidades:</b> mm	<b>Proyección</b> 
<b>Cantidad:</b> 1	<b>Fecha:</b> 1/11/2020	<b>Formato:</b> A - 4	





		<b>Proyecto:</b> Grúa para adultos mayores	
<b>Nombre de la pieza:</b> Componentes de la grúa		<b>Numero de la pieza:</b> ---	
<b>Material:</b> ---	<b>Escala:</b> 1: 10	<b>Unidades:</b> mm	<b>Proyección</b> 
<b>Cantidad:</b> ---	<b>Fecha:</b> 1/11/2020	<b>Formato:</b> A - 4	

## ANEXO 7 Características de grúas comerciales encontradas en la web

**Figura A7.1** Grúa hidráulica para elevar un paciente de la cama a una banca para ducha.



Fuente: «You Tube,» [En línea]. Available: [https://www.youtube.com/watch?v=\\_1dPINtP9os](https://www.youtube.com/watch?v=_1dPINtP9os). [Último acceso: 2020 08 25].

**Tabla A7.1** Ficha técnica grúa 11 (Lumex LF1030) [30]

Grúa 11	
Titulo:	Grúa para elevar pacientes
Autor:	Medicare online
Categoría:	Gente y blogs
Creado:	04/05/2011
Duración:	0:46
Formato:	YouTube
URL:	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=_1dPINtP9os">https://www.youtube.com/watch?v=_1dPINtP9os</a> (Video 1)
<p>Resumen:</p> <p>Elevación y traslado de un paciente, de una cama a una silla, por medio del uso de una grúa de accionamiento hidráulico marca Drive, en donde se observa el proceso que se debe realizar por parte del personal encargado. También se aprecian algunas características importantes de la construcción de la grúa, como lo son los mangos de agarre horizontales, la válvula de descarga giratoria y el color azul oscuro que recubre la estructura.</p>	
<p>Características principales de la grúa:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Capacidad de carga máxima: 150kg</li> <li>➤ Altura máxima: 183cm</li> <li>➤ Altura mínima: 53,5</li> <li>➤ Ancho de la base abierta: 109cm</li> <li>➤ Ancho de la base cerrada: 89cm</li> <li>➤ Peso del producto: 40kg</li> </ul>	

**Figura A7.2** Elevador o grúa para traslado de pacientes



Fuente: «You Tube,» [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=Vqo58V-5R1c>. [Último acceso: 25 08 2020].

**Tabla A7.2** Ficha técnica grúa 12 (Vida plena) [31]

Grúa 12	
Titulo:	Elevador o grúa para el traslado de pacientes
Autor:	Vida plena
Categoría:	Ciencia y tecnología
Creado:	14/12/2015
Duración:	5:06
Formato:	YouTube
URL:	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=Vqo58V-5R1c">https://www.youtube.com/watch?v=Vqo58V-5R1c</a> (video 02)
Resumen:	
Se realiza una descripción detallada de los elementos que componen la máquina, para luego dar paso a una demostración de cómo se debe operar la misma por parte del personal encargado y finalmente se mencionan algunas precauciones que se deben tener en cuenta antes de ponerla en funcionamiento.	
Características principales de la grúa:	
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Tipo de accionamiento (electromecánico).</li> <li>➤ Mangos de agarre horizontales.</li> <li>➤ Sistema de apertura de las patas, accionado manualmente mediante una barra.</li> <li>➤ Color gris y/o beige claro.</li> <li>➤ Ruedas de 4 pulgadas con freno.</li> </ul>	

Fuente: «You Tube,» [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=Vqo58V-5R1c>. [Último acceso: 25 08 2020].

**Figura A7.3** Súper grúa para pacientes 2019



Fuente: «You Tube,» [En línea]. Available: [https://www.youtube.com/watch?time\\_continue=2&v=GpO16eeMyqk&feature=emb\\_logo](https://www.youtube.com/watch?time_continue=2&v=GpO16eeMyqk&feature=emb_logo). [Último acceso: 24 08 2020].

**Tabla A7.3** Ficha técnica grúa 13 (Super grúa para pacientes) [32]

Grúa 13	
Título:	¡Nueva Grúa Hidráulica para Elevar un Paciente en 2 minutos!
Autor:	Abuelo cómodo
Categoría:	Gente y blogs
Creado:	23/08/2018
Duración:	2:40
Formato:	YouTube
URL:	<a href="https://www.youtube.com/watch?time_continue=2&amp;v=GpO16eeMyqk&amp;feature=emb_logo">https://www.youtube.com/watch?time_continue=2&amp;v=GpO16eeMyqk&amp;feature=emb_logo</a> (Video 03)
Resumen:	Se realiza una breve demostración del funcionamiento de la maquina usando un paciente real, haciendo énfasis en los beneficios que brinda el uso de estos dispositivos en ambientes domiciliarios.
Características principales:	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Tipo de accionamiento hidráulico.</li> <li>➤ Mangos de agarre horizontales.</li> <li>➤ Sistema de apertura de las patas, accionado de forma manual mediante una barra.</li> <li>➤ Ruedas de 4 pulgadas con freno.</li> <li>➤ Perfiles de acero indeformable de 3.8cm</li> <li>➤ Gato hidráulico de 8 toneladas.</li> <li>➤ Peso del producto: 41kg</li> <li>➤ Capacidad de carga máxima: 160kg</li> </ul>

Fuente: «You Tube,» [En línea]. Available: [https://www.youtube.com/watch?time\\_continue=2&v=GpO16eeMyqk&feature=emb\\_logo](https://www.youtube.com/watch?time_continue=2&v=GpO16eeMyqk&feature=emb_logo). [Último acceso: 24 08 2020]

**Figura A7.4** Grúa elevadora de pacientes



Fuente: «You Tube,» [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=9HLVNPnGJbQ>. [Último acceso: 24 08 2020].

**Tabla A7.4** Ficha técnica grúa 14 (Grúa elevadora de pacientes) [33]

Grúa 14	
Título:	Grúa elevador de pacientes hidráulica
Autor:	Ortopedia Ana
Categoría:	Gente y blogs
Creado:	23/11/2017
Duración:	3:10
Formato:	YouTube
URL:	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=9HLVNPnGJbQ">https://www.youtube.com/watch?v=9HLVNPnGJbQ</a> (Video 04)
Resumen:	Video demostrativo de los pasos necesarios para ensamblar correctamente la grúa de elevación para pacientes.
Características principales:	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Tipo de accionamiento hidráulico.</li> <li>➤ Mangos de agarre horizontales.</li> <li>➤ Sistema de apertura de las patas, accionado de forma manual mediante una barra.</li> <li>➤ Gris.</li> <li>➤ Algunos accesorios cromados.</li> </ul>

Fuente: «You Tube,» [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=9HLVNPnGJbQ>. [Último acceso: 24 08 2020].

**Figura A7.5** Grúa de ortopedia Powerlift 175.



Fuente: «Youtube,» [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=110tuHG8tQs>. [Último acceso: 23 08 2020].

**Tabla A7.5** Ficha técnica grúa 15. (Powerlift 175) [34]

Grúa 15	
Título:	Montaje grúa de ortopedia Powerlift
Autor:	Ortopedias Mimas
Categoría:	Ciencia y tecnología
Creado:	25/03/2015
Duración:	3:19
Formato:	YouTube
URL:	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=110tuHG8tQs">https://www.youtube.com/watch?v=110tuHG8tQs</a> (video 05)
<p>Resumen:</p> <p>Se realiza un rápido y practico ensamblaje de la grúa, identificando las principales características que la diferencian frente a otras existentes, dando a conocer mecanismos de seguridad implementados, su funcionalidad dentro del sistema de elevación, la norma que fue usada para su construcción y el reconocimiento internacional que posee la marca, finalmente se procede con una demostración del funcionamiento de la grúa.</p>	
<p>Características principales:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Tipo de accionamiento electromecánico.</li> <li>➤ Mangos de agarre en forma de u.</li> <li>➤ Sistema de apertura de las patas, accionado por pedal.</li> <li>➤ Algunos accesorios cromados.</li> <li>➤ Capacidad de carga máxima: 135kg</li> <li>➤ Altura máxima: 181cm</li> <li>➤ Largo: 106cm</li> <li>➤ Ancho: 53cm</li> </ul>	

Fuente: «Youtube,» [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=110tuHG8tQs>. [Último acceso: 23 08 2020].

**Figura A7.6** Prolift A222 Elevador de pacientes de aluminio para uso estacionario.



Fuente: «You Tube,» [En línea]. Available:  
<https://www.youtube.com/watch?v=HbeV7UsSs1Y>. [Último acceso: 21 08 2020].

**Tabla A7.6** Ficha técnica grúa 16 (Prolift A222) [35]

Grúa 16	
Titulo:	Prolift A222
Autor:	Novacare
Categoría:	Ciencia y tecnología
Creado:	25/03/2013
Duración:	2:06 minutos
Formato:	YouTube
URL:	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=HbeV7UsSs1Y">https://www.youtube.com/watch?v=HbeV7UsSs1Y</a> (video 06)
Peso grúa:	40.5 Kg
Capacidad de carga:	220 Kg
Norma:	Articulo no. (electrónica domestica Linak): 960400
Altura de elevación:	452 – 1865
Material:	Aluminio
Ancho total del chasis:	740 mm
Longitud total del chasis:	1200 mm
Diámetro de la rueda:	75 mm
Gama:	Alta
<p>Resumen:                      Se hace una breve demostración de cómo utilizar la grúa Prolift A222.                      Algunas de sus características principales son:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Percha que gira libremente</li> <li>➤ Material en aluminio</li> <li>➤ Sensor de presión</li> <li>➤ Arnés impermeable</li> </ul>	

Fuente: «You Tube,» [En línea]. Available:  
<https://www.youtube.com/watch?v=HbeV7UsSs1Y>. [Último acceso: 21 08 2020].

**Figura A7.7** Grúa eléctrica Kompass con arnés



Fuente: «You Tube,» [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=P4eAOjQpxTk>. [Último acceso: 21 08 2020].

**Tabla A7.7** Ficha técnica grúa 17 (Kompass) [36]

Grúa 17	
Titulo:	Grúa eléctrica Kompass con arnés
Autor:	Ortopedia Minas
Categoría:	Gente y blogs
Creado:	25/05/2015
Duración:	2:21 minutos
Formato:	YouTube
URL:	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=P4eAOjQpxTk">https://www.youtube.com/watch?v=P4eAOjQpxTk</a> (video 07)
Capacidad de carga:	150 Kg
Ancho patas cerradas	640 mm
Ancho patas abiertas	1200 mm
Largo total de las patas	1265 mm
Altura de la percha máxima	1630 mm
Altura de la percha mínima	800 mm
Altura de la base al suelo	130 mm
Ruedas delanteras	Sin frenos 100 mm
Ruedas traseras	Con frenos 100 mm
Material:	Acero
Gama	Media – alta
<p>Resumen: Ensamble y breve demostración del funcionamiento de la grúa, algunas partes destacadas de la grúa son:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Percha redonda de goma, con 6 puntos de sujeción</li> <li>➤ Sistema de apertura con palanca manual</li> <li>➤ Arnés estándar, fabricado en poliéster</li> </ul>	

Fuente: «You Tube,» [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=P4eAOjQpxTk>. [Último acceso: 21 08 2020].

**Figura A7.8** Grúa de elevación PRÁKTICA



Fuente: «You Tube,» [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=-1j2nhSU9NM>. [Último acceso: 30 03 2020].

**Tabla A7.8** Ficha técnica grúa 18. (Praktica) [37]

Grúa 18	
Título:	Demostración de uso de la grúa de elevación Práktica de Forta
Autor:	FORTA Fabricaciones Ortopédicas Albacete S.L.
Categoría:	Ciencia y tecnología
Creado:	15/03/2017
Duración:	3:30 minutos
Formato:	YouTube
URL:	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=-1j2nhSU9NM">https://www.youtube.com/watch?v=-1j2nhSU9NM</a> (video 08)
Peso grúa	39.5 Kg
Capacidad de elevación	150 Kg
Altura máxima	1830 mm
Ancho total	970 mm
Motor	6000 N
Altura plegada	1290 mm
Anchura plegada	530 mm
Longitud total	1200 mm
Altura mínima de la percha	300 mm
Gama	Alta
<p>Resumen: La grúa de elevación Praktica tiene como características que la diferencia de las demás son su plegado y su sistema de aperturas de patas con 6 ruedas en su base las características destacadas son:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Apertura en compás de todas su patas por medio de un pedal</li> <li>➤ Sencillo plegado total de brazos y patas</li> <li>➤ 6 ruedas para mayor estabilidad</li> <li>➤ Kit de conversión a bipedestación</li> </ul>	

Fuente: «You Tube,» [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=-1j2nhSU9NM>. [Último acceso: 30 03 2020].

**Figura A7.9** Grúa Molift Smart 150.



Fuente: «You Tube,» [En línea]. Available:  
<https://www.youtube.com/watch?v=LWphDwvmros>. [Último acceso: 30 03 2020].

**Tabla A7.9** Ficha técnica grúa 19 (Molift Smart 150) [38]

Grúa 19	
Titulo:	Smart 150 in operation
Autor:	MortonPerry
Categoría:	Consejos y estilo
Creado:	06/05/2011
Duración:	4:30 min
Formato:	YouTube
URL:	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=LWphDwvmros">https://www.youtube.com/watch?v=LWphDwvmros</a> (video 09)
Peso grúa	26 Kg
Peso máximo usuario	150 Kg
Longitud	1200 mm
Ancho del chasis/patas exterior	6600 mm
Ancho abierto patas interior	9350 mm
Altura de la pierna	110 mm
Altura de elevación	210-1565 mm
Material	Aluminio, acero y plástico
Gama	Alta
<p>Resumen: Breve demostración del funcionamiento y operación de Molift Smart 150. La grúa presenta un diseño novedoso en su percha y barra de empuje, también en su peso las cual la hace la más liviana del mercado. Algunas características destacadas son:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Suspensión de 4 puntos, con eslinga más abierta para reducir presión</li> <li>➤ Solo 25 Kg. 40% más ligero que otros.</li> <li>➤ Se pliega fácilmente.</li> <li>➤ Barra de empuje, proporcionado el mejor agarre posible.</li> </ul>	

Fuente: «You Tube,» [En línea]. Available:  
<https://www.youtube.com/watch?v=LWphDwvmros>. [Último acceso: 30 03 2020].

**Figura A7.10** Grúa hidráulica para pacientes Abuelo Cómodo



Fuente: «You Tube,» [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=lfV-gOdoyu0&t=461s>. [Último acceso: 31 03 2020].

**Tabla A7.10** Ficha técnica grúa 20 (Abuelo Cómodo) [39]

Grúa 20	
Titulo:	¿Cómo usar una grúa para enfermos la primera vez?
Autor:	Abuelo Cómodo
Categoría:	Gente y blogs
Creado:	11/04/2017
Duración:	13:57 minutos
Formato:	YouTube
URL:	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=lfV-gOdoyu0&amp;t=461s">https://www.youtube.com/watch?v=lfV-gOdoyu0&amp;t=461s</a> (video 10)
Peso grúa	41 Kg
Rango de altura	80 cm a 1.80 m
Plegada	75 cm x 1.30 m x 25cm (se pliega en una sola pieza)
Ruedas	4 pulgadas. Se requiere 18 cm de altura libre debajo de la cama
Perfil	Acero de 3.8 cm
Frenos de seguridad	Ruedas traseras
Base ajustable	No
Hidráulico (gato)	Con control de seguridad para subir y bajar (manivela)
Gama	Baja
Resumen: Grúa de traslado de pacientes hidráulica, se utiliza manivela para levantar o bajar al paciente, también utiliza manivela para ajustar la base los perfiles son se sección cuadrada y las barras de empuje redonda. La percha es jira libremente con 4 puntos de sujeción. Algunas características novedosas son:	
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Hidráulico (manivela para acenso y descenso)</li> <li>➤ Mango con Angulo especial.</li> </ul>	

Fuente: «You Tube,» [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=lfV-gOdoyu0&t=461s>. [Último acceso: 31 03 2020].

