

Irapuato, Gto., a 30 de junio del 2020.

M. en I. HERIBERTO GUTIÉRREZ MARTIN
JEFE DE LA UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
P R E S E N T E.-

Por medio de la presente, se otorga autorización para proceder a los trámites de impresión, empastado de tesis y titulación a la alumna **Martha María Jaime Carrasco** del **Programa de Licenciatura en Ingeniería Mecatrónica** y cuyo número de **NUA** es: **145359** del cual soy director. El título de la tesis es: **Grúa mecánica portátil para personas con discapacidad.**

Hago constar que he revisado dicho trabajo y he tenido comunicación con los sinodales asignados para la revisión de la tesis, por lo que no hay impedimento alguno para fijar la fecha de examen de titulación.

A T E N T A M E N T E



Eduardo Aguilera Gómez
NOMBRE Y FIRMA
DIRECTOR DE TESIS
SECRETARIO



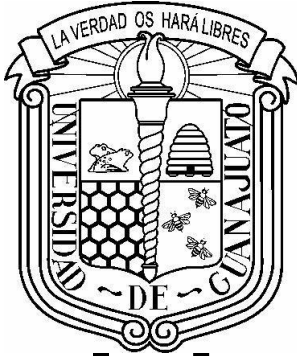
Guillermo Negrete Romero
NOMBRE Y FIRMA
DIRECTOR DE TESIS



Juan Francisco Reveles Arredondo
NOMBRE Y FIRMA
PRESIDENTE



Diego Alfredo Núñez Altamirano
NOMBRE Y FIRMA
VOCAL



UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO
Campus Irapuato-Salamanca
División de Ingenierías

**Grúa mecánica portátil para
personas con discapacidad**

TESIS

Que para obtener el título en:
Licenciatura en Ingeniería Mecatrónica

P R E S E N T A

Martha María Jaime Carrasco

ASESORES DE TESIS

Dr. Eduardo Aguilera Gómez
M. en I. Guillermo Negrete Romero

Salamanca, Gto., julio del 2020

ÍNDICE GENERAL

Capítulo 1: Generalidades

1.1 Objetivo.....	1
1.2 Justificación.....	1
1.3 Antecedentes.....	1
1.4 Marco metodológico.....	2

Capítulo 2: Presentación y evaluación de soluciones

2.1 Requisitos.....	4
2.2 Estado de la técnica.....	7
2.3 Matriz de evaluación.....	19

Capítulo 3: Desarrollo teórico del producto

3.1 Planeación y características a considerar	23
3.2 Cálculos preliminares y definición a detalle.....	28

Capítulo 4: Definición total del producto

4.1 Modelado de las piezas.....	58
4.2 Primer ensamble.....	62
4.3 Búsqueda de material y revisión de costos.....	71
4.4 Mejoras.....	75
4.5 Cálculos finales.....	82
4.6 Modelo 3D del producto.....	93

Capítulo 5: Fabricación del proyecto

5.1 Características particulares de las piezas.....	94
5.2 Construcción.....	101
5.3 Pruebas.....	104
5.4 Resultados.....	105
5.5 Recomendaciones/ Mejoras.....	106

Referencias

Agradecimientos

Primeramente quiero agradecer a mi asesor de tesis el Dr. Eduardo Aguilera Gómez y a mi co-asesor el M. en I. Guillermo Negrete Romero, porque simplemente sin ellos este trabajo no se hubiera ni siquiera iniciado.

Después, les quiero agradecer a los muchachos del taller a Migue, a Juan y a Lorenzini, por siempre ayudarme y hacerme reír en el taller, ya que sin ellos esta grúa ni siquiera se hubiera construido.

Finalmente, le quiero dar las gracias a mi abue Tita por acompañarme y apoyarme en toda mi vida y por supuesto que a mi querido Thomas por siempre estar ahí, por ser mi compañero de vida.

En general, quisiera agradecer a todos los que estuvieron ahí, ustedes saben quiénes son.

Capítulo 1: Generalidades

1.1 Objetivo

Desarrollar un dispositivo de funcionamiento mecánico en su totalidad para poder desplazar a una persona con discapacidad de una superficie a otra y viceversa. Dicho aparato debe poder elevar y descender, preferentemente en posición sentada, paulatinamente a un paciente con movilidad limitada con un peso máximo de 100 kg y altura máxima de 1.9 m. Además de ser portátil y no superar los 30 kg de peso.

1.2 Justificación

Según información del INEGI, en 2014 el 6.4% de los mexicanos (7.65 millones de personas) reportaron tener al menos una discapacidad; de los cuales 2.6 millones tienen discapacidad motriz.

La movilidad de personas con discapacidad puede no ser tan sencilla como se pudiera desear, adicionalmente los precios de los dispositivos que la facilitan pueden estar fuera del alcance del bolsillo del paciente y aunado a dichas problemáticas los dispositivos existentes tienden a ser electromecánicos por lo que necesitan un suministro de energía eléctrica, directa o alterna lo que se traduce en un costo, peso y mantenimiento adicional.

Por lo que se considera que es posible encontrar una mejor solución, es decir, más económica, puramente mecánica y portátil que cumpla todos los requisitos.

Una persona perteneciente a este sector es mi primo José Rubén de 32 años, quien pasa la mayoría de su día en una silla de ruedas. Desafortunadamente no se puede mover por sí mismo y el cambio de una superficie a otra se ha convertido en un reto. Sus papás tienen que utilizar diferentes aparatos para cambiarlo de la cama a la silla de ruedas o de la silla a la camioneta y viceversa. Su casa y camioneta están acondicionadas para transportarlo o cambiarlo a otra posición; el inconveniente se presenta cuando van a otro lugar, ya que hay que cargar a mi primo, el cual pesa alrededor de 70 kg. Por sugerencia y la necesidad de mis tíos decidí diseñar un dispositivo que les ayude a aminorar las problemáticas cotidianas y tal vez a hacer la vida de alguien más un poco menos complicada.

1.3 Antecedentes

Se han encontrado dispositivos existentes en el mercado, sin embargo, tienden a contar con un precio excesivo o no se encuentran en territorio nacional. Cabe destacar, que dichos dispositivos sobrepasan los 40 kg lo que hace su traslado no sea ágil ni permite levantarlos con facilidad, por ejemplo, para introducirlos en la cajuela.

A su vez existen modelos que son electromecánicos, como lo es Ardoo 140 Portable Hoist, lo que significa que necesitan una fuente de energía eléctrica, ya sea directa o alterna. En el caso de las baterías, hay un problema para cada una de las opciones: puede ser que la batería sea pequeña por lo que funcionaría para elevar o descender al paciente un número reducido de veces y se debería de estar recargando o cambiando continuamente; si se recargara, se debería de saber con anticipación que se usará y en caso de alguna emergencia, estando descargada, el dispositivo no ayudaría para nada; si de otra forma, se remplazara (se tuvieran dos o más) dichas baterías elevarían el precio del dispositivo y se tendrían más desechos de los necesarios por lo que no sería responsable ambientalmente. En el otro caso, si la batería fuera más grande, ésta aportaría un peso significativo al dispositivo, por lo que excedería el peso máximo definido.

Por otro lado, se encontró en el sistema de patentes de Estados Unidos el “Patient Lifter” con número de patente US 8,584,275 B2 , el cual tiene un brazo estabilizador que va fijado a una pared o al techo lo que lo hace no fácilmente portable, además de que su sistema de levantamiento es hidráulico e implica que su peso sería mayor al permitido.

Inclusive con la patente expirada se encontraron diferentes dispositivos que casi cumplen con todas las especificaciones necesarias, como es el caso de la patente del sistema americano Des. 352,590 que utiliza un cable y un malacate (winch) eléctrico para efectuar el levantamiento, lo que se traduce en la necesidad de un suministro continuo de energía, como ya se había mencionado. No obstante, de modelos tan sencillos como lo puede ser la patente US 9,877,490 B1 se pueden obtener ideas, inclusive si este dispositivo está diseñado para otra aplicación.

En conclusión, efectivamente hay productos en el mercado o en el sistema de patentes estadounidense que pueden resolver parcial o totalmente el problema, pero en todos los casos se encuentra uno o más inconvenientes y por lo mismo se considera que el resultado de este trabajo de tesis será exitoso y relativamente innovador.

1.4 Marco metodológico

Para desarrollar exitosamente el presente proyecto, se propone llevar a cabo seis fases de forma ordenada, las cuales son:

- Levantamiento de la necesidad que consiste en observar lo que verdaderamente necesita la persona con discapacidad, también es válido preguntar a los usuarios, que en este caso serían mis tíos y mi primo. Aunque no necesariamente se reportarán explícitamente, serán considerados durante todo el proceso y en los requisitos.
- Revisión de dispositivos previos en el mercado y los que ya están instalados en la casa y vehículo de mis tíos.
- Comparación de opciones y propuestas de diferentes soluciones.
- Diseño del dispositivo el cual contempla las restricciones, cálculos y el modelado en el software de preferencia.
- Posteriormente se procede a la construcción, que es la revisión de materiales, cambios necesarios, compra de material para finalmente ir al taller a maquinar y ensamblar los componentes.
- Como último queda la implementación y pruebas de funcionamiento, que inclusive puede servir para determinar mejoras.

Capítulo 2: Presentación y evaluación de soluciones

2.1 Requisitos

El dispositivo tendrá que cumplir con los siguientes requisitos:

2.1.1 Grúa

Se refiere a que funcionará para elevar y descender una carga.

2.1.2 Portátil

Es necesario que la grúa se pueda transportar ya que no siempre se trasladará al paciente de la misma silla de ruedas al mismo automóvil o cama. Ya que esta grúa está destinada para ser transportada a otros lugares.

2.1.3 Su construcción o compra, incluyendo el envío, no debe superar \$8,000 MXN

Hay que contemplar que los recursos son limitados.

2.1.4 Se adecuará a diferentes superficies

En relación a lo anterior, se podrán encontrar unas camas más altas o más bajas, al igual que los vehículos. Por supuesto se establecerá un rango de funcionabilidad. Siempre y cuando el piso sea lo suficientemente plano para que se pueda desplazar la grúa cuando la persona esté elevada.

2.1.5 Plegable

Este punto es necesario porque se deberá de transportar de un lugar a otro. La grúa, estando erguida, tendría más o menos la altura de un automóvil y aun así debe ser capaz de caber en la cajuela del mismo incluyendo a la silla de ruedas.

2.1.6 Ligera, menos de 30 kilos

El presente proyecto se realiza porque las personas que transportarán al paciente no tienen la fuerza suficiente para cargar a la persona con discapacidad. Como se comentó en el punto anterior, el usuario deberá ser capaz de poder introducir el dispositivo al vehículo. Es importante que todo el dispositivo pese en su totalidad menos de 30 kg porque se podría utilizar en el extranjero y el costo de facturación del equipaje en el aeropuerto va en función de sus dimensiones y peso.

2.1.7 Práctica, segura y confiable

Es indispensable que sea funcional y fácil de usar además de que la persona se sienta segura, ya que en caso opuesto no se utilizará la grúa. No solamente en teoría debe de soportar el peso del paciente sino

debe ser diseñada con un factor de seguridad grande para que en realidad se llegue a sentir más robusta y por ende la persona la considere más cómoda y segura.

2.1.8 Diseñada para cargar a un paciente con una masa máxima de 100 kg y una estatura máxima de 1.9 m

A pesar de que el paciente pesa aproximadamente 70 kg, es importante dejar un margen por si se llegara a ejercer un poco de presión sobre él o el dispositivo. De cualquier forma el factor de seguridad será 2 y así el límite de peso estará lejos de la deformación plástica.

Por otro lado, la persona debe caber a la perfección en el arnés para poderlo manejar sin problema alguno.

2.1.9 Traslada a una persona de una silla de ruedas a un vehículo y viceversa

Esto significa que el dispositivo tendrá una altura límite ya que el soporte inferior debe pasar debajo del chasis y principalmente no chocar ni lastimar al automóvil con el soporte superior, siempre y cuando eleve lo suficiente al paciente para que no se golpee la cabeza o las extremidades con el interior o exterior del automóvil, considerando que tal vez se deba rotar a la persona con discapacidad una vez alzada. Respecto al movimiento desde la silla de ruedas, también deberá de evitar chocar o estorbar, por lo que se debe de considerar el ancho de la silla de ruedas y del dispositivo.

2.1.10 Traslada a una persona de una cama a una silla de ruedas y viceversa

El reto principal en esta acción es que el soporte inferior pase por debajo de la cama. Resulta imposible conocer todas las camas en las que será recostado el paciente por lo que se estimará la distancia del piso a la base y del piso a la parte superior del colchón. Este movimiento implica que podría ser el punto más bajo del descenso de la persona mientras que al subirla a un vehículo sería el más alto.

2.1.11 Sin movimientos súbitos, más bien graduales y relativamente lentos

Es importante entender que el paciente no es sólo una carga que se subirá y bajará sino una persona que en caso de que sintiera algún movimiento brusco sentiría más ansiedad o se asustaría más que alguien sin discapacidad motriz porque sabe que no puede protegerse si se cayera en un caso hipotético.

2.1.12 El paciente puede permanecer elevado por un tiempo indefinido sin que el usuario toque la grúa

En la mayoría de casos la persona estará elevada de 2 a 3 minutos, sin embargo no debe de presentar una deformación elástica significativa aunque la persona con discapacidad esté suspendida por un tiempo más largo. Además, si el usuario se ausentara y ya no estuviera en contacto con la grúa el paciente deberá permanecer suspendido sin que cambie la altura a la que se encuentra.

2.1.13 Utiliza un arnés de tela con un agujero

Como ya había comentado con anterioridad mis tíos ya tienen acondicionada su casa y camioneta para poder desplazar a mi primo sin tenerlo que cargar por ellos mismos. Todos sus dispositivos utilizan el

mismo arnés de tela y dicho arnés permite elevar y descender al paciente, además de que él estará sentado la mayoría de su día en la silla de ruedas con el arnés, es decir, siempre está listo para ser enganchado y elevado. Por lo mismo para no duplicar esfuerzos y evitar costos adicionales se usará el mismo arnés que utilizan en su casa.

2.1.14 Las llantas cuentan con frenos

La grúa debe de moverse sólo cuando el usuario así lo desee. Poniendo especial atención al momento en que se está elevando o descendiendo a la persona, la grúa no deberá desplazarse.

2.1.15 Debe caber en un automóvil de tamaño promedio considerado el espacio para una silla de ruedas

Las primeras pruebas se realizarán en un automóvil modelo Corolla 2008 y una silla de ruedas promedio.

2.1.16 No lastima al vehículo, ni por dentro ni por fuera

Este punto también implica que no se puede empotrar el dispositivo en el vehículo y lo que se pretende hacer con este dispositivo es generar un beneficio y no lo contrario. Por lo mismo se deberán contemplar las medidas de los automóviles que están en el mercado.

2.1.17 La persona tiene que entrar al auto libremente, sin golpearse

Se debe salvaguardar la integridad del paciente y evitar incomodidades. Aquí también se contemplarán las dimensiones internas de los vehículos para que la persona no choque con el asiento o con el límite superior del automóvil.

2.1.18 Las ruedas rodarán suavemente y serán antiderrapantes

Se podrá presentar el escenario de desplazar a la persona al menos unos metros para llevarla de la cama a la silla de ruedas y viceversa, por lo mismo esta acción no debería de representar un reto.

2.1.19 La grúa no se volcará

A pesar de que normalmente se sube o baja al paciente relativamente lento para evitar oscilaciones excesivas, se debe de garantizar la estabilidad de la grúa.

2.1.20 Se puede rotar a la persona una vez elevada

Hay casos, cuando se traslada a la persona, donde inicialmente está sentada con una orientación pero la posición final es perpendicular a esta.

2.1.21 Es operada por otra persona sin discapacidad motriz

En el caso de mi primo, las personas que operarán este dispositivo son sus hermanos o papás que no tienen alguna discapacidad. Habrá que contemplar que se necesita un poco de fuerza y coordinación para manejar la grúa y desafortunadamente mi primo no puede controlar sus movimientos ni ejercer fuerza con las piernas.

2.1.22 Tendrá las dimensiones aproximadas de 1x0.7x0.4 m al estar plegada

Ya que existe la posibilidad de que el dispositivo deba de pasar por la aduana de un aeropuerto se deberá de mantener un tamaño limitado.

2.1.23 Mantenimiento sencillo

Puesto que será un dispositivo que inicialmente se hará para sólo un paciente, es importante que sea fácil darle mantenimiento y también que las piezas sean fáciles de conseguir por si es necesario sustituir alguna debido al desgaste.

2.1.24 No se necesitan herramientas para plegarla

Es necesario que para trasladarla de un lugar a otro no se requieran herramientas para doblarla.

2.2 Estado de la técnica

Buscar dispositivos previos en el mercado es trascendental, ya que, si se encontrara un dispositivo que cumpliera con las funciones necesarias, fuera fácil de adquirir y de precio asequible, esta tesis sería una pérdida de tiempo.

Se sabe que hay una gran variedad de soluciones y aunque ninguno de los dispositivos ya existentes cumpliera todos los requisitos se puede partir de alguno de ellos y tomar algunas ideas, especialmente en el principio de funcionamiento.

Sin perder de vista que la idea fundamental del dispositivo es que tenga un funcionamiento mecánico para desplazar a una persona con discapacidad de una superficie a otra y viceversa.

2.2.1 Primera solución

Primeramente se revisaron las soluciones que se encuentran en el mercado. De las cuales la que cumple los requerimientos es una grúa irlandesa llamada “Ardoo 140 Portable Hoist”. El dispositivo, sin accesorios extra y sin costo de envío, tiene un costo de 2195€. Cabe destacar que sólo tienen oficinas en Reino Unido e Irlanda.

Como se muestra en las siguientes tres imágenes, la grúa tiene diferentes posiciones. En la imagen 1, la grúa está plegada y esa es la posición donde consume menos volumen. La segunda imagen, muestra la grúa sin carga en una posición media, es decir, el pistón no está completamente extendido. Y la tercera imagen, finalmente muestra la grúa en operación y como se observa hace uso de un arnés especial para la propia grúa.



Imagen 1. “Ardoo 140 Portable Hoist”, plegada



Imagen 2. “Ardoo 140 Portable Hoist”, sin carga y en posición media



Imagen 3. “Ardoo 140 Portable Hoist”, cargando a un paciente, estando erguida

Respecto a las características más notables de esta grúa se encuentran:

- Carga segura de trabajo: 140 kg
- Peso de grúa (incluyendo batería): 23 kg
- Altura máxima del brazo: 1650 mm
- Altura mínima del brazo (sin plegarse): 1135 mm
- Dimensiones (plegado): 1143 mm (largo) X 482 mm (ancho) X 267 mm (altura)
- Altura de las ruedas: 77 mm
- Puede levantar a una persona desde el piso
- Tiene sistema de elevación eléctrico por medio de un control
- Se pliega sin herramientas en 40 segundos.

- Costo € 2,195.00 sin impuestos, es decir, excluyendo el VAT y tomando un valor promedio del euro supera los \$45,000 sin incluir gastos de envío.

2.2.2 Segunda solución

Posteriormente se optó por investigar patentes en el sistema de Estados Unidos. Donde se encontró el “Patient Lifter” con número de patente US 8,584,275 B2

La imagen 4 muestra el “Patient lifter”, el cual es un dispositivo que permite transferir a una persona con discapacidad de una locación a otra, ya sea dentro o fuera de una silla de ruedas, cama o bañera. Tiene un brazo estabilizador que va fijado a una pared o al techo. Además su sistema de levantamiento es hidráulico.

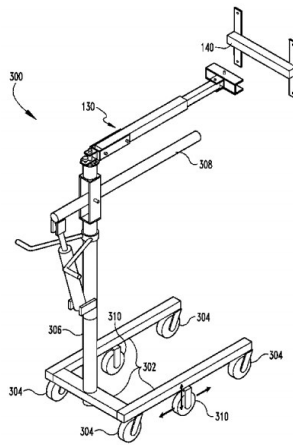


Imagen 4. Dibujo de “Patient Lifter” registrado con la patente US 8,584,275 B2

2.2.3 Tercera solución

Así mismo, se encontró la patente expirada “Mobile Patient Lifter” con el número Des. 352,590, la cual corresponde a un dispositivo móvil que levanta y baja pacientes, cuenta con un sistema eléctrico que recibe los comandos de un control operado por el usuario. Como se muestra en la imagen 5, la diferencia de este dispositivo es que sube y baja sobre un riel.

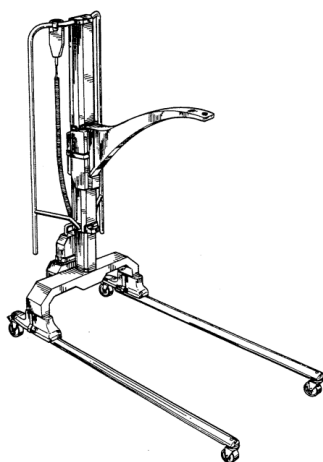


Imagen 5. Dibujo de “Mobile Patient Lifter” registrado con la patente Des. 352,590

2.2.4 Cuarta solución

La búsqueda se realizó en el sistema de patentes estadounidenses por medio de palabras clave en inglés, una de estas palabras fue “Hoist” que significa grúa o levantar. De los múltiples resultados obtenidos se eligió “Portable Hoist For An Animal Carcass” que tiene el número de patente US 9, 877, 490 B1.

La cuál es una grúa portable y motorizada que es utilizada para mover a animales con un peso significativo.

Viendo la imagen 6 se nota que, a diferencia de las grúas encontradas previamente ésta cuenta con un malacate que es el encargado de levantar al animal y por lo que el soporte superior no es móvil.

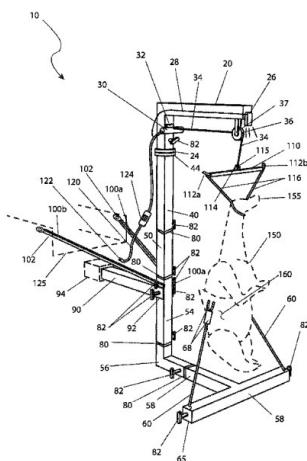


Imagen 6. Dibujo de “Portable Hoist For An Animal Carcass” registrado con la patente US 9, 877, 490 B1.

2.2.5 Quinta solución

De la misma forma se encontró a “Caregiver’s Helper Lift” con el número de patente US 9, 925, 106 B2. La cual es una grúa que levanta al paciente usando un arnés y permite subirlo y bajarlo para colocar o quitar a la persona de su silla de ruedas, de un vehículo, del piso o de la cama. Utiliza un cable y un malacate eléctrico para efectuar el levantamiento. Como bien se observa en la imagen 7,

desafortunadamente el cable está por la parte exterior y es fácil que la persona se raspe o lastime con el mismo o inclusive que se salga de las poleas.

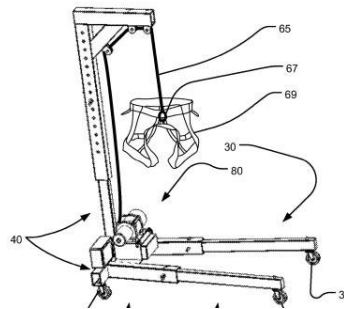


Imagen 7. Dibujo de “Caregiver’s Helper Lift” registrado con la patente US 9, 925, 106 B2

2.2.6 Sexta solución

“Patient Lift” que tiene el número de patente US 6, 289, 534 B1, es un dispositivo que al levantar el brazo superior eleva la persona que está sujeta con el arnés. Como se visualiza en la imagen 8, cuenta con un actuador electromecánico que incluye un motor DC y un cilindro con funcionamiento telescópico.

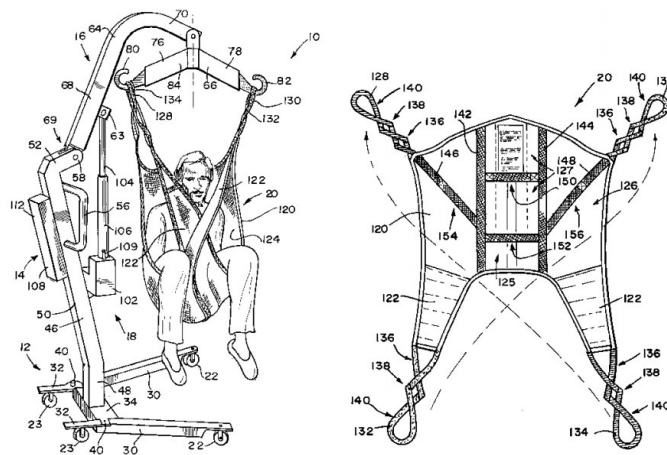


Imagen 8. Dibujo de “Patient Lift” registrado con la patente US 6, 289, 534 B1

2.2.7 Séptima solución

La patente US 2012/0255118 A1 con el nombre de “Standing Mobility and/or transfer device”, como se observa en la imagen 9, permite que la persona se levante así misma con un control, dicho sistema lo pone en pie sin que él deba de ejercer fuerza sobre las piernas.

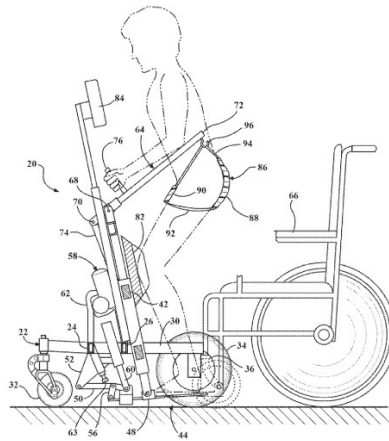


Imagen 9. Dibujo de “Standing Mobility and/or transfer device” registrado con la patente US 6, 289, 534 B1

2.2.8 Octava solución

“Apparatus and method for assisting impaired or disables persons” con la patente US 9, 009, 886 B2, viendo la imagen 10, le permite que una persona con discapacidad pase de estar sentada a ponerse en pie y viceversa, ofreciendo una solución similar a la anterior.

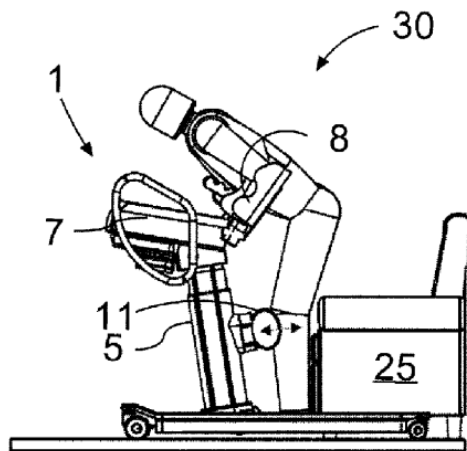


Imagen 10. Dibujo de “Apparatus and method for assisting impaired or disables persons” registrado con la patente US 9, 009, 886 B2

2.2.9 Novena solución

“Telescoping Portable Lift” es un elevador portátil operado manualmente que puede elevar telescópicamente su mástil o poste y a su vez sube una plataforma. Cuenta con el número de patente 4, 987, 976

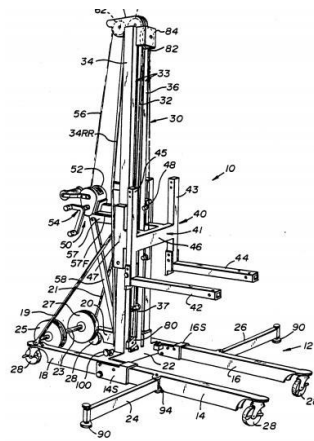


Imagen 11. Dibujo de “Telescoping Portable Lift” registrado con la patente 4, 987, 976

Como se observa en la imagen 11, hace uso de un malacate manual que tiene la manivela del lado derecho y al girar dicha manivela, el cable se enrolla o desenrolla en el tambor del malacate y las poleas le permiten cambiar de dirección al cable para así subir o bajar al paciente.

2.2.10 Décima solución

“Patient hoist and scale” con el número de patente US 6, 201, 195 B1, como se visualiza en la imagen 12, es un elevador que consta de una base, un sensor de carga montado en la base y un mástil que incluye un brazo de elevación y un miembro de soporte del cuerpo que se extiende desde el sensor de carga.

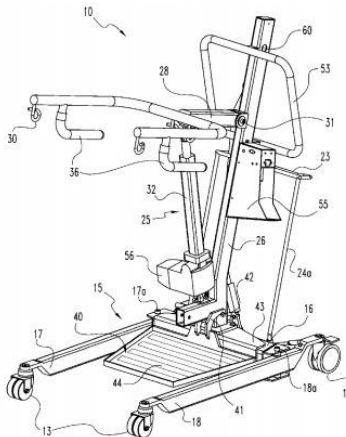


Imagen 12. Dibujo de “Patient hoist and scale” registrado con la patente US 6, 201, 195 B1

2.2.11 Décima primera solución

“Vehicle wheelchair lift” con número US 2011/0070057 A1, proporciona un mecanismo de elevación de silla de ruedas compacto que se puede usar dentro de un espacio de cabina de vehículo relativamente pequeño, tal como una camioneta con una cabina extendida. Observando la imagen 13, el elevador de

silla de ruedas incluye un actuador lateral y un actuador vertical que ayuda para mover un soporte de silla de ruedas lateralmente dentro y fuera de la cabina de un vehículo y verticalmente entre el piso de la cabina y el suelo.

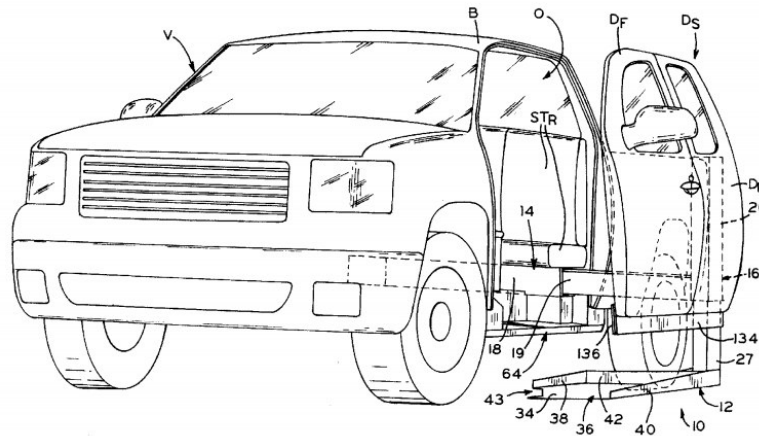


Imagen 13. Dibujo de “Vehicle Wheelchair lift” registrado con la patente US 2011/0070057 A1

2.2.12 Décima segunda solución

“Patient lift with hanger bar attachment” con número de patente US 8,272,084 B2 permite elevar a un paciente gracias a un aditamento situado en la parte superior de la grúa y cuenta con un mecanismo electromecánico.

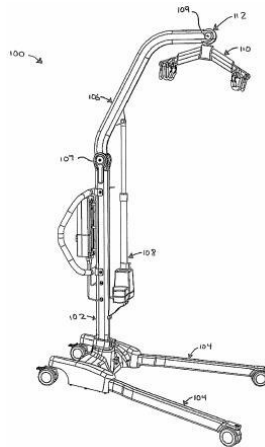


Imagen 14. Dibujo de “Patient lift with hanger” registrado con la patente US 8,272,084 B2

Observando la imagen 14, se observa que cuando el pistón se extiende la parte superior de la grúa se levanta y éste pistón es accionado por un control. Además, la base se puede abrir y cerrar según se requiera.

2.2.13 Décima tercera solución

“Folding patient lift device” tiene un mecanismo de enganche que está configurado para mantener el mástil en la posición plegada cuando el mecanismo de enganche está bloqueado, y para permitir que el mástil regrese a la posición operativa vertical se debe soltar el mecanismo de enganche. El mecanismo de cierre está configurado para bloquearse automáticamente cuando el mástil se mueve a la posición plegada.

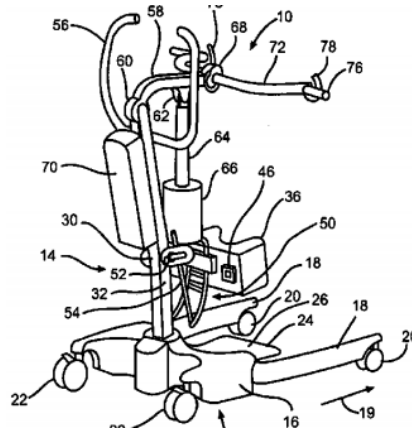


Imagen 15. Dibujo de “Folding patient lift device” registrado con la patente US 7, 921,485 B2, estando erguido

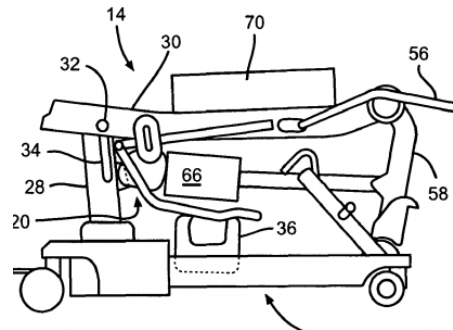


Imagen 16. Dibujo de “Folding patient lift device” registrado con la patente US 7, 921,485 B2, estando plegado

En la imagen 15, se observa el “Folding patient lift device” estando erguido, es decir listo para ayudar a un paciente y en la imagen 16 se ve claramente que este dispositivo se puede plegar para que ocupe menos volumen al guardarlo.

2.2.14 Décima cuarta solución

Se encontró otra grúa que está a la venta que es totalmente portable, como se visualiza en la imagen 17 tiene un sistema de elevación eléctrico. Cabe en la cajuela de un automóvil normal y se puede separar en dos bolsas que pesen 13 kg y 14 kg. Puede cargar hasta 130 kg. La altura que va desde 1.17 m hasta 1.74 m. Puede levantar desde el piso y tiene un rango de elevación de 1.18 m. Cuenta con batería recargable que sirve para aproximadamente 25 levantamientos. La empresa se encuentra en Reino Unido y la grúa cuesta £2,827.72 incluyendo impuestos pero sin gastos de envío, que equivale aproximadamente a \$70,000 MXN.



Imagen 17. “Fully Portable Hoist” de la empresa Active mobility centre que se encuentra en Reino Unido

2.2.15 Décima quinta solución

En la misma página de internet se encontró una grúa llamada “Invacare Birdie Folding Electric Hoist”, permite levantar hasta 180 kg pero la grúa pesa 40.8 kg y el rango de levantamiento va de 0.465 m a 1.735 m y con su batería, sin recargarse nuevamente, puede hacer hasta 40 levantamientos y cuesta £895.00 que es aproximadamente \$22,000 MXN.

Como se ve en la imagen 18, también hace uso de un pistón para elevar la parte superior de la grúa, que a su vez elevará al paciente. Este actuador se controla con un mando alámbrico. Otra peculiaridad es que el arnés sería enganchado en cuatro puntos diferentes.



Imagen 18. “Invacare Birdie Folding Electric Hoist” de la empresa Active mobility centre que se encuentra en Reino Unido

2.2.16 Décima sexta solución

La marca Hillrom maneja diferentes grúas y dispositivos para ayudar con la movilidad de personas con discapacidad. Sin embargo, la que se acerca más a lo requerido es la grúa mostrada en la imagen 19, la cual se llama “Golvo 9000 / LowBase Mobile Lift”.

Es un elevador móvil ideal para deambulación, elevación horizontal y elevación desde el piso. Funciona muy bien cuando el espacio debajo de la cama es limitado, y se levanta hacia y desde las sillas. Cuesta

aproximadamente \$6,690 USD lo que equivale a cerca de \$148,518 MXN y la locación más cercana donde se le puede encontrar es Estados Unidos. Desafortunadamente no sirve para introducir a la persona a cualquier vehículo ya que su altura mínima erguida es 1.455 m además de que se necesitan herramientas para desarmarla o plegarla. Por otro lado, puede cargar hasta 200 kg pero pesa 46 kg



Imagen 19. “Golvo 9000 / LowBase Mobile Lift” de la empresa Hillrom

2.2.17 Décima séptima solución

Eventualmente se encontró una grúa mexicana con un precio accesible, con un rango de altura desde 0.8 m hasta 1.9 m, que tiene un tamaño plegada de 0.75x1.30x0.25 m, necesita 0.18 m para pasar por debajo de las camas o automóviles, sólo tiene frenos de seguridad en las 2 llantas traseras y levanta hasta 120 kg. La mayor ventaja frente a las otras grúas encontradas es que está a la venta en México y que cuesta \$9,500, sin embargo su peso es de 39 kg que excede lo deseado y se utiliza otro arnés y forma de sujeción que la que ya utilizan mis tíos.



Imagen 20. Grúa mecánica de Abuelo cómodo

Como se visualiza en la imagen 20, el pistón es accionado de forma manual por una manivela que se encuentra del lado derecho. Al girar esta manivela subirá la parte superior de la grúa y así es arnés.

2.2.18 Décima octava solución

Finalmente, a partir de lo encontrado anteriormente y con base en las deficiencias y carencias anteriores, se decidió proponer otra solución que comenzará sólo como una idea:

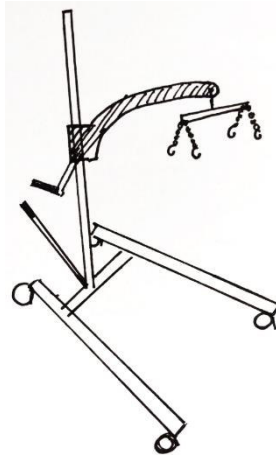


Imagen 21. Dibujo rápido de la décima octava solución

Como se puede observar en la imagen 21 que corresponde a un dibujo rápido, tiene un principio de funcionamiento similar a la solución número tres ya que el elemento que sujetará al arnés subirá y bajará en un mástil de altura fija. Dicho mástil podría tener cuerda para que la parte móvil, con ayuda de un sistema de rotación de manivela, le permitiera elevar o descender.

Los beneficios son que las llantas podrían tener 4 frenos, es decir uno en cada una, por supuesto que también contaría con un sistema para abrir y cerrar la base como en la primera solución, puesto que, cuando se abre la parte más larga la grúa es más estable, para poder elevar a la persona, posteriormente se podrán cerrar para que queden paralelas y se pueda desplazar al paciente.

Los problemas con el diseño son evidentes ya que el mástil debería de ser lo suficientemente robusto para que soportara la flexión ejercida por el peso de la persona. Por decir algo, podría ser de unos 0.04 m de diámetro por 1.50 m de altura, quiere decir que tendría un volumen de 1884 cm^3 y debería de ser de un metal resistente, no frágil, y no se desgaste tan fácil con el uso. Por poner un ejemplo, si fuera de fierro o acero tendría una densidad de 7.8 g/cm^3 , en conclusión solamente el mástil pesaría 14.702 kg, por lo que es casi la mitad del peso permitido y adicionalmente el mástil no se podría doblar o plegar para que tuviera un tamaño menor para que quepa en una cajuela.

2.2.19 Décima novena solución

Viendo la imagen 22, se entiende que tendría el mismo principio de funcionamiento de la décima octava solución donde la base se abre y cierra para dar más estabilidad se propone incluir un tercer elemento

que sería el que ejercería la fuerza para levantar o bajar la parte más alta de la grúa, si bien éste podría ser un cilindro hidráulico, neumático o un mecanismo tornillo sin fin-corona ya que lo único que se necesita es un desplazamiento lineal. En el caso del cilindro hidráulico luciría tentativamente parecida a la solución décima segunda, sin embargo el funcionamiento sería manual.

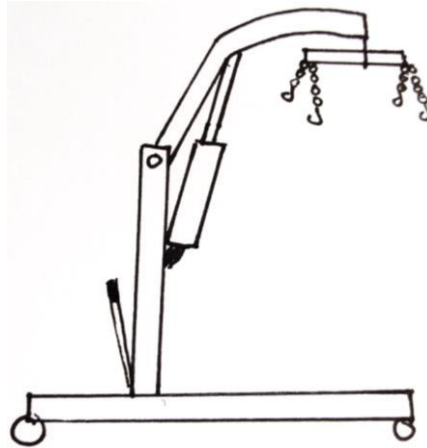


Imagen 22. Dibujo rápido de la décima novena solución

2.2.20 Vigésima solución

Otra vez, teniendo el mismo principio de funcionamiento para la base se decidió cambiar el mástil fijo para que tuviera una parte superior móvil pero con altura de trabajo constante, es decir, si se va a elevar al paciente a un vehículo bajo se debe de bajar la parte superior en el mástil antes de pasar a la persona de la silla de ruedas al automóvil. Como se observa en la imagen 23, un malacate mecánico pasaría su cable o eslinga por dentro de la parte superior móvil para así poder elevar o bajar al paciente, un poco similar a la solución décima sexta.

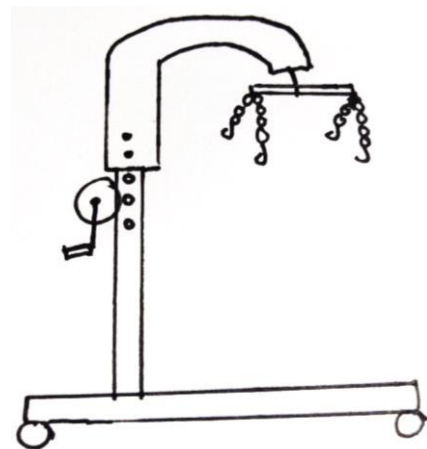


Imagen 23. Dibujo rápido de la vigésima solución

2.3 Matriz de evaluación

A partir de las especificaciones requeridas se creó una matriz que ayuda a decidir por medio de un método matemático cuál es la mejor solución.

Hay 3 opciones para decidir el desempeño de una solución respecto al requerimiento:

- 0 que equivale a que no cumple para nada el requisito
- 1 quiere decir que lo cumple más o menos, aproximadamente 50%
- 2 que lo cumple entre 90% y 100%

Para no hacer la Tabla 1 tan extensa, la numeración corresponde a:

- 2.1.1 Grúa
- 2.1.2 Portátil
- 2.1.3 Su construcción o compra, incluyendo el envío, no debe superar \$8,000 MXN
- 2.1.4 Se adecuará a diferentes superficies
- 2.1.5 Plegable
- 2.1.6 Ligera, menos de 30 kilos
- 2.1.7 Práctica, segura y confiable
- 2.1.8 Diseñada para cargar a un paciente con una masa máxima de 100 kg y una estatura máxima de 1.9 m
- 2.1.9 Traslada a una persona de una silla de ruedas a un vehículo y viceversa
- 2.1.10 Traslada a una persona de una cama a una silla de ruedas y viceversa
- 2.1.11 Sin movimientos súbitos, más bien graduales y relativamente lentos
- 2.1.12 El paciente puede permanecer elevado por un tiempo indefinido sin que el usuario toque la grúa
- 2.1.13 Utiliza un arnés de tela con un agujero
- 2.1.14 Las llantas cuentan con frenos
- 2.1.15 Debe caber en un automóvil de tamaño promedio considerado el espacio para una silla de ruedas
- 2.1.16 No lastima al vehículo, ni por dentro ni por fuera
- 2.1.17 La persona tiene que entrar al auto libremente, sin golpearse
- 2.1.18 Las ruedas rodarán suavemente y serán antiderrapantes
- 2.1.19 La grúa no se volcará
- 2.1.20 Se puede rotar a la persona una vez elevada

- 2.1.21 Es operada por otra persona sin discapacidad motriz
- 2.1.22 Tendrá las dimensiones aproximadas de 1x0.7x0.4 m al estar plegada
- 2.1.23 Mantenimiento sencillo
- 2.1.24 No se necesitan herramientas para plegarla

Así mismo, 1 se refiere a la primera solución y 2 a la segunda y de esta forma continúa.

Haciendo un resumen similar, éstas son las soluciones:

- 1 “Ardoo 140 Portable Hoist” (a la venta)
- 2 “Patient lifter” (patente)
- 3 “Mobile Patient Lifter” (patente)
- 4 “Portable Hoist For An Animal Carcass” (patente)
- 5 “Caregiver’s Helper Lift” (patente)
- 6 “Patient Lift” (patente)
- 7 “Standing Mobility and/or transfer device” (patente)
- 8 “Apparatus and method for assisting impaired or disables persons” (patente)
- 9 “Telescoping Portable Lift” (patente)
- 10 “Patient hoist and scale” (patente)
- 11 “Vehicle wheelchair lift” (patente)
- 12 “Patient lift with hanger bar attachment” (patente)
- 13 “Folding patient lift device” (patente)
- 14 “Fully Portable Hoist” (a la venta)
- 15 “Invacare Birdie Folding Electric Hoist” (a la venta)
- 16 “Golvo 9000 / LowBase Mobile Lift” (a la venta)
- 17 Grúa mecánica de Abuelo cómodo (a la venta)
- 18 Grúa con mástil fijo(propuesta propia)
- 19 Grúa con cilindro (propuesta propia)
- 20 Grúa con malacate (propuesta propia)

Tabla 1. Matriz de evaluación de soluciones

Requisito	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
2.1.1	2	2	2	2	2	2	0	0	2	0	0	2	0	2	2	2	2	2	2	2
2.1.2	2	2	2	0	2	1	2	2	2	2	0	2	2	2	2	1	2	2	2	2
2.1.3	0	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	2	2	2
2.1.4	2	0	0	0	2	2	2	2	2	2	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2
2.1.5	2	0	1	0	2	0	1	1	0	0	1	2	0	1	2	0	0	1	1	2

2.1.6	2	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	0	0	0	1	1	2
2.1.7	2	2	2	1	2	2	1	1	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
2.1.8	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
2.1.9	2	0	2	0	2	0	1	1	0	1	2	2	2	2	0	2	2	2	2	2
2.1.10	2	2	2	2	2	2	1	1	0	1	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2
2.1.11	2	2	2	2	2	2	1	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
2.1.12	2	1	2	1	2	2	0	0	2	0	2	2	0	2	2	2	2	2	2	2
2.1.13	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	2	1	1	1	2	2	2
2.1.14	1	0	1	0	2	2	1	1	2	2	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2
2.1.15	2	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	2	1	1	0	0	0	0	2
2.1.16	2	0	2	0	2	0	1	1	0	2	2	1	2	1	0	2	1	2	2	2
2.1.17	2	0	2	2	2	0	1	1	0	2	2	1	2	1	0	2	1	2	2	2
2.1.18	2	0	2	1	2	2	1	1	2	1	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2
2.1.19	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
2.1.20	0	1	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	2	2	2
2.1.21	2	2	2	1	1	2	0	0	2	1	2	2	0	2	2	2	2	2	2	2
2.1.22	2	0	0	2	1	0	1	1	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	2
2.1.23	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	2	2	1	2
2.1.24	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2
Suma	3	20	32	21	40	27	21	21	25	23	22	37	32	36	29	33	33	41	40	44

Como se puede observar en la última columna de la Tabla 1, la vigésima solución es la mejor porque fue la que cumplió todos los criterios y como consecuencia obtuvo la mayor puntuación.

Una vez que se decidió que ésta es la mejor solución se hará un análisis más profundo y se trabajará en ella. Cabe destacar que los últimos tres dibujos rápidos solamente representaban una idea. Por lo tanto ahora se deberá desarrollar la ganadora y principalmente se fundamentará y concretará.

Capítulo 3: Desarrollo teórico del producto

3.1 Planeación y características a considerar

Ya que se eligió un modelo a realizar se delimitará brevemente un plan de acción y cuáles serán todas las características relevantes. En sí, se presentarán ideas y alternativas para cumplir con los requisitos establecidos en el capítulo 2.

3.1.1 Grúa

A lo que se refiere es que haga un movimiento vertical sólo en un eje, es decir, sólo se necesita que suba y baje al paciente.

Hay diferentes alternativas, por ejemplo: un tornillo sinfín-corona, cilindro hidráulico o neumático, malacate, etc. No sólo hay que considerar el tipo de movimiento, sino también la disponibilidad del material, peso, precio aproximado y practicidad.

El tornillo sinfín-corona es una buena opción, sin embargo el peso del mecanismo podría superar los 5 kilos y el maquinarlo no sería tan sencillo, inclusive si se debiera remplazar por el propio uso no sería fácil encontrar un repuesto.

Un cilindro hidráulico tiende a ser pesado y tiene un precio considerable y el neumático necesitaría un suministro de aire externo lo cual lo vuelve impráctico.

La razón principal por la cual se descartan las tres opciones anteriores es porque el movimiento que realiza la parte superior, con la grúa erguida, no es completamente vertical, por lo que le quitaría valiosos centímetros para que el paciente pasara libremente al ser introducido en el automóvil.

Lo que deja finalmente al malacate, el cual es sumamente comercial y haciendo una búsqueda se ha encontrado uno con valor de \$794 MXN, que pesa 2.72 kg y está diseñado para cargar hasta 544 kg; cabe destacar que ya incluye una eslinga, por lo que se considera una opción viable.

Respecto al malacate, se considera que el mantenimiento sería más sencillo en el caso de ser solamente manual, por otro lado si fuera eléctrico necesitaría un suministro externo de energía; si funcionara con una batería, le agregaría peso al dispositivo y si es ésta fuera pequeña no se podrían ejecutar muchos levantamientos sin tener que recargarla en un plazo corto de tiempo. Por otra parte, si necesitara corriente alterna no funcionaría cuando se debiera introducir al paciente al automóvil ya que no se sabe dónde y cuándo estaría disponible una toma de corriente. Por lo que se concluye que un malacate manual es más sencillo para darle mantenimiento, más barato, más práctico y ligero gracias a que no necesita aditamentos extras.

La pregunta que sigue pendiente es si es más conveniente la eslinga o el cable, puesto que la resistencia no es un factor decisivo ya que su factor de seguridad es muy alto respecto a la carga que debe elevar, así mismo se pueden comprar el malacate con la eslinga o cable incluido y resulta ser que casi tienen el mismo precio y peso ambas opciones, es decir, lo único que lo definiría es el modo de funcionamiento y en caso de que se tenga que pasar el cable o eslinga por dentro de la estructura o dispositivo, ya sea con fines de estética o de seguridad, convendría más que fuera cable porque en todo caso existe la posibilidad de que haya poleas pequeñas por las que tenga que pasar, como se observa en la quinta solución del capítulo 2.

3.1.2 Portátil

Es portátil en el sentido de que se puede mover de un lugar a otro con o sin el paciente elevado, por esta razón se deberán incluir unas llantas. Es indispensable que dichas llantas no sean pequeñas, tal vez de 8 cm de diámetro, para que las irregularidades que pudiera haber en el piso no le afecten a la grúa, que no le quiten estabilidad. Por supuesto también es necesario que dichas llantas puedan soportar el peso del paciente.

3.1.3 Su construcción o compra, incluyendo el envío, no debe superar \$8,000 MXN

Evidentemente los recursos no son ilimitados, por lo que se debe de prever que todos los componentes cuesten menos de \$7,000 MXN, para dejar un margen para algún proceso adicional. Afortunadamente para realizar el ensamble y maquinados está disponible el taller de Ingeniería Mecánica de la Universidad

de Guanajuato Campus Irapuato-Salamanca en el cual no se cobran honorarios ni hay que pagar alguna cuota para el uso de las máquinas o herramienta.

3.1.4 Se adecuará a diferentes superficies

Se refiere a que sean superficies con una inclinación mínima y que sean pisos planos que pudieran tener pequeñas irregularidades, cabe recordar que la grúa podrá llevar al paciente elevado de la cama a la silla de ruedas y viceversa, al igual que introducirlo o sacarlo de un vehículo. Entonces, las llantas deberían de ser antiderrapantes, tener un tamaño mediano para que pasen por debajo de las camas y de preferencia de un material que no sea muy rígido para que amortigüen un poco algún pequeño obstáculo que pudiera haber en el piso.

3.1.5 Plegable

Como se ha explicado previamente, este dispositivo se llevará de una a otra ubicación y por lo mismo deberá caber en una cajuela junto a la silla de ruedas. Sin embargo, también debe de poder subir al paciente a la cama o a un vehículo lo que significa que deberá ser lo suficientemente alta. En conclusión, para que tenga cierta altura estando erguida pero también logre ser lo bastante pequeña para que quepa en una cajuela, hay tres opciones que cumplen lo anterior, que se pliegue, se desmonte o ambas.

3.1.6 Ligera, menos de 30 kilos

Este requisito nace de la necesidad de que mis tíos no pueden cargar a mi primo que pesa aproximadamente 70kg, sin embargo sí tienen la capacidad de subir la silla de ruedas a la cajuela. Dicha silla de ruedas pesa aproximadamente 30 kg.

En general se deberá utilizar un material que sea resistente y lo suficientemente rígido para que no se pandee cuando se eleve al paciente, pero que no sea frágil. Unos materiales que cumple estos requisitos son algunos metales, pero también hay que considerar que deber ser un material comercial, no tan caro, que sea resistente al paso del tiempo, es decir, que las condiciones en las que se guarda no lo afecte de sobremanera, y por supuesto que sea ligero, por lo que tentativamente pudiera ser el aluminio. Posteriormente se analizará para asegurarse de que es lo necesariamente resistente a compresión y flexión y por supuesto revisar los perfiles existentes, disponibilidad y costo.

3.1.7 Práctica, segura y confiable

Al elegir el material y diseñar el dispositivo se tomará un factor de seguridad grande para que no sólo resista sino que se sienta robusto, es decir, que su flexión sea insignificante.

El concepto práctica, se refiere a que cualquier persona sin haber estudiado ingeniería con una mínima explicación pueda utilizar y plegar la grúa.

3.1.8 Diseñada para cargar a un paciente con una masa máxima de 100 kg y una estatura máxima de 1.9 m

A pesar de que el paciente no supera 70 kg, la carga para la que estará diseñada son 100kg, de cualquier forma tendrá un factor de seguridad mínimo de 2 para que no corra ningún riesgo.

3.1.9 Traslada a una persona de una silla de ruedas a un vehículo y viceversa

El vehículo más vendido del mundo es el Corolla de Toyota. Entonces, ya que Toyota tiene vehículos que son muy comerciales, se extrajeron las diferentes dimensiones de la mayoría de vehículos Toyota que tienen una cajuela o caja donde cabrían el dispositivo con la silla de ruedas, simplemente para tener una referencia y poder partir de un rango para el diseño del dispositivo.

Tabla 2. Dimensiones en mm de diferentes vehículos de la marca Toyota [51, 52, 53, 54, 55, 56]

Modelo	Alto (exterior)	Distancia al piso	Espacio cabeza (interior)	Espacio para hombros	Espacio para cadera	Espacio para piernas
Yaris R	1 500	175	970	1350	1234	1064
Corolla	1475	169	985	1392	1346	1059
RAV4	1685	195	-	-	-	-
Sienna	1750	160	1042	1650	1483	1029
Hilux	1815	310	**	**	**	**
Tacoma	1792(exterior)	239	1001	1482	1390	1056

Como información adicional, mis tíos tienen una Sienna 2015 que mide 77 cm desde el piso a la parte superior del asiento y de la parte superior del asiento a la parte superior de la puerta (parte fija) mide 84 cm. Así mismo mi Corolla 2008 mide desde el piso (calle) a la parte superior del asiento 64 cm y desde la parte superior del asiento a la parte superior de la puerta 78 cm.

En conclusión, la distancia mínima desde el suelo al chasis que se tomará es: 16 cm ya que, como se muestra en la Tabla 2 la Sienna es el vehículo con la menor distancia entre el suelo y el chasis [54], como margen de seguridad se propone que 15 cm será la altura máxima del piso a la parte superior de la rueda del dispositivo para procurar que pase por debajo de la mayoría de los vehículos.

Por otro lado, la altura máxima que se decidió deberá tener el dispositivo es 170 cm, medidos desde el suelo hasta la parte más alta de la grúa estando erguida en su configuración más alta. Sin embargo también debe caber dentro de vehículos menos altos, es decir, para poder sentar al paciente dentro del automóvil por lo que el punto más alto de la grúa en la configuración más baja será de 130 cm. Lo que significa que el dispositivo tendrá 40 cm de margen para ajustarse estando erguido. Además que desde la pared del tubo más cercana al vehículo hasta la punta final del soporte superior se necesitan 50 cm, para poder introducir al paciente al vehículo y que dicho soporte de 50 cm llegue en el peor de los casos a la mitad del asiento.

Por otro lado, las mediciones de la silla de ruedas son:

- De lado de una llanta a la otra (ancho exterior)= 64 cm
- Desde el piso hasta el asiento= 55 cm

Es importante resaltar, que las sillas de ruedas promedio tienen un ancho exterior equivalente a 25 in (63.5 cm). Aunque hay de diferentes dimensiones, la de esta medida es la indicada para soportar a una persona que pese hasta 136 kg. Sin embargo, por la norma de accesibilidad [38] se tomará el ancho de 65 cm.

3.1.10 Traslada a una persona de una cama a una silla de ruedas y viceversa

Saber la altura de las camas representa un mayor reto porque pueden variar mucho pero después de tomar las mediciones de varias camas, todas cuentan con una altura del piso al box mínima de 15 cm y la altura del colchón puede variar entre 55 cm y 80 cm.

3.1.11 Sin movimientos súbitos, más bien graduales y relativamente lentos

El malacate deberá ser lo suficientemente suave para que no sea difícil elevar o bajar al paciente y que los movimientos sean lo más controlados posible.

3.1.12 El paciente puede permanecer elevado por un tiempo indefinido sin que el usuario toque la grúa

Un factor elemental para considerar en el malacate es que cuente con un sistema de freno que garantice que en caso de que el paciente esté elevado y se suelte la manivela, no vaya a caer o pierda altura y en caso de no encontrar algún malacate con esta característica se deberá incluir algún mecanismo que lo asegure. Ya que existe la posibilidad de que la persona que está levantando al paciente tenga que retirarse temporalmente.

3.1.13 Utiliza un arnés de tela con un agujero

Dicho arnés ya existe y mis tíos lo usan, tanto para la grúa que ya tienen en la casa como para el dispositivo que está empotrado en la camioneta.

3.1.14 Las llantas cuentan con frenos

Dichos frenos se accionarán con el pie para que el usuario no tenga que agacharse y pueda seguir teniendo las manos en la grúa.

3.1.15 Debe caber en un automóvil de tamaño promedio considerado el espacio para una silla de ruedas

Lo importante es que tenga un tamaño razonable, para que una vez plegado o desarmado quepa en la cajuela incluyendo la silla de ruedas. Es decir, que mida 1000x700x400 mm o inclusive menos.

3.1.16 No lastima al vehículo, ni por dentro ni por fuera

Para ello se tomarán como referencia los valores de la Tabla 2.

3.1.17 La persona tiene que entrar al auto libremente, sin golpearse

La prioridad de la grúa es salvaguardar la integridad del paciente por lo mismo se contemplarán las dimensiones de la Tabla 2.

A pesar de que la grúa deberá poder ayudar a cualquier individuo que no supere los 100 kg, la prioridad es que sea funcional para José Rubén y sus medidas son las siguientes:

- Pie= 27.5 cm
- Desde el talón hasta el último punto de la rodilla (parte superior) = 52 cm
- Desde el primer punto de la rodilla hasta el último punto del glúteo (medición horizontal)=60 cm
- Desde el asiento hasta el hombro, medición vertical (Sentado)= 57 cm
- De hombro a cabeza (medición vertical)= 28 cm

Cabe destacar que se tomaron las medidas de esa forma porque no puede desdoblarse totalmente las extremidades. En conclusión, mi primo tiene una altura aproximada de 1.85 m.

3.1.18 Las ruedas rodarán suavemente y serán antiderrapantes

Lo ideal es que sean de un hule no muy rígido, para que sean antiderrapantes y absorban parcialmente algún pequeño obstáculo que se pudiera encontrar en el piso. Además de tener un diámetro aproximado de 8 cm para que pueda pasar sobre algunas irregularidades sin mayor inconveniente.

3.1.19 La grúa no se volcará

Además de subir lentamente al paciente, es fundamental que se asegure que la posición del centro de gravedad no genere momentos y que las pequeñas oscilaciones que pudieran estar presentes no hagan inestable al dispositivo, por lo que calcular correctamente la longitud de la base y separación de las llantas es muy importante.

Así mismo, en los cálculos se deberán revisar las reacciones en las llantas para que estén balanceadas y soporten lo mismo o no difiera mucho la carga entre ellas.

3.1.20 Se puede rotar a la persona una vez colgada

En ocasiones hay necesidad de rotar al paciente aunque sea sólo unos pocos grados. Lo que significa que aunque el arnés se sostenga de cuatro puntos diferentes será necesario que converjan en un solo punto que será el que finalmente estará en contacto con el gancho que está conectado a la eslinga o cable, para que rote respecto a ese punto.

3.1.21 Es operada por otra persona sin discapacidad motriz

Sin afán de discriminar, será necesario tener un poco de fuerza y coordinación para poder maniobrar este dispositivo.

3.1.22 Tendrá las dimensiones aproximadas de 1x0.7x0.4 m al estar plegada

Como se comentó en el punto 3.1.15 lo más viable es que se pliegue o desarme para cumplir con este requerimiento.

3.1.23 Mantenimiento sencillo

Debe funcionar de una forma sencilla y entre menos piezas móviles tenga habrá menos elementos que se podrían desgastar con el uso.

3.1.24 No se necesitan herramientas para plegarla

Habría que buscar alternativas en caso de que se tenga que desarmar parte del equipo, como lo son las tuercas de mariposa en lugar de tuercas comunes.

3.2 Cálculos preliminares y definición a detalle

En un inicio se realizarán los cálculos preliminares y se tomarán en cuenta las consideraciones anteriores para poder calcular así el diámetro o pared mínima de los tubos que se utilizarán y las dimensiones más importantes. Cabe destacar que en el siguiente capítulo se volverán a realizar dichos cálculos considerando el peso exacto de los elementos y las dimensiones, para verificar que efectivamente cumplirá con lo requerido y de esta forma se sabrá qué materiales se comprarán y qué cambios se deberían realizar. Por lo que en primera instancia se contemplarán algunas estimaciones que dan una buena idea de los valores finales.

Puesto que no todos los elementos que tendrá la grúa estarán sometidos a la misma fuerza o esfuerzo se propone calcular separadamente y definir cada componente en este apartado.

Además se iniciará desde lo más elemental, que es el material, hasta lo más elaborado.

3.2.1 Material

En el libro de “Diseño en ingeniería mecánica de Shigley” [11] se encuentra la Tabla 3:

Tabla 3. Constante física de materiales

Material	Módulo de elasticidad E		Módulo de rigidez G		Relación de Poisson ν	Peso unitario w		
	Mpsi	GPa	Mpsi	GPa		lb/pulg ³	lb/ft ³	kN/m ³
Aluminio (todas las aleaciones)	10.3	71.0	3.80	26.2	0.334	0.098	169	26.6
Cobre al berilio	18.0	124.0	7.0	48.3	0.285	0.297	513	80.6
Latón	15.4	106.0	5.82	40.1	0.324	0.309	534	83.8
Acero al carbono	30.0	207.0	11.5	79.3	0.292	0.282	487	76.5
Fundición de hierro (gris)	14.5	100.0	6.0	41.4	0.211	0.260	450	70.6
Cobre	17.2	119.0	6.49	44.7	0.326	0.322	556	87.3
Abeto Douglas	1.6	11.0	0.6	4.1	0.33	0.016	28	4.3
Vidrio	6.7	46.2	2.7	18.6	0.245	0.094	162	25.4
Inconel	31.0	214.0	11.0	75.8	0.290	0.307	530	83.3
Plomo	5.3	36.5	1.9	13.1	0.425	0.411	710	111.5
Magnesio	6.5	44.8	2.4	16.5	0.350	0.065	112	17.6
Molibdeno	48.0	331.0	17.0	117.0	0.307	0.368	636	100.0
Metal Monel	26.0	179.0	9.5	65.5	0.320	0.319	551	86.6
Níquel plata	18.5	127.0	7.0	48.3	0.322	0.316	546	85.8
Acero al níquel	30.0	207.0	11.5	79.3	0.291	0.280	484	76.0
Bronce fosforado	16.1	111.0	6.0	41.4	0.349	0.295	510	80.1
Acero inoxidable (18-8)	27.6	190.0	10.6	73.1	0.305	0.280	484	76.0

Ya que el peso es un factor muy importante, la lista se reduce a:

- Abeto Douglas
- Magnesio
- Vidrio
- Aluminio

Son los más ligeros, sin embargo se necesita un material que sea resistente y no frágil por lo que se elimina el vidrio de la lista. Posteriormente debe de ser un material que sea durable ya que no se sabe por cuántos años lo usarán y dónde lo almacenarán por lo que el abeto Douglas se elimina de la lista porque podría ser susceptible a las termitas.

Respecto al magnesio [11]:

Aunque las aleaciones de magnesio no tienen una gran resistencia, debido a su peso ligero la relación resistencia-peso se compara de modo favorable con las aleaciones más resistentes de aluminio y de acero. Aun así, las aleaciones de magnesio se emplean con mayor frecuencia en aplicaciones donde la resistencia no es un factor importante.

Es decir, que el magnesio no es usado con fines estructurales y también es difícil encontrarlo en México en pequeñas cantidades, por lo que se descarta.

Por otro lado, se sabe que existen algunas aleaciones de aluminio, cuya resistencia a la fluencia podría ser comparada con la aleación del acero A36 y su peso puede ser de alrededor de la tercera parte de la de éste. Del mismo modo se encontró lo siguiente sobre el aluminio [11]:

Las características sobresalientes del aluminio y sus aleaciones, son su relación resistencia-peso, su resistencia a la corrosión y su alta conductividad térmica y eléctrica. La densidad de este metal es de aproximadamente 2,770 kg/m³ (0.10 lbf/pulg³), que se compara positivamente con la del acero, de 7,750 kg/m³ (0.28 lbf/pulg³).

En conclusión, por las razones anteriores y porque el aluminio es muy comercial teniendo un precio que se ajusta al presupuesto, se optado por utilizar aluminio.

A pesar de que se encuentra fácilmente los perfiles de aluminio hay que asegurarse que no sea aluminio para cancelería sino con fines estructurales, lo que acota la búsqueda. Después de buscar en internet y por recomendaciones de diferentes profesores de la Universidad, se limitó la búsqueda al Bajío ya que los gastos de envío sí eran significativos. Revisando la disponibilidad de perfiles estructurales de aluminio en varios establecimientos se decidió que La Paloma y Casa Sommer son las mejores opciones para elegir como proveedores.

Considerando la hoja de especificaciones técnicas de La Paloma, la aleación 6061 tiene las siguientes características [41]:

Resistencia mecánica superior a la aleación 6063, excelente resistencia la corrosión, buena maquinabilidad, suelda satisfactoriamente, tratable térmicamente para maximizar sus propiedades. Algunos de sus usos son moldes de inyección de plásticos, miembros estructurales, equipo de transportación, fabricación de muebles, barandales, escaleras y puentes.

En comparación con otras aleaciones de aluminio la 6061 es la que más se adecúa a los requerimientos. Para tener un aproximado, podría pedirse un perfil cuadrado o circular, podrían necesitarse unos 6 m de dicho perfil (se eligió circular) para toda la grúa y que tuviera un diámetro interior 2.5 in (63.5 mm), con diámetro exterior de 73.03 mm por lo que el volumen total sería:

$$\frac{6 * \pi}{4} * (0.07303^2 - 0.0635^2) = 0.006131434 \text{ m}^3$$

Multiplicado por la densidad del aluminio:

$$0.006131434 \text{ m}^3 * 2710 \text{ kg/m}^3 = 16.616 \text{ kg}$$

Este cálculo sirve para tener una idea aproximada de cuánto podría pesar el aluminio por sí sólo, por supuesto que faltaría contemplar el resto de componentes (soldaduras, pernos, etc.). Se puede observar que la estructura, que es la que aporta la mayoría del peso, no supera el límite y deja un margen de más de 13kg para accesorios.

3.2.2 Nomenclatura

Para tener un proceso ordenado y claro en la Imagen 24 se muestran los nombres para identificar las partes de la grúa, siendo el modelo más llano de la grúa y básicamente la estructura sin detalles.

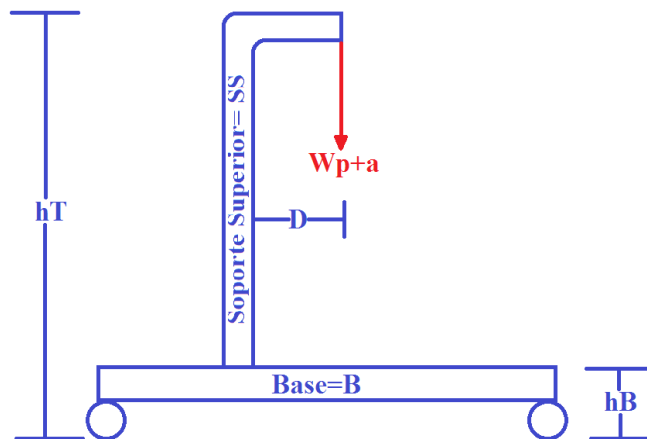


Imagen 24. Grúa sencilla con nombres

Como se observa en la imagen 24, h_T corresponde a la altura total de la grúa medida desde el suelo siendo h_T máxima estando erguida será 1.7 m y mínima 1.3 m. De tal forma que h_B es la altura de la base, la cual incluye las ruedas del dispositivo, su respectiva sujeción y el perfil de aluminio, la h_B máxima permisible es 0.15 m. D es la distancia de la pared externa del perfil al cable o eslinga estando cargada, D deberá ser 0.5 m.

Así mismo, la masa máxima permisible de la grúa es 30 kg, por lo que su peso es 293.3 N. Finalmente, W_{p+a} es el peso del paciente, el arnés y el elemento que permite sujetar el arnés a la grúa; se contemplará un peso máximo de 981 N.

3.2.3 Consideraciones y dimensiones preliminares

En este punto no se pueden definir muchos detalles y dimensiones, sin embargo, para facilitar los cálculos se ha decidido definir lo más imprescindible. Por ejemplo:

- La distancia entre los dos tubos de la base debe permitir que la silla de ruedas pueda estar entre ellos. Por otro lado, el ancho de la silla de ruedas es de 0.65 m midiéndolo de la parte externa de una rueda a la otra [38], pero el ancho al plegarse no debe exceder 0.7 m y además el ancho de la

puerta estándar es 0.66 m y es necesario que pase a través de puertas con el paciente. Para evitar que sea muy ancho para los propósitos de la grúa y como la junta o conector, pieza que une los dos tubos de la base, va a recibir mucho peso no conviene hacerla plegable o telescópica, entonces se optó hacer que los tubos de la base no sean paralelos siempre, sino que exista la opción de abrirlos y cerrarlos porque es necesario para algunos escenarios. En conclusión, se optó por que la distancia interna de la base sea menor de 0.5 m, otra consideración es que el soporte superior sea lo suficientemente largo y que los grados de separación entre los tubos de la base sean suficientes para que la silla de ruedas alcance a entrar y finalmente se pueda elevar al paciente sin problema.

- La altura máxima permitida de la base, que incluye al tubo y a las llantas es de 0.15 m, para que puedan pasar por debajo de los vehículos y camas.
- La parte superior debe permitir ingresar a un vehículo promedio de tal forma que el tubo superior ingrese aproximadamente a la mitad del asiento, por lo que serán 0.5 m desde la pared del tubo hasta donde cuelga el cable cargado.
- Ya que es más crítico cuando la grúa carga al paciente estando en su altura máxima se realizarán los cálculos con esta configuración. Ya que el momento es mayor cuando la palanca tiene mayor longitud y el centro de gravedad del paciente está más arriba, haciéndola más inestable en caso de que se presentara una oscilación. Sin embargo, como ya se había establecido previamente, se decidió definir la altura máxima a 1.7 m midiendo desde el suelo hasta la parte más alta de la grúa.

A modo de resumen, se enlistará la información indispensable para los cálculos:

- Peso del paciente para el diseño 981 N.
- Peso máximo de la grúa será 294.3 N.
- El peso del arnés y el elemento que le permite sujetarse a la grúa está contemplado en los 981 N del paciente.
- El factor de seguridad mínimo será de 2.
- La altura máxima desde el suelo hasta la parte más alta es 1.7 m y la mínima es 1.3 m, por lo que debe poder subir y bajar, estando erguida, 0.4 m.
- Las ruedas y el tubo de la base no deben exceder 0.15 m de alto.
- El soporte superior debe tener 0.5 m de largo, midiendo desde la pared del tubo hasta donde bajaría el cable.
- La junta tendrá una longitud total que no puede rebasar 0.6 m y será la parte más ancha.

3.2.4 Soporte superior

Se debe recordar que el proceso de diseño es iterativo, es decir, se hacen suposiciones, se llevan a cabo los cálculos y luego se revisan las suposiciones para confirmarlas o corregirlas y verificar nuevamente. Cabe destacar que los siguientes cálculos son preliminares y posteriormente se harán con los valores reales y correspondientes de los elementos. Una suposición que se hizo por fines prácticos es que el centroide del soporte superior está sobre el eje del tubo vertical y otra es que el poste superior tendría una tercera parte del peso total de la grúa.

La sumatoria de momentos respecto a donde converge el soporte superior y la base se calcula en la siguiente ecuación:

$$\sum M_{SS} = M_A - (100kg)(9.81 \frac{m}{s^2})(0.5m) = 0$$

Donde M_A es el momento existente donde converge el soporte superior y la base. Por lo tanto, se despeja:

$$M_A = (100kg) \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right) (0.5m) = 490.5 Nm$$

Se sabe que el momento M_A debe ser un poco más grande ya que a los 0.5 m de brazo de palanca se le debe agregar el radio del tubo elegido, pero este tipo de consideraciones se harán en la siguiente sección.

La sumatoria de fuerzas ejercidas en el soporte superior es:

$$\sum F_{ySS} = R_A - (10kg) \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right) - (100kg) \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right) = 1079.1 N$$

Donde R_A es la reacción existente donde converge el soporte superior y la base. Para calcular el esfuerzo a tensión o compresión, considerando que W_p+a estuviera ejercido en la parte vertical del soporte superior, se necesita la fórmula (1):

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Donde σ es el esfuerzo normal, P corresponde a la fuerza axial aplicada y A es el área de sección. Por otro lado, para que no falle, el esfuerzo máximo tiene que ser menor o igual al permitido. Se calcula por medio de la ecuación (2):

$$\sigma_{perm} = \frac{\sigma_y}{F.S.} \quad (2)$$

σ_{perm} corresponde al esfuerzo normal máximo permisible, σ_y es el esfuerzo de fluencia del material y F.S. es el factor de seguridad. Para el aluminio 6061-T6, que es de los más fáciles de encontrar, el esfuerzo de fluencia es de 241 MPa [44]. F.S. corresponde al factor de seguridad que previamente se había definido como 2, para que sea seguro el dispositivo. De tal forma que al sustituir la penúltima ecuación resulta:

$$\sigma_{perm} = \frac{241Mpa}{2} = 120.5 Mpa$$

Para conocer las dimensiones mínimas del tubo con el objetivo de resistir dichas cargas y momentos, se hará uso de la ecuación (3):

$$\sigma_{max} = \frac{|M_{max}|}{S} \quad (3)$$

Donde σ_{max} es el esfuerzo máximo permisible, $|M_{max}|$ es el valor absoluto del momento máximo existente en la parte y S es el módulo de sección. Despejando y sustituyendo:

$$S = \frac{|M_{max}|}{\sigma_{max}} = \frac{490.5Nm}{120.5MPa} = 4.07 \times 10^6 m^3 = 4.07 cm^3$$

Posteriormente, se revisará la Tabla 4 para seleccionar el tubo que se podría utilizar:

Tabla 4. Dimensiones y pesos teóricos para tubería de uso mecánico, pared gruesa [47]

Dimensiones y pesos teóricos de tubería de uso mecánico															
CED No.	Diámetro Nominal		Diámetro Exterior		Espesor		Calibre	Peso estructural		Área	I	S	r	Origen	Obs.
	Pulg.	mm	Pulg.	mm	Pulg.	mm		kg/m	lb/pie	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm		
PG*	1/2	12.70	0.840	21.34	0.090	2.286	13	1.058	0.722	1.347	0.619	0.582	0.678	MEX.	
	3/4	19.05	1.050	26.67	0.095	2.413	13	1.467	0.970	1.866	1.386	1.038	0.862	MEX.	
	1	25.40	1.315	33.40	0.104	2.642	12	2.012	1.364	2.560	3.048	1.825	1.091	MEX.	
	1 1/4	31.75	1.660	42.16	0.110	2.794	12	2.724	1.823	3.466	6.759	3.203	1.397	MEX.	
	1 1/2	38.10	1.900	48.26	0.114	2.896	11	3.251	2.194	4.136	10.70	4.431	1.608	MEX.	
	2	50.80	2.375	60.33	0.120	3.048	11	4.312	3.013	5.486	22.54	7.475	2.027	MEX.	
	2 1/2	63.50	2.875	73.03	0.145	3.683	9	6.250	4.378	7.952	47.94	13.13	2.455	MEX.	
	3	76.20	3.500	88.90	0.150	3.810	9	7.985	5.372	10.16	92.15	20.73	3.012	MEX.	NC
	4	101.6	4.500	114.3	0.156	3.962	8	10.76	7.200	13.69	208.7	36.52	3.904	MEX.	NC
	5	127.0	5.000	127.0	0.156	3.962	8	12.00	8.028	15.27	289.3	45.56	4.353	MEX.	
	6 1/4	158.8	6.250	158.8	0.156	3.962	8	15.29	10.10	19.45	583.1	73.43	5.475	MEX.	
	6 5/8	168.3	6.625	168.3	0.250	6.350	1/4"	25.39	17.02	32.31	1,061	126.1	5.730	MEX.	

La Tabla anterior PG* se refiere a tubos de tamaño estándar de pared gruesa. De tal forma que $S = 4.07 cm^3$, que es el módulo de sección, se encuentra entre el tubo de 1 ¼ in y el de 1 ½ in, se elige el del límite superior para que quede sobrado y no falte, es decir, el tubo menos ancho que podrá ser utilizado en alguna parte del soporte superior tendrá un diámetro nominal de 38.1 mm y un diámetro exterior de 48.26 mm.

Puesto que la variación de altura en la grúa es un requisito, se propone que el soporte superior se componga de dos partes, del poste que en sí es la pieza que estará en contacto con la junta y el soporte superior que será la pieza móvil cuando se quiera variar la altura del dispositivo. Probablemente se utilizará un malacate para elevar al paciente y no hay inconveniente si la grúa no varía su altura cuando se esté elevando al paciente, pero sí tiene que poder variar antes y después de elevar al paciente para que le permita ingresarlo o sacarlo de un vehículo. En conclusión, después del último cálculo, se sabe que el

poste como mínimo deberá tener diámetro nominal de 38.1 mm y un diámetro exterior de 48.26 mm. Y la siguiente medida de tubo existente en el mercado es el tubo con diámetro nominal de 50.8mm, lo que significa que solamente habrá 2.54 mm de juego entre los dos y esto implica que se podrá deslizar perfectamente uno respecto al otro y que la grúa no tendrá movimientos indeseados porque el margen de movimiento es muy pequeño. Además, al ser el mismo material reaccionarán igual a los cambios de temperatura por lo que no importa si se expande o contrae el material ya que lo hacen con la misma relación. En la Tabla 5 se muestran las medidas de los tubos:

Tabla 5. Dimensiones y pesos teóricos para tubería de uso mecánico, cédula 40[47]

Dimensiones y pesos teóricos de tubería de uso mecánico															
CED No.	Diámetro Nominal		Diámetro Exterior		Espesor		Calibre	Peso estructural		Área cm ²	I cm ⁴	S cm ³	r cm	Origen	Obs.
	Pulg.	mm	Pulg.	mm	Pulg.	mm		kg/m	lb/pie						
40	1 1/2	38.10	1.900	48.26	0.145	3.683	9	4.075	2.720	5.184	12.98	5.374	1.582	MEX.	
	2	50.80	2.375	60.33	0.154	3.912	9	5.431	3.687	6.910	27.61	9.157	1.999	MEX.	
	2 1/2	63.50	2.875	73.03	0.188	4.775	3/16"	8.005	5.464	10.18	59.59	16.33	2.419	MEX.	

Ya que la cédula 40 es un poco más económica que el perfil de pared gruesa, se utilizará para hacer el soporte superior. De cualquier forma, como ya se calculó, el poste tendrá un diámetro menor por lo que todo indica que esta sección al ser más robusta será más resistente. Sin embargo, se comprobará a continuación con la siguiente ecuación si el perfil de cédula 40 con diámetro nominal de 2 in efectivamente es apto.

$$\sigma_{max} = \frac{|M_{max}|}{S} = \frac{490.5Nm}{9.157 \text{ cm}^3} = \frac{490.5Nm}{9.157 \times 10^6 \text{ m}^3} = 53.57 \text{ MPa}$$

Por lo que el factor de seguridad se puede calcular a partir del esfuerzo de fluencia previamente establecido y del esfuerzo máximo permisible, que es el resultante de la ecuación anterior:

$$F.S. = \frac{\sigma_y}{\sigma_{perm}} = \frac{241 \text{ MPa}}{53.57 \text{ MPa}} = 4.5$$

Que inclusive duplica el factor de seguridad que se había establecido para el poste, por lo que quedará mucho más seguro. Concluyendo, el poste tendrá un diámetro nominal de 38.1 mm y un diámetro exterior de 48.26 mm, mientras el soporte superior tendrá un diámetro nominal de 50.8 mm y un diámetro exterior de 60.33 mm.

Una vez que ya se sabe que habrá muy poco juego, se propone que el poste tenga varias perforaciones y que el soporte superior tenga una o dos y que un perno o dos les permita fijarse en una posición determinada. Se considera que es mejor que el soporte superior cuente con dos perforaciones, porque en el peor de los casos, uno serviría para impedir la rotación y el otro soportaría la mayoría del esfuerzo

cortante. Entonces con la intención de evitar las anteriores y adicionalmente alguna deformación por aplastamiento se decidió hacer dos perforaciones de lado a lado en el soporte superior y estarán separadas 5 cm entre ellas y además 5cm al borde inferior. Por lo que el poste deberá tener 9 perforaciones separadas 5cm entre cada una, de tal forma que el soporte superior podrá subir o bajar 40 cm deslizándose en el poste.

A modo de nota, se contempló que en caso de que los 2.54 mm de juego que habrán entre los dos tubos le afecten significativamente, se pondrían unas guías de nylamid para que deslice a la perfección, es decir como un recubrimiento para el tubo de menor diámetro.

3.2.5 Base

Volviendo a valorar las diferentes opciones, se encuentra lo siguiente:

- Base con tres llantas compuesta por dos tubos encontrados.
- Base con cuatro llantas compuesta por dos tubos paralelos (fijos), sin mecanismo extra.
- Base con cuatro llantas compuesta por dos tubos móviles, con mecanismo extra. Ésta se muestra en la Imagen 25, página37.

La primera opción no es la más estable ya que en caso de que hubiera una oscilación grande le podría faltar otro punto de apoyo, por lo anterior es que esta opción se descarta.

No representa un desafío grande hacer este mecanismo extra ya que podría ser una simple palanca que abra y cierre la base. Por otro lado, la silla de ruedas tiene 0.65 m de ancho [38] y si fuera fijo, debería de medir un poco más de 0.65 m, además el grosor del perfil de cada lado, por lo que quedaría 0.76 m de ancho, lo cual excede el ancho de la mayoría de las puertas. También hay ocasiones en las que se tiene que maniobrar en espacios reducidos y si se usa la tercera opción no sólo se podría abrir para que quepa la grúa por fuera de la silla de ruedas sino que también podrían acercarse más las llantas delanteras para estorbar menos si fuera el caso y para desplazar al paciente cuando esté elevado se podrían poner los tubos de la base paralelos.

Otro asunto a discutir es cómo se van a unir los dos perfiles para convertirlos en base pero antes de responder hay que considerar que en esta conexión también irá el poste vertical que se deberá plegar.

Se decidió que la posición de la conexión o junta será un poco alejada de las llantas traseras para que la grúa no se vaya hacia atrás en caso de que llegara a oscilar el paciente una vez que esté elevado, se proponen 25 cm.

Después de resolver lo anterior se propone que luzca aproximadamente así, por supuesto las dimensiones se calcularán posteriormente:

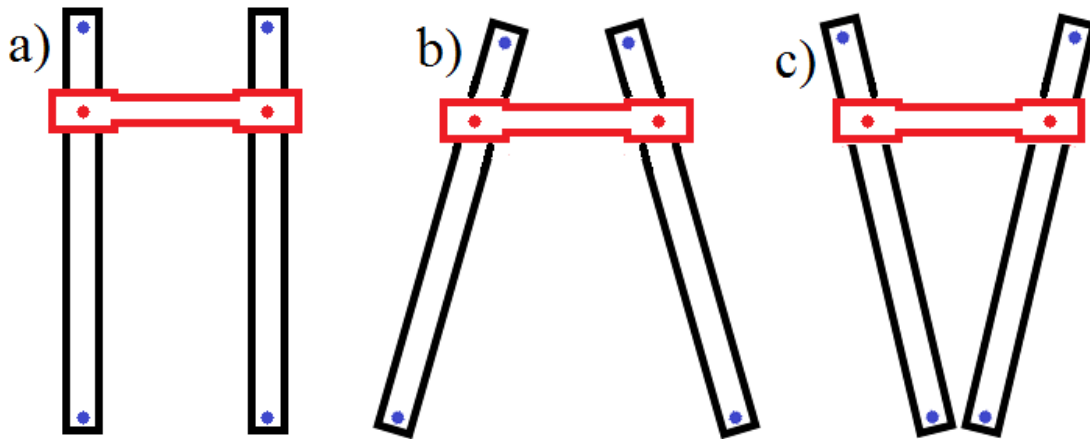


Imagen 25. Dibujos rápidos de la propuesta de base

La Imagen 25 representa las 3 configuraciones que podría tener la base. El inciso a) es cuando los tubos son paralelos y sería la utilizada para plegar la grúa y para desplazar al paciente elevado, el inciso b) servirá para elevar al paciente desde su silla de ruedas o para bajarlo y finalmente el inciso c) ayudará cuando se deba maniobrar en espacios reducidos. Cabe destacar que hay un límite para abrir y otro para cerrar los tubos de la base, pero las posiciones intermedias son continuas. Lo que se aprecia en azul son las localizaciones de las llantas y lo que está de color negro son los perfiles y finalmente lo que aparece en rojo es el conector o junta de los dos perfiles con llantas, dicho conector tendrá la forma mostrada en la Imagen 26:



Imagen 26. Bosquejo de la propuesta del conector o junta

En la Imagen 26 podemos ver que las partes rectas de los extremos corresponden a las soleras de aluminio y la distancia entre soleras es igual al diámetro externo del perfil (60.33 mm). Esto permitirá abrazar a cada tubo con cada “C” del conector para que un perno con tuerca y rondanas pase por las dos piezas y cada tubo pueda rotar respecto a la perforación de la “C”, como se puede observar en la Imagen 25, con el punto rojo en el conector.

Respecto al perfil, lo ideal sería que fuera cuadrado, pero en caso de que sea redondo tampoco habría algún problema. Si fuera redondo o cuadrado podría luciría como se muestra en la Imagen 27, donde lo azul corresponde a las llantas.

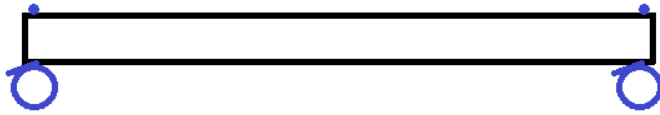


Imagen 27. Dibujo rápido de la propuesta A del tubo de la base

Pero si fuera cuadrado, se podría cortar el perfil de tal forma que sólo dejara la parte superior de la caja para que la llanta estuviera más cercana y así la base quedara más baja, como se ve a continuación.

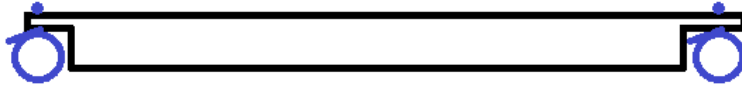


Imagen 28. Dibujo rápido de la propuesta B del tubo de la base

Como se observa en la Imagen 28, si las llantas quedaran muy pegadas al perfil completo no podrían rotar, así que sólo se debería de tomar en consideración la distancia suficiente para que sí puedan rotar. Otra sugerencia es que si la longitud de la base excede un metro, se podría plegar o hacer un mecanismo telescópico. Se considera más sencillo y seguro que sea telescópico, para el cual sólo se necesitaría un tubo de diámetro menor que el principal y algunas rondanas para eliminar el desnivel para que la grúa esté a nivel del piso y que no se incline la base. Sin embargo, para no precipitarse, lo primero que se debe calcular son las dimensiones del tubo de la base, es decir, el grosor y principalmente el largo para que no se vuelque. Para esto, se dibujó el diagrama de cuerpo libre mostrado en la Imagen 29. En color azul se muestra la estructura sencilla de la grúa. W_{p+a} es el peso del paciente más el arnés que resultan ser 981N, mientras que W_{ss} es 98.1N que es el peso aproximado del soporte superior que sería la tercera parte del peso total de la grúa. R_1 y R_2 son las reacciones de la grúa con el suelo y W_B es el peso de la base que corresponde a las otras dos terceras partes del peso de la grúa, es decir, 196.2N.

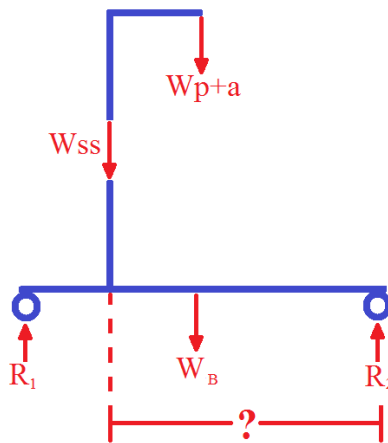


Imagen 29. Diagrama de cuerpo libre para grúa sencilla

Se propone que desde el centro del poste hacia la rueda 1 sean 25 cm para asegurarse que la grúa no se vuelque hacia atrás. Además se contemplará el peso máximo de la grúa que son 30 kg. De tal forma que la sumatoria de fuerzas queda:

$$\sum F_B = 2R_1 + 2R_2 - (30kg) \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right) - (100kg) \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right) = 0$$

Por otro lado, para que el peso sea dividido equitativamente en las ruedas las reacciones deberán ser iguales, esto ayudará a que no se vuelque y a que rueden con más facilidad, por lo que esta afirmación se traduce en la siguiente ecuación.

$$2R_1 = 2R_2 = 2R$$

Sustituyendo:

$$4R = (30kg) \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right) + (100kg) \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right) = 1275.3N$$

Al resolver la ecuación anterior, la reacción en cada llanta resulta 318.825 N. Otra suposición que se hizo es que la base, compuesta por los dos tubos y la junta, tiene un peso máximo de 20 kg y el centroide está a la mitad de los tubos. Como se comentó con anterioridad éstos son cálculos preliminares y después se calculará el centroide, pesos y dimensiones sin aproximaciones. Por lo que la sumatoria de momentos respecto a la rueda trasera queda:

$$\sum M_{R1} = \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right) \left[-(10kg)(0.25m) - (20kg) \left(\frac{x+0.25m}{2}\right) - (100kg)(0.75m) \right] + 2(318.825N)(x + 0.25m) = 0$$

Cuando x se despeja de la ecuación anterior su valor resulta de 1.16 m. Es decir, que la base tendrá en total, tentativamente, una longitud total de 1.41 m, midiendo del centro de la llanta delantera a la trasera. Lo que lo hace muy largo para que sea una sola pieza y se propone que sea telescópico para que sea fácil de armar y principalmente que no falle ya que estaría reforzado en la parte central al ser de doble pared, ayudando así a evitar una flexión excesiva. Por lo que se propone que el tubo principal que es el que lleva la rueda trasera sea de mayor diámetro, ya que en él irá asegurada la junta y que el tubo secundario con la llanta delantera sea más delgado, así mismo para cumplir con las dimensiones especificadas de la grúa el tubo principal medirá 0.9 m para que la pequeña parte que sobresalga del tubo secundario quepa dentro de un metro. Es decir que el tubo de menor diámetro medirá más de 0.51 m.

Ahora bien, ya que se sabe que solamente venden 3 m o 6.1 m de tubo y el poste de 1 ½ in de diámetro nominal tendría como máximo 1.5 m se pretende calcular el factor de seguridad que se tendría en los tubos de la base al utilizar este mismo perfil, es decir, para que no sea menor de 2 que fue lo establecido y así asegurarse que no habrá ningún inconveniente de utilizar el mismo.

Ahora bien, para saber cuál es el momento máximo se realizarán varios cortes y se calculará el momento máximo. Primeramente, se dibujará el diagrama de cuerpo libre para la base de la Imagen 30.

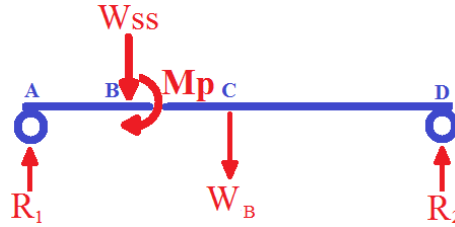


Imagen 30. Diagrama de cuerpo libre para la base

En A y en D el momento debe ser igual a 0, para que no se vuelque la grúa. Por lo que se hará el corte a partir de B. Retomando los valores, la distancia AB es 0.25 m, mientras que la BD es 1.16 m y AC es 0.705 m. Cada reacción de cada llanta individual es 318.825 N. W_{SS} vale 98.1 N y M_P es igual a la multiplicación de $(100 \text{ kg}) (9.81 \text{ m/s}^2) (0.5 \text{ m})$ que resulta 490.5 Nm, sin embargo como se está calculando en el caso que el peso fuera equitativo en los dos tubos de la base, se dividen tanto W_{SS} como M_P entre 2.

El momento si se corta en el punto B es igual a:

$$M_B = 318.825\text{N}(0.25\text{m}) = 79.71 \text{ Nm}$$

Como se mostró en la ecuación anterior. De la misma forma, el momento si se corta en C se calcula con la siguiente ecuación.

$$M_C = 318.825\text{N}(0.705\text{m}) - \frac{10\text{kg}(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})(0.455\text{m})}{2} - \frac{100\text{kg}(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})(0.455\text{m})}{2} + 245.25\text{Nm} = 224.53 \text{ Nm}$$

De tal forma que el diagrama de momentos resultante es:

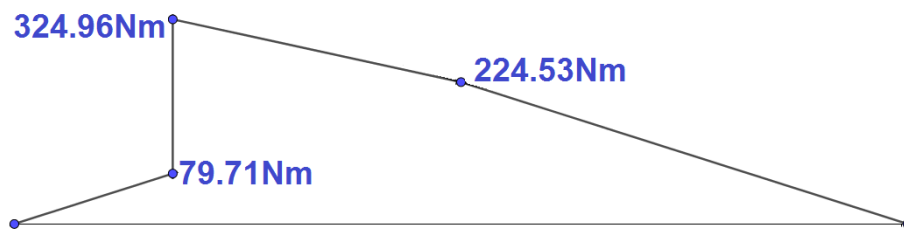


Imagen 31. Diagrama de momentos de un tubo de la base

El momento máximo fue 324.96 Nm. El esfuerzo normal máximo es el máximo permisible, considerando el factor de seguridad de 2.

$$S = \frac{|M_{max}|}{\sigma_{max}} = \frac{324.96 \text{ Nm}}{120.5 \text{ MPa}} = 2.7 \times 10^{-6} \text{ m}^3 = 2.7 \text{ cm}^3$$

Como se observa en el diagrama de momentos anterior, el momento máximo se encuentra donde la junta está en contacto con la base, que es a 0.25 m de la llanta trasera. Quiere decir que en ese lugar estará el

tubo de diámetro nominal de 50.8 mm y un diámetro exterior de 60.33 mm y un módulo de sección de 9.157 cm^3 por lo que es más robusto, estará sobrado y será bastante seguro. Inclusive si ahí estuviera el tubo de menor diámetro, éste sigue teniendo un módulo de sección mayor al necesario, siendo de 4.431 cm^3 y como se demostró en la última ecuación, el módulo de sección mínimo necesario es tan sólo de 2.7 cm^3 .

3.2.6 Sistema de plegado de poste

Para que el soporte superior alcance una altura mínima de 1.3m debería de medir como mínimo aproximadamente 1.1 m, lo cual resulta ser muy grande para introducirlo en una cajuela, contemplando el resto de componentes. Por esta razón, a la junta que se muestra en la Imagen 26 se propone soldarle dos soleras verticales separadas con respecto a la mitad con 3 perforaciones, cada una. De esta forma el poste quedaría atrapado entre las dos soleras. El poste sería pivoteado por una de las perforaciones y se definiría la posición del mismo según la posición de otro perno, bien podría dejar el poste vertical u horizontalmente.

Si bien la forma externa no importa, sólo habrá que asegurarse de que no haya esquinas puntiagudas por seguridad. Lo que se muestra en la Imagen 32 es lo que se propone, donde el círculo grande corresponde al diámetro externo del tubo de la junta, en dicho tubo que mide más o menos 40 cm se colocarían ambas soleras con una separación equivalente al tubo del poste para que finalmente se suelden y no se puedan recorrer las soleras. Ahora, la perforación que tiene una “P” corresponde al pivote, donde irá un perno inamovible y si se quiere poner el poste vertical se deberá de poner un perno móvil en el círculo V y si se recostará el poste, se deberá poner el perno móvil en el círculo H. Por lo mismo, el poste deberá de tener 3 perforaciones en la parte inferior.

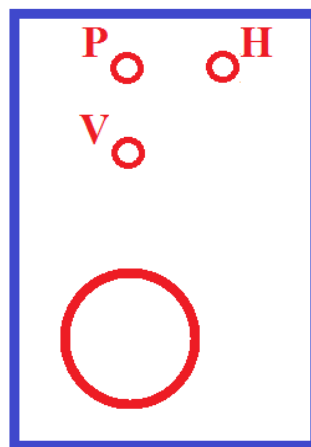


Imagen 32. Solera para el conector de los tubos de la base

3.2.7 Junta

Respecto a la junta, ya se definió que tendrá el concepto que se muestra en la Imagen 26 y será la parte más ancha de la grúa estando plegada. Como se explicó en la lista de características necesarias, la junta deberá tener como largo máximo 0.7 m, incluyendo el tubo del medio y los conectores en “C”. Se optó por dicha junta porque se considera sencilla de maquinar. Y contemplando el apartado anterior, también contará con dos soleras paralelas con perforaciones. Retomando un tema anterior, ya sabiendo que efectivamente habrá un mecanismo para abrir y cerrar la base, adicionalmente se sabe que el ancho de la silla de ruedas es de 0.65 m y además el ancho de la puerta estándar es 0.66 m, por lo que se consideró que es preferible que la grúa pase más holgada por las puertas y se limitó el ancho de la junta a 0.6 m. Se propone que el tubo que se utilice sea el de mayor diámetro para que sea más robusto, además tendría 0.4 m de largo, para que la “C” pueda tener aproximadamente 0.1 m de largo y le permita rotar libremente al tubo de la base cuando se abra o cierre.

La base estará sometida a flexión. Además, se pretende formar la “C” cortando tres rectángulos de solera, soldarlos y finalmente se soldarían ambas “C’s” al tubo, por lo que también se deberán analizar las soldaduras.

Se deberá comprobar si los tubos de la base estando a la mitad de la “C”, pueden rotar perfectamente. Para lo cual se deberán hacer algunas suposiciones que después se comprobarán.

Tabla 6. Dimensiones y pesos teóricos para soleras de aluminio [46]

Dimensiones y pesos teóricos para soleras de aluminio														
Ancho	Pulg.	1/4	3/8	1/2	5/8	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3	4	6
	mm	6.350	9.525	12.70	15.88	19.05	25.40	31.75	38.10	50.80	63.50	76.20	101.6	152.4
Espesor		Kilogramos por metro lineal												
Pulg.	mm													
1/16	1.588	0.027	0.041	0.055	0.068	0.082	0.109							
1/8	3.175		0.082	0.109	0.137	0.164	0.219	0.273	0.328	0.437		0.656		
3/16	4.763			0.164	0.205	0.246	0.328	0.410	0.492	0.656	0.820	0.984		
1/4	6.350		0.464	0.219	0.273	0.328	0.437	0.547	0.656	0.875	1.094	1.312	1.750	2.625
3/8	9.525			0.328	0.410	0.492	0.656	0.820	0.984	1.312	1.640	1.969	2.625	3.937
1/2	12.70						0.875			1.312	1.750	2.187	2.625	3.500
5/8	15.88									2.187				
1	25.40									2.625	3.500		5.250	6.999
														10.499

La solera de 3/8 in de espesor, por poner un ejemplo, que es el doble del espesor de los tubos. Y si la “C” tuviera un ancho de 66 mm. Entonces, en el caso de que la junta tenga las dimensiones de las Imágenes 33 y 34.

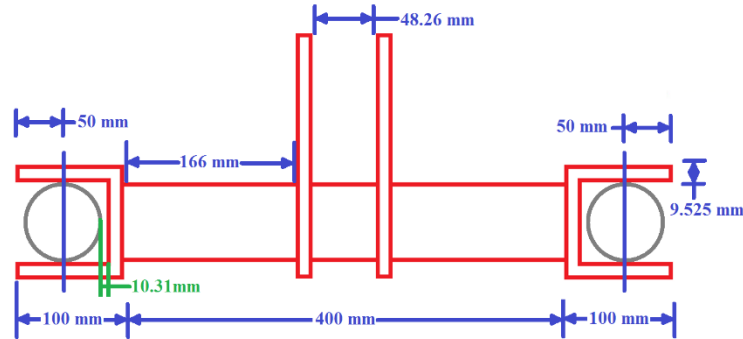


Imagen 33. Dimensiones tentativas de la junta, vista lateral

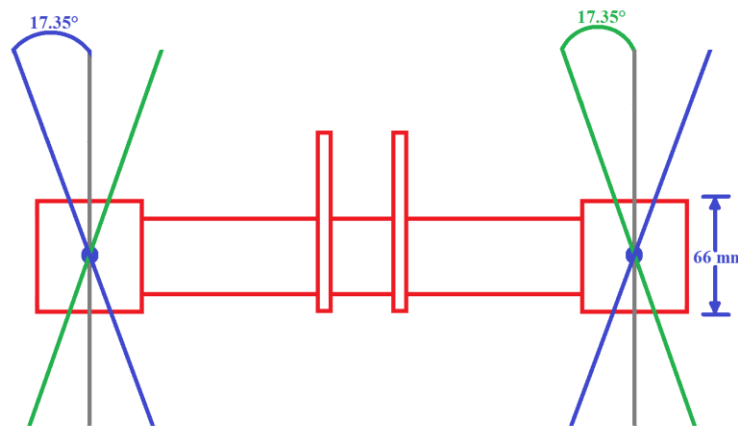


Imagen 34. Dimensiones tentativas de la junta, vista superior

Como se observa en la Imagen 34, el punto azul que se ve en el centro del rectángulo es el perno que detendrá el tubo de diámetro nominal de 50.8 mm y un diámetro exterior de 60.33 mm, es decir que servirá como pivote para que los tubos de la base puedan rotar pero principalmente para que se fijen a la junta.

Quiere decir que si el tubo de la base está perpendicular a la junta, éste estará a una distancia de 10.31 mm, la misma que le permitirá rotar hasta que el tubo de la base tope con la “C”. Lo que se traduce en que hay una libertad de movimiento de 17.35° para un lado y los mismos para el otro, en total 34.7°. Sin embargo, para que las llantas de adelante no choquen entre ellas, sólo se podrán cerrar 12.33°, es decir que en total debería de poder rotar menos de 24.66°. Por lo mismo, se propone que los tubos se fijen más cerca del tubo central de la junta y así la misma “C” no permitirá que gire más de lo necesario. Calculando, si el tubo de la base está perpendicular a la junta, éste deberá estar a una distancia de 7.2

mm (en lugar de 10.31 mm) de la pared interna de la “C”, por lo que la perforación del perno estará a 37.38 mm (en lugar de 5 cm) medidos desde la pared interna de la “C”. Así que éstas son las dimensiones que se respetarán.

Se calculará la flexión que podría existir en el tubo de la junta y asegurarse que el tubo de diámetro nominal de 50.8 mm y un diámetro exterior de 60.33 mm cumplirá con lo requerido. Cabe destacar que por lo pronto se considera despreciable el peso de la junta ya que no se conocen varios datos y para eso son los siguientes cálculos. En un inicio, las reacciones donde se unen las “C” y el tubo son iguales en ambos extremos del tubo por lo que se proponen las siguientes ecuaciones:

$$R_1 = R_2 = R$$

Donde R corresponde a la reacción en cada “C”.

$$W_1 = W_2 = W = \frac{(9.81 \frac{m}{s^2})(10kg + 100kg)}{2} = 539.55 N$$

Mientras que W es el peso que deberá soportar cada “C”. De tal forma que la sumatoria de fuerzas en la junta es:

$$\sum F = - 539.55N - 539.55N + R + R = 0$$

Por lo que cada reacción en cada unión del tubo con la “C” es igual a 539.55 N. El diagrama de momentos resultante se muestra en la Imagen 35.

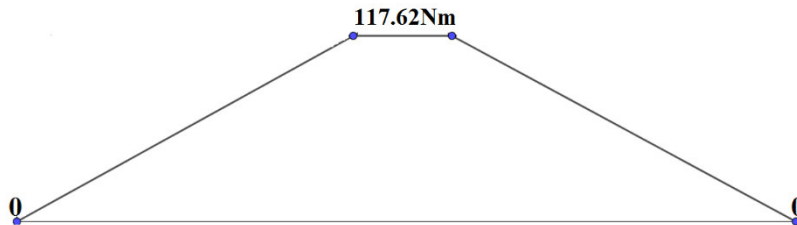


Imagen 35. Diagrama de momentos de la junta

Resulta que el momento máximo es 117.62 Nm. Ya que el momento máximo estará presente en el tubo de diámetro nominal de 50.8 mm y un diámetro exterior de 60.33 mm con S de 9.157 cm³, se calculará con la siguiente ecuación el esfuerzo máximo.

$$\sigma_{max} = \frac{|M_{max}|}{S} = \frac{117.62Nm}{9.157cm^3} = 12.84 MPa$$

El esfuerzo de fluencia del aluminio 6061 T651 es de 241 Mpa [44], por lo que el factor de seguridad para este elemento es de 18.77.

Ahora se analizará la solera por flexión, el momento máximo al que se verá sometida la “C” se calcula:

$$M_{max} = (539.55N)(0.03737m) = 20.16 Nm$$

Para conocer el grosor mínimo (h) que podría tener la solera de la “C” se necesitará la siguiente fórmula, considerando que la sección transversal es rectangular.

$$\sigma_{max} = \frac{|M_{max}|}{S} = \frac{|M_{max}|}{\frac{bh^2}{6}}$$

El esfuerzo máximo permisible, teniendo un factor de seguridad de 2, es de 72 Mpa. Donde b es el ancho de la solera. Sustituyendo y despejando resulta la siguiente ecuación:

$$h = \sqrt{\frac{6|M_{max}|}{\sigma_{max}b}} = \sqrt{\frac{6(20.16Nm)}{(72 \times 10^6 Pa)(0.066m)}} = 0.00505m = 5.05 mm$$

Cabe destacar que la lámina que se propuso tiene un grosor de 9.525 mm, es decir que duplica el necesario. Sin embargo, falta revisar el grosor de la otra solera que es la encargada de sostener el poste. Se revisó la sección de uniones con pernos y remaches cargadas en cortante, pero particularmente el análisis que se hará es por aplastamiento. Resulta complicado conocer el comportamiento con exactitud debido a la distribución de la carga en la superficie cilíndrica del remache. Sin embargo, como indica el Shigley [11]:

Los valores exactos de las fuerzas que actúan en el remache se desconocen, y por lo tanto se puede suponer que las componentes de las fuerzas están distribuidas de manera uniforme sobre el área de contacto proyectada del remache. Lo anterior significa que, para el esfuerzo:

$$\sigma = -\frac{F}{A} \quad (4)$$

donde el área proyectada de un remache individual es $A = td$. Aquí, t es el espesor de la placa más delgada y d es el diámetro del remache o perno. En la práctica estructural se evita la falla espaciando los remaches al menos 1 1/2 diámetros desde el borde. Por lo general, las conexiones con pernos se espacian una distancia aún mayor, para tener una apariencia satisfactoria; de aquí que este tipo de falla se desprecie con frecuencia.

Resolviendo la última ecuación:

$$A = \frac{\left(\frac{100kg + 10kg}{2}\right) \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right)}{72.3 \times 10^6 Pa} = 7.46 \times 10^{-6} m^2$$

Sin embargo, en este punto no se conoce ni el espesor de la placa ni el diámetro del perno, pero como se sabe que uno de los pernos será móvil, quiere decir que debe tener un diámetro no muy pequeño para que se pueda manipular sin dificultad. Por lo que se propone, otra vez, que tenga un diámetro de 1 cm, sin embargo, el diámetro estándar más cercano es de 3/8 in que es 9.525 mm. Sabiendo esto con la siguiente ecuación se calculará el espesor mínimo necesario analizando la solera por aplastamiento.

$$t = \frac{A}{d} = \frac{7.46 \times 10^{-6} m^2}{0.009525m} = 0.00078m = 0.78 mm$$

Si se utiliza el perno de 3/8 in en otras perforaciones, solamente se necesitará que esté como mínimo a 14.29 mm del borde.

Como se observa resultó un espesor muy pequeño, pero se utilizará la misma solera para varios elementos de la grúa, ya que no se pueden comprar piezas muy pequeñas y aunque quede sobrada en algunos lugares no se desperdiciaría material ni se rebasaría el presupuesto.

En conclusión, la solera de 3/8 in queda sobrada en cualquiera de los dos casos, ya sea para la “C” de la junta como para el soporte del poste. Por lo que se puede utilizar la solera de 1/4 in de espesor, que es la medida estándar que le sigue hacia abajo.

Como último, las soldaduras se analizarán. Para formar las C’s y la junta, se utilizarán las siguientes formas de soldadura:

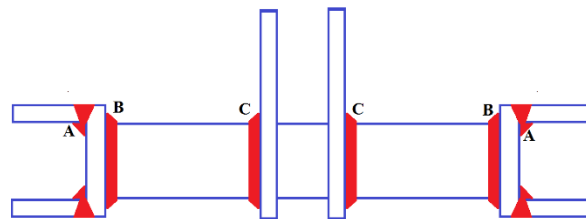


Imagen 36. Soldaduras necesarias en la junta

Como se observa en la Imagen 36, la zona “A” estará formada por una soldadura de tope y otra de filete y que la “B” y la “C” son puramente de filete.

Como se muestra en la Imagen 37, se presentan los diagramas de fuerzas cortantes y momentos presentes en la junta o conector.

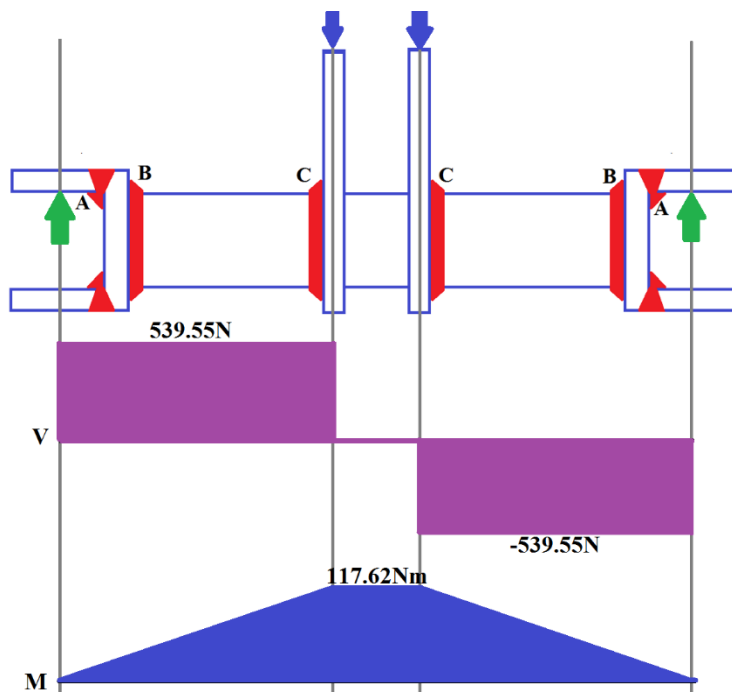


Imagen 37. Diagrama de fuerza cortante y de momentos en la junta

Revisando el libro de Diseño en ingeniería mecánica de Shigley” [11], se encontró la siguiente Tabla que resultó muy útil para el análisis de soldaduras que se realizará.

Tabla 7. Programa B: tamaño mínimo de soldadura de filete, h, del libro “Diseño en ingeniería mecánica de Shigley” [11]

Esesor del material de la parte unida más gruesa, pulg	Tamaño de la soldadura, pulg
*Hasta $\frac{1}{4}$ inclusive	$\frac{1}{8}$
Mayor que $\frac{1}{4}$ Hasta $\frac{1}{2}$	$\frac{3}{16}$
Mayor que $\frac{1}{2}$ Hasta $\frac{3}{4}$	$\frac{1}{4}$
†Mayor que $\frac{3}{4}$ Hasta $1\frac{1}{2}$	$\frac{5}{16}$
Mayor que $1\frac{1}{2}$ Hasta $2\frac{1}{4}$	$\frac{3}{8}$
Mayor que $2\frac{1}{4}$ Hasta 6	$\frac{1}{2}$
Mayor que 6	$\frac{5}{8}$

La Tabla 7 indica que no se debe exceder el espesor de la parte más delgada. El espesor más delgado será el del tubo y es 4.765 mm, equivalente a 0.188 in. Sin embargo, no importa si se llega a utilizar la solera de $\frac{1}{4}$ in o de $\frac{3}{8}$ in porque el tamaño mínimo de soldadura que se pudiera utilizar es el de $\frac{3}{16}$ in, que afortunadamente es un poco menor que el espesor del tubo. Por lo que se deberá utilizar forzosamente la soldadura de $\frac{3}{16}$ in. Aunque ya se limitó la dimensión del electrodo que se utilizará, se analizarán las

soldaduras por cortante directo, torsión y flexión con la intención de demostrar que el factor de seguridad es mayor que 2, lo que significa que es apta.

Se comenzará analizando por cortante, cabe destacar que para las soldaduras A, B y C los cálculos son similares, solamente que la longitud de la soldadura será de 66 mm mientras que en el caso de B y C será el perímetro del tubo que resultan 18.95 cm. Las soldaduras tendrán un aspecto de triángulo rectángulo, de tal forma que dos de sus ángulos serán de 45°. La fuerza máxima a las que se ven sometidas se llama F y es equivalente a 539.55 N, la cual está compuesta por una fuerza normal (Fn) y una fuerza cortante (Fs) donde se utilizan las siguientes fórmulas.

$$F_s = F \operatorname{sen} \theta = 539.55 N \operatorname{sen} 45^\circ = 381.52 N$$

$$F_n = F \operatorname{cos} \theta = 539.55 N \operatorname{cos} 45^\circ = 381.52 N$$

Los esfuerzos nominales a un ángulo θ en la estructura soldada, τ y σ , se calculan con las siguientes ecuaciones:

$$\tau = \frac{F_s}{A} = \frac{F \operatorname{sen} \theta (\operatorname{cos} \theta + \operatorname{sen} \theta)}{hl} = \frac{F}{hl} (\operatorname{sen} \theta \operatorname{cos} \theta + \operatorname{sen}^2 \theta)$$

$$\sigma = \frac{F_n}{A} = \frac{F \operatorname{cos} \theta (\operatorname{cos} \theta + \operatorname{sen} \theta)}{hl} = \frac{F}{hl} (\operatorname{sen} \theta \operatorname{cos} \theta + \operatorname{cos}^2 \theta)$$

Hay que recordar que la σ máxima permisible, con un factor de seguridad de 2 es 120.5 Mpa mientras que la τ es la misma cantidad multiplicada por 0.6. Además, todas las soldaduras están sometidas a la misma carga, pero la longitud (l) de las soldaduras B y C es de 18.95 cm. Sustituyendo los valores en las ecuaciones anteriores y despejando h:

$$h = \frac{F}{\tau l} (\operatorname{sen} \theta \operatorname{cos} \theta + \operatorname{sen}^2 \theta) = \frac{539.55 N}{72.3 Mpa (0.1895 m)} (\operatorname{sen} 45^\circ \operatorname{cos} 45^\circ + \operatorname{sen}^2 45^\circ) = 0.039 \text{ mm}$$

$$h = \frac{F}{\sigma l} (\operatorname{sen} \theta \operatorname{cos} \theta + \operatorname{cos}^2 \theta) = \frac{539.55 N}{120.5 Mpa (0.1895 m)} (\operatorname{sen} 45^\circ \operatorname{cos} 45^\circ + \operatorname{cos}^2 45^\circ) = 0.236 \text{ mm}$$

Mientras que en A la longitud de la soldadura sería de 6.6cm

$$h = \frac{F}{\tau l} (\operatorname{sen} \theta \operatorname{cos} \theta + \operatorname{sen}^2 \theta) = \frac{539.55 N}{72.3 Mpa (0.066 m)} (\operatorname{sen} 45^\circ \operatorname{cos} 45^\circ + \operatorname{sen}^2 45^\circ) = 0.113 \text{ mm}$$

$$h = \frac{F}{\sigma l} (\operatorname{sen} \theta \operatorname{cos} \theta + \operatorname{cos}^2 \theta) = \frac{539.55 N}{120.5 Mpa (0.066 m)} (\operatorname{sen} 45^\circ \operatorname{cos} 45^\circ + \operatorname{cos}^2 45^\circ) = 0.067 \text{ mm}$$

Lo que se demuestra con las últimas cuatro ecuaciones, es que aunque la soldadura estuviera sometida al mayor esfuerzo normal y cortante, la garganta (h) que se requiere a cortante sigue siendo muy pequeña, ya que se decidió utilizar el electrodo de 3/16 in (4.76 mm) por sugerencia de la Tabla 7.

Posteriormente, se analizarán las soldaduras por torsión. La fuerza cortante produce un cortante primario en las soldaduras, la magnitud se calcula con la ecuación (5).

$$\tau' = \frac{V}{A} \quad (5)$$

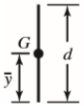

Donde A es el área de la garganta de la soldadura.

El momento en el soporte produce un cortante secundario o una torsión de las soldaduras, y dicho esfuerzo está dado por la ecuación (6).

$$\tau'' = \frac{Mr}{J} \quad (6)$$

donde r es la distancia desde el centroide del grupo de soldaduras hasta el punto en la soldadura de interés, y J es el segundo momento polar de inercia del área del grupo de soldaduras respecto del centroide del grupo. Cabe destacar, que son soldaduras individuales, entonces esas constantes serán respecto a sí mismas. Cuando se conocen los tamaños de las soldaduras, se resuelven estas ecuaciones y los resultados se combinan para obtener el esfuerzo cortante máximo. Para lo cual se hará uso de la Tabla 8 [11].

Tabla 8. Propiedades torsionales de las soldaduras de filete [11]

Soldadura	Área de la garganta	Ubicación de G	Segundo momento polar unitario del área
	$A = 0.70 hd$	$\bar{x} = 0$ $\bar{y} = d/2$	$J_u = d^3/12$
	$A = 1.414 \pi hr$		$J_u = 2\pi r^3$

*G es el centroide del grupo de soldaduras; h es el tamaño de la soldadura; el plano del par de torsión está en el plano de la página; todas las soldaduras son de ancho unitario.

Si se usa el electrodo de 3/16 in, el esfuerzo primario para la soldadura A resulta la siguiente ecuación:

$$\tau' = \frac{V}{A} = \frac{539.55N}{0.7(3.1416 \times 10^{-4} m^2)} = 2.453 MPa$$

El momento que genera la torsión es del peso del paciente por el medio metro de distancia. De esta forma, el esfuerzo secundario es representado por la ecuación subsecuente:

$$\tau'' = \frac{Mr}{J} = \frac{(490.5Nm)(0.033m)}{(0.066m^3)/12} = 2943 Pa$$

Al sumarlas resulta un esfuerzo casi igual que el primario por sí solo y resulta que si se saca la relación de la suma y el esfuerzo máximo permisible, el factor de seguridad sería de 58.9.

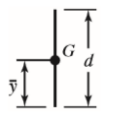

Para el caso de las soldaduras B y C el esfuerzo primario y secundario serían idénticos, respectivamente, por lo que las ecuaciones resultantes son:

$$\tau' = \frac{V}{A} = \frac{539.55N}{1.414\pi(1.437 \times 10^{-4} m^2)} = 0.845 MPa$$

$$\tau'' = \frac{Mr}{J} = \frac{(490.5Nm)(0.03m)}{2\pi(0.03m)^3} = 86739.4 Pa$$

Una vez más, inclusive la suma de ambos esfuerzos resulta muy alejado del esfuerzo máximo permisible. Se concluye que la soldadura de 3/16 in también es apta y muy robusta para el análisis por torsión. Finalmente se analizarán por flexión.

Tabla 9. Propiedades flexionantes de las soldaduras de filete[11]

Soldadura	Área de la garganta	Ubicación de G	Segundo momento unitario del área
	$A = 0.707hd$	$\bar{x} = 0$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^3}{12}$
	$A = 1.414\pi hr$		$I_u = \pi r^3$

* I_u , segundo momento de área, se toma respecto de un eje horizontal que pasa por G, el centroide del grupo de soldaduras, siendo h el tamaño de la soldadura; el plano del par flexionante es normal al plano de la página y paralelo al eje y; todas las soldaduras son del mismo tamaño.

Para determinar el esfuerzo cortante nominal en la garganta se hace uso de la ecuación (7).

$$\tau = \frac{Mc}{I} \tag{7}$$

Donde I es $0.707hI_u$. Para la soldadura A se calcula:

$$\tau = \frac{(20.17Nm)(0.033m)}{0.707(0.0047m)(2.4 \times 10^{-5}m^3)} = 8.25 MPa$$

Para la soldadura B es:

$$\tau = \frac{(25.31Nm)(0.03m)}{0.707(0.0047m)(2.74 \times 10^{-5}m^3)} = 8.26 MPa$$

Y para C:

$$\tau = \frac{(115.059Nm)(0.03m)}{0.707(0.0047m)(2.74 \times 10^{-5}m^3)} = 37.55 MPa$$

Después de analizar las soldaduras por cortante, torsión y flexión, la soldaduras que se encargan de fijar las soleras que sostienen el poste son las que están sometidas a un mayor esfuerzo. Para las soldaduras C, se hizo el cálculo suponiendo que las soldaduras soportarían la carga, pero en realidad el tubo es continuo y en él se insertan las placas con agujero y la soldadura solo sirve de fijación (no trabaja). Sin embargo, el esfuerzo máximo permisible es 144.6 Mpa por lo que el factor de seguridad de la soldadura más crítica sería 3.85.

3.2.8 Sistema de apertura de base

La propuesta más sencilla y más ligera que se encontró fue que una solera pequeña, que no necesariamente debería ser de aluminio, se fije por la parte superior de un tubo de la base y que otra solera idéntica se fije del otro tubo de la base por la parte inferior y se les haga una perforación grande a ambas soleras para que estén alineadas y se introduzca una palanca en dicha perforación. Lo cual permitirá que cuando la palanca se empuje hacia un lado se separen las llantas delanteras y hacia el otro lado se cierren. Efectivamente este mecanismo no cuenta con algún tope, pero las dimensiones de las “C” de la junta serán las encargadas de limitar el movimiento a sólo 24.66° en total.

Como ya se había comentado, mis tíos y primo ya cuentan con una grúa en su casa que es la mostrada en la Imagen 38, sin embargo no es viajera porque es muy pesada y no se puede plegar. Pero el principio de funcionamiento del dispositivo de apertura de la base es el mismo que se utilizará en el presente proyecto.



Imagen 38. Grúa de casa de mi primo José Rubén

Lo único que se habrá de cuidar es que este mecanismo no le estorbe al poste cuando se recueste. Por eso mismo, se colocará a 10cm de la junta y la palanca será muy ligera y removible.

3.2.9 Malacate (winch)

Puesto que el cable que hace el movimiento de subir y bajar al paciente solamente estaría a tensión y la fuerza estaría en la dirección de la gravedad. El cable debe soportar una fuerza de $110 \text{ kg}(9.81 \text{ m/s}^2) = 1079.1 \text{ N}$. Una vez que se conoce la fuerza a la que será sometido el elemento se puede pensar en diferentes soluciones, las cuales serían: Cable, cuerda, cadena o eslinga.

La cuerda para que sea lo suficientemente fuerte tendría una sección transversal de un tamaño considerable que aumentaría la dificultad al enrollarlo ordenadamente en el malacate.

Las cadenas son muy pesadas y bromosas.

La eslinga de sujeción al ser de nylon no se oxida, difícilmente se deshilacha y es bastante ligera, soporta grandes fuerzas a tensión, es bastante delgada, es y tiene un precio accesible. Tomando como referencia

una eslinga ojo a ojo marca Truper de 3 in de ancho y 4 m de largo, se sabe que resiste 3000 kg, cuesta \$275 y pesa 1.28 kg. Es decir, que en dado caso la eslinga sería excesiva.

Finalmente el cable, resulta ser la opción más viable ya que no se oxida, es lo suficientemente resistente a tensión, es ligero pero principalmente se puede pasar fácilmente por poleas para cambiar su dirección. Sin embargo, para no entrar en complicaciones se buscaron malacates que ya estén listos para usar y solamente se encontraron de cable y eslinga sin que tenga una masa mayor a los 3 kg.

Revisando en el catálogo de Truper [58] se encontró:

Malacates de manivela con cable

- Sistema que minimiza el esfuerzo al arrastrar la carga
- Activación automática de freno
- Diámetro de cable: 3/16" (5 mm)

Para remolque de embarcaciones, equipo de jardinería y agricultura

Ganchos forjados de acero al medio carbono

No sobrepase el límite máximo de trabajo

CÓDIGO	CLAVE	CAPACIDAD	APERTURA GANCHO	RELACIÓN ENGRANES	LARGO CABLE	MASTER	MAYOREO	NC
14719	MAW-27C	335 kg	3/4"	3:1:1	7 m	6	\$459	3
14720	MAW-54C	735 kg	7/8"	4:1:1	9 m	6	\$539	3
14721	MAW-91C	1240 kg	7/8"	3.4:1 y 6.8:1	9 m	4	\$849	3

CAJA 1 / MASTER CONSULTE TABLA

Imagen 39. Malacates de Truper [58]









Resulta, que solamente se encontraron en este catálogo malacates sin cable o con cable, por lo que se prefirió con cable, para no tener que hacer una adecuación extra. En el caso del MAW-27C, que es el que se encuentra en la Imagen 39, será capaz de elevar 335 kg por lo que triplica la carga necesaria, el peso es de 2 kg y el precio es de \$459 que se ajusta al presupuesto.

Sin embargo, se le deberán hacer dos adecuaciones a este dispositivo, la primera es recortar el cable porque mide 7 m y aunque indique que tiene una activación automática del freno, tal vez sea necesario agregarle algún aditamento para cerciorarse que si se llega a soltar la manivela la carga no se desplomaría.

3.2.10 Pernos

De las opciones más comerciales es la utilización de pernos de hierro o acero. Sin embargo, el perno de hierro, también conocido como dulce, es el de menor resistencia, teniendo una dureza en norma SAE de grado 2, o en ASTM grado 307, dicho perno se utiliza generalmente en construcciones de madera o plástico, o donde no se requiere una capacidad de carga o corte elevados; por lo que se optó por el perno de acero ya que se usa donde se requiere una alta resistencia a la tensión o corte.

Tabla 10. Especificaciones SAE para pernos de acero [11]

Grado SAE núm.	Intervalo de tamaños, inclusive, pulg	Resistencia de prueba mínima,* kpsi	Resistencia mínima a la tensión,* kpsi	Resistencia mínima a la fluencia,* kpsi	Material	Marca en la cabeza
1	1/4-1 1/2	33	60	36	Acero de bajo o medio carbono	
2	1/4-3/4 7/8-1 1/2	55	74	57	Acero de bajo o medio carbono	
		33	60	36		
4	1/4-1 1/2	65	115	100	Acero de medio carbono, estirado en frío	
5	1/4-1 1 1/8-1 1/2	85	120	92	Acero de medio carbono, T y R	
		74	105	81		
5.2	1/4-1	85	120	92	Acero martensítico de bajo carbono, T y R	
7	1/4-1 1/2	105	133	115	Acero de aleación de medio carbono, T y R	
8	1/4-1 1/2	120	150	130	Acero de aleación de medio carbono T y R	
8.2	1/4-1	120	150	130	Acero martensítico de bajo carbono, T y R	

Como se sabe, algunos pernos serán móviles y no deben tener un diámetro tan pequeño para que se puedan manipular fácilmente. Se optó por usar rondanas planas para no lastimar el aluminio ya que es más suave que el acero e inclusive se marca con más facilidad, además en el caso de los pernos móviles se pondrán mariposas en lugar de tuerca normal para que no se necesiten herramientas para plegar la grúa y finalmente las tuercas que sí serán fijas serán tuercas de seguridad para que no se vaya a aflojar ningún perno por alguna vibración mínima.

Solamente se analizará el perno que podría estar sometido a la mayor fuerza cortante que es el perno que unirá y fijará el soporte superior en el poste. Cabe destacar, que tal vez sean dos y no uno, pero en el peor de los casos solamente uno soportaría toda la carga y sería cortante puro, para calcularlo se hará uso de la ecuación (8):

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (8)$$

Donde A es el área transversal del perno, como se comentó, se cree que un perno que tenga un diámetro de aproximadamente 1cm de diámetro será fácil de manejar, sin embargo, la medida debe ser en pulgadas así que se utilizará la de 3/8 in que es 9.525 mm. Finalmente, sustituyendo en la ecuación (8):

$$\tau = \frac{(100kg)(9.81 \frac{m}{s^2})}{\pi \left(\frac{0.009525}{2} \right)^2} = 13.77 Mpa = 2 \text{ Kpsi}$$

Que está muy alejado de la falla. Sin embargo, ya que tienen un peso y precio similares, se ha decidido comprar los de grado SAE 8. Ahora, respecto el análisis por aplastamiento, sólo hay que separar los

pernos al menos 1 1/2 diámetros desde el borde, es decir, 14.28 mm que inclusive puede ser más para que este tipo de falla se desprecie.

3.2.11 Deformación del soporte superior

Por el método del trabajo virtual, se analizará el desplazamiento del soporte superior. Para esto, se sabe que “en el aluminio, el módulo de elasticidad tiende a ser el mismo para cada una de las aleaciones en una serie dada, es decir, el temple no afecta considerablemente esta propiedad. Por ejemplo, para una aleación de la serie 6XXX el módulo de elasticidad será de 69000 MPa” [44]. Se considera que para hacer los cálculos en el peor de los casos, convendrá considerar el soporte superior y el poste un mismo elemento, con un diámetro nominal de 38.1 mm y un diámetro exterior de 48.26 mm, además para simplificar un poco los cálculos se considerará que no tiene radio la esquina, sino forma un ángulo recto. Adicionalmente se sabe de la Tabla 4, “Dimensiones y pesos teóricos para tubería de uso mecánico” [47], que el momento de inercia (I) es 10.7 cm^4 .

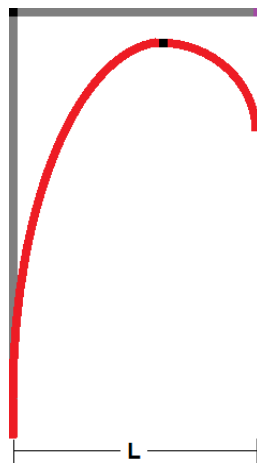


Imagen 40. Estructura simplificada original y deformación exagerada

Imaginando que las líneas grises, en la Imagen 40, corresponden al soporte superior y al poste sin alguna fuerza aplicada y las líneas rojas curvas es la misma estructura pero con la fuerza de 981 N (peso del paciente y el arnés), a la cual se le llamará F , aplicada justamente en el extremo del soporte superior. Además, la longitud L corresponde a 0.5 m. Una vez explicado esto, para conocer el desplazamiento vertical se necesitarán los dos diagramas siguientes.

El diagrama de momentos de la parte horizontal de la estructura cuando una fuerza F es aplicada, es un triángulo rectángulo ya que el momento va aumentando proporcionalmente con la distancia, pero en el caso del tubo vertical, el momento es constante porque el brazo de palanca no varía.

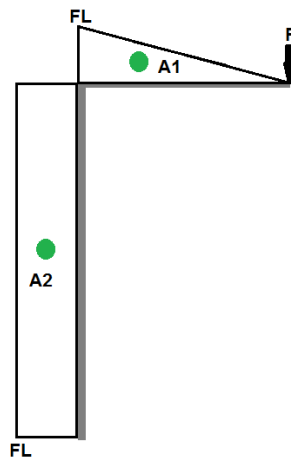


Imagen 41. Estructura simplificada con el peso del paciente aplicado, diagrama real

Entonces, F es 981 N y L es 0.5 m, además se llamará H a la altura del poste, que es cuando está en la postura máxima, corresponde a 1.55 m. Por otro lado, el punto verde corresponde al centroide del triángulo rectángulo y del rectángulo, de la Imagen 41.

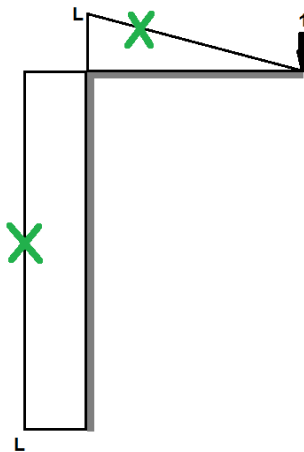


Imagen 42. Estructura simplificada con una fuerza vertical unitaria aplicada

En este caso, tiene exactamente el mismo comportamiento pero la intensidad de la fuerza es unitaria. Las cruces, de la Imagen 42, corresponden a la intersección entre el momento (de la fuerza unitaria) y donde estaría el centroide de la Imagen 41, que en este caso es exactamente el mismo en ambas imágenes.

Por ejemplo, en el caso del triángulo rectángulo el momento correspondiente a la longitud L equivale a 1 por L , por lo que la cruz intersecciona en $1/3$ de L .

Ahora bien, para calcular el desplazamiento vertical se calculará la suma de los productos del área del momento de la fuerza real por la distancia del centro del tubo a la cruz verde respectivamente, como se muestra a continuación:

$$IE \delta_v = A1 \left(\frac{L}{3} \right) + A2(L) = \frac{FL^2}{2} \left(\frac{L}{3} \right) + HFL(L)$$

Sustituyendo queda:

$$\frac{(981N)(0.5m)^3}{6} + (1.55m)(981N)(0.5m)^2}{(10.7 \times 10^{-8} m^4)(69 \times 10^9 N/m^2)} = 0.054m$$

Ahora bien, para calcular el desplazamiento horizontal se seguirá un procedimiento parecido, pero la fuerza unitaria ahora actuará horizontalmente, por lo que el diagrama de momentos virtual cambiará en la Imagen 43.

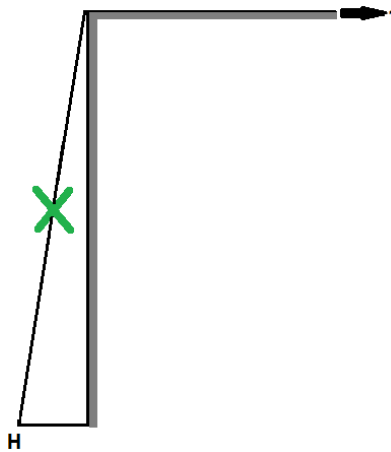


Imagen 43. Estructura simplificada con una fuerza horizontal unitaria aplicada

De una forma similar se calculará el desplazamiento horizontal, por medio de la siguiente fórmula.

$$IE \delta_H = A1(0) + A2 \left(\frac{H}{2} \right) = HFL \left(\frac{H}{2} \right)$$

Sustituyendo queda:

$$\frac{(1.55m)^2(981N)(0.5m)}{2(10.7 \times 10^{-8} m^4)(69 \times 10^9 N/m^2)} = 0.08m$$

Para conocer el ángulo de rotación del extremo del soporte superior, como se muestra en la Imagen 44. De la misma forma se calcula el ángulo de rotación pero en este caso se hace uso de la ecuación subsecuente.

$$IE \theta = A1(1) + A2(1) = \frac{FL^2}{2} (1) + HFL(1)$$

Sustituyendo resulta:

$$\frac{(0.5m)^2(981N) + 2(1.55m)(981N)(0.5m)}{2(10.7 \times 10^{-8} m^4)(69 \times 10^9 N/m^2)} = 0.12 \text{ rad} = 6.85^\circ$$

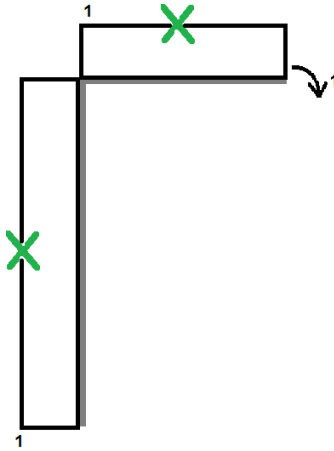


Imagen 44. Estructura simplificada con un momento unitario aplicado

Y con esto quedan finalizados los primeros cálculos, posteriormente se volverán a hacer contemplando algunas mejoras y, sobre todo, sin hacer suposiciones.

Capítulo 4: Definición total del producto

4.1 Modelado de las piezas

Haciendo uso de SolidWorks como herramienta, se modelará cada pieza necesaria para finalmente ensamblarlas y revisar que no haya interferencia con algún movimiento. Simplemente para cerciorarse de no hacer compras innecesarias y evitar problemas en el proceso de ensamble.

Es importante destacar que por la disponibilidad de los perfiles encontrados se modelará con un perfil circular, ya que también los cálculos preliminares están hechos con ese perfil.

4.1.1 Soporte superior

Como se muestra en la Imagen 45, consta de un tubo de perfil circular de aluminio 6061 con diámetro nominal de 50.8 mm y un diámetro exterior de 60.33 mm. Tiene una altura total del 0.926 m y de lado tiene 0.56 m, ambas medidas por fuera del perfil y el codo tiene un radio de 60 mm. Tiene dos perforaciones en el centro perpendiculares al eje del tubo, con diámetro de 9.525 mm en la parte inferior que están separadas 50 mm una de otra y a 50 mm del borde. Cabe destacar, que todas las dimensiones respecto a las perforaciones serán medidas desde el centro del círculo.

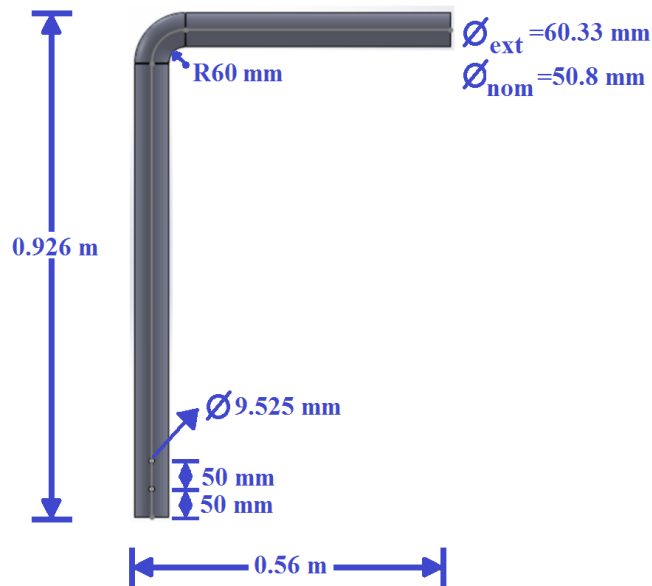


Imagen 45. Soporte superior, primer modelado

4.1.2 Poste

Como se ve en la Imagen 46, consta de un tubo de perfil circular de aluminio 6061 que tiene un diámetro nominal de 38.1 mm y un diámetro exterior de 48.26 mm con una longitud de 770 mm. Todas las perforaciones tienen un diámetro de 3/8 in, las tres primeras están a 70 mm de cada una y la primera está a 30 mm de distancia del borde. Las últimas nueve perforaciones están a 50 mm de distancia, una de otra y además la última está a 50 mm del borde.

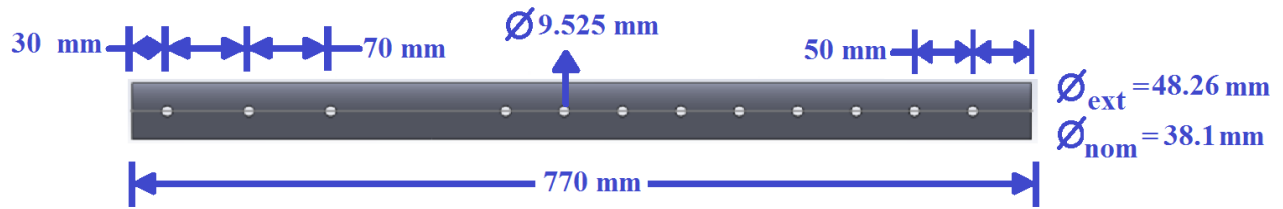


Imagen 46. Poste, primer modelado

4.1.3 Placa para junta

Esta pieza tiene una altura de 200 mm, un ancho de 160 mm y un grosor de 3/8 in de aluminio 6061. Además, para que no presente riesgo alguno esta pieza, las cuatro esquinas tendrán un radio de 20 mm, como se muestra en la imagen 47.

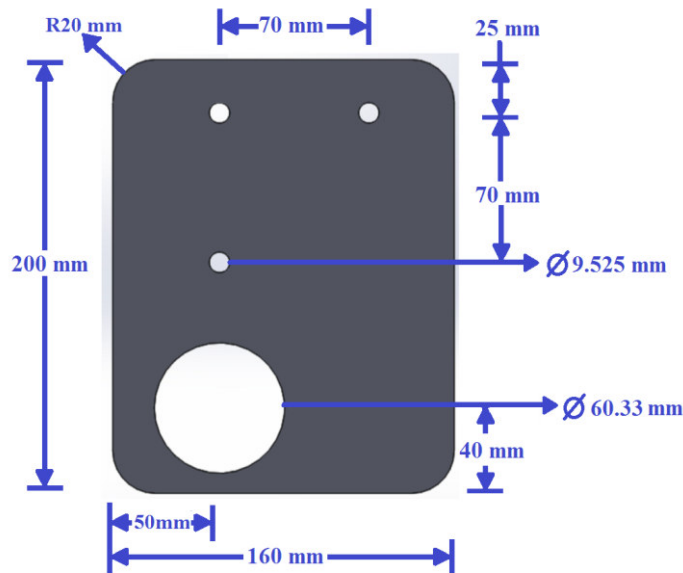


Imagen 47. Placa para junta, primer modelado

4.1.4 Junta

La parte central es un tubo de perfil circular de aluminio 6061 con diámetro nominal de 50.8 mm y un diámetro exterior de 60.33 mm y 400 mm de longitud, como bien se observa en las imágenes 48 y 49. Las “C”s tienen una solera de aluminio 6061 de 9.525 mm de espesor, tienen unas perforaciones de 9.525 mm alineadas con el eje del tubo que van de lado a lado por ambas placas. La altura máxima es la de las “C”s y es de 79.38 mm ya que deberán “abrazar” a los tubos de las bases que tienen un diámetro exterior de 60.33 mm. El largo total de la “C” es de 100 mm. Además, medido desde la pared vertical interna de la “C”, la perforación está a 37.38 mm.

La placa para la junta se soldará a 166 mm de la pared externa vertical de la “C”, de tal forma que ambas soleras “aprisionarán” el tubo del poste y dicho quedará centrado en la junta, haciéndola una pieza simétrica. Cabe destacar que las placas para la junta, deben colocarse en el tubo antes de soldar las "C".

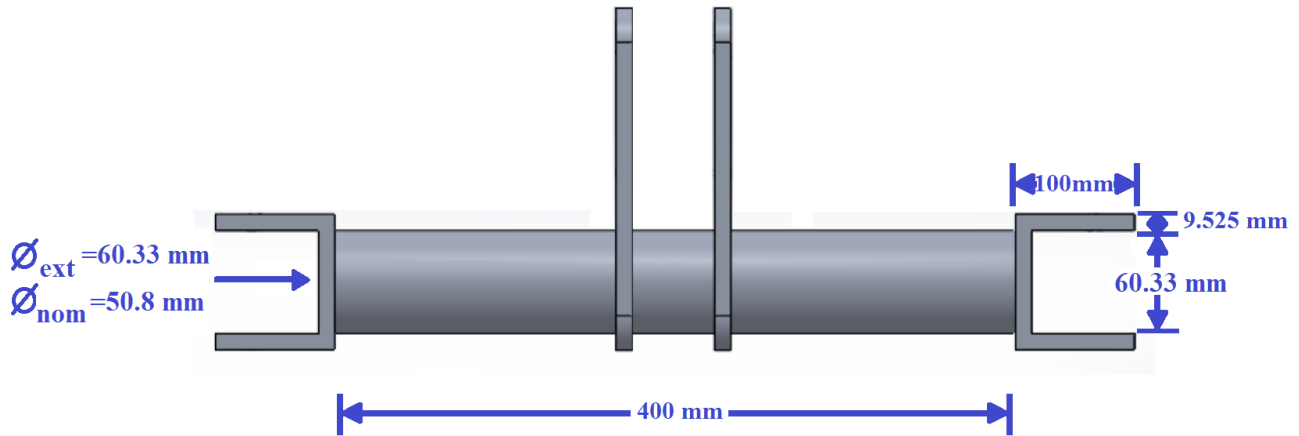


Imagen 48. Junta, vista frontal, primer modelado

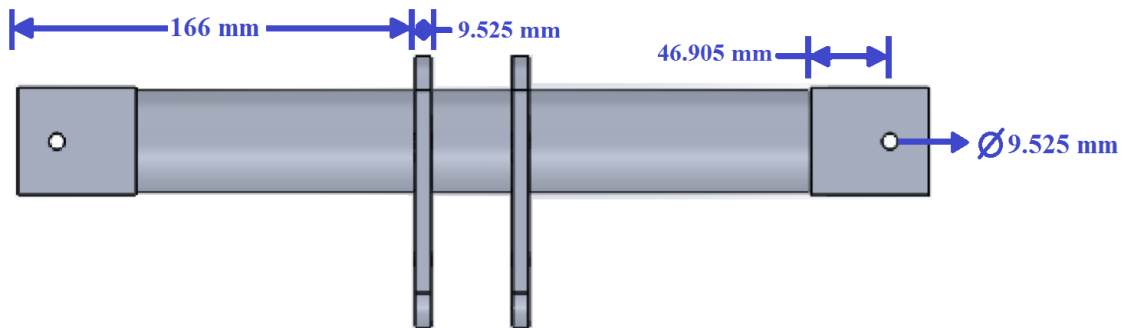


Imagen 49. Junta, vista superior, primer modelado

4.1.5 Base

La base se compone de dos tubos de perfil circular de aluminio 6061, el grande que tiene un diámetro nominal de 50.8 mm, un diámetro exterior de 60.33 mm con una longitud de 900 mm y el chico con un diámetro nominal de 38.1 mm, un diámetro exterior de 48.26 mm y mide 650 mm. El grande tiene en total cinco perforaciones de 9.525 mm, que son dos por la parte lateral y tres en la parte superior. Es decir, tres alineadas con el eje del tubo y completamente pasadas, como se observa en la Imagen 50; las otras dos están alineadas con el eje del tubo, completamente pasadas y perpendiculares a las mostradas, vistas en la Imagen 51

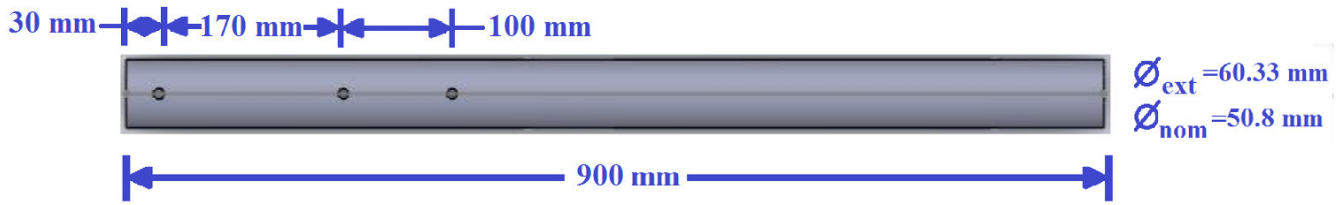


Imagen 50. Tubo grande de la base, vista superior, primer modelado

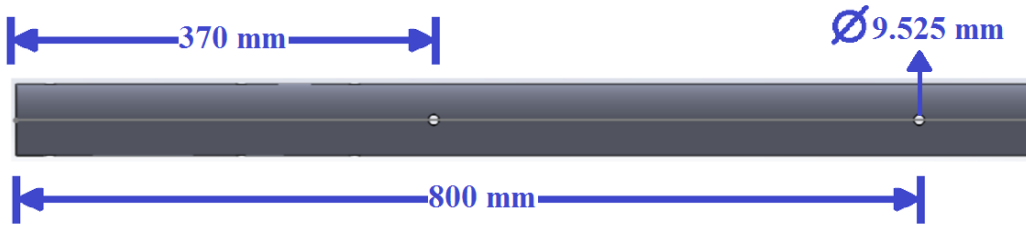


Imagen 51. Tubo grande de la base, vista lateral, primer modelado

El tubo más delgado tiene en total dos perforaciones de 9.525 mm de diámetro, están alineadas con el eje del tubo y perpendicular una a la otra, como bien se observa en las Imágenes 52 y 53.

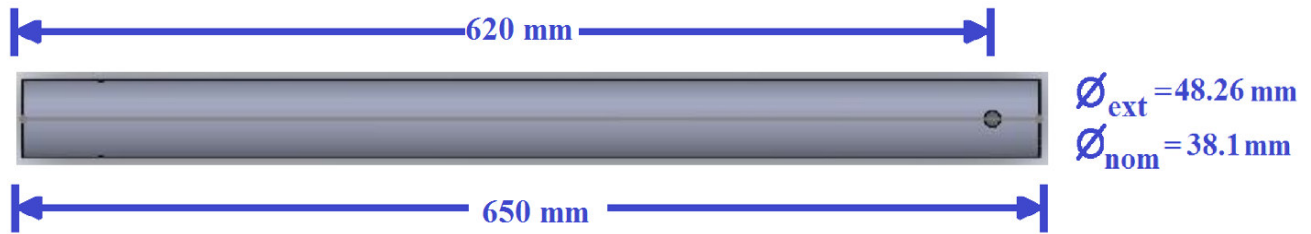


Imagen 52. Tubo chico de la base, vista superior, primer modelado



Imagen 53. Tubo chico de la base, vista lateral, primer modelado

4.2 Primer Ensamble

Las piezas anteriores, ya ensambladas, tienen el aspecto de la Imagen 54 sin incluir las llantas:

4.2.1 Altura máxima, erguida y extendida

Midiendo desde la parte más baja del tubo de la base hasta la parte más alta, tiene una altura máxima de 1.61 m, ya que se contempla que las llantas tengan una altura de 9 cm. Además la base tiene una longitud de 1.405 m, como se muestra en la Imagen 54.

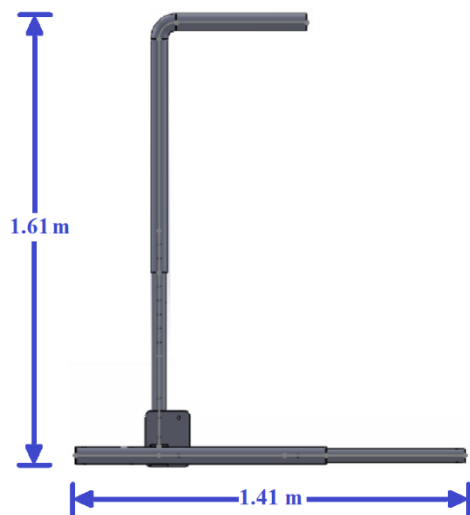


Imagen 54. Grúa en posición erguida, base extendida y altura máxima, primer ensamble

4.2.2 Altura mínima, erguida y extendida

Midiendo desde la parte más baja del tubo de la base hasta la parte más alta, tiene una altura máxima de 1.21 m, como se visualiza en la Imagen 55.

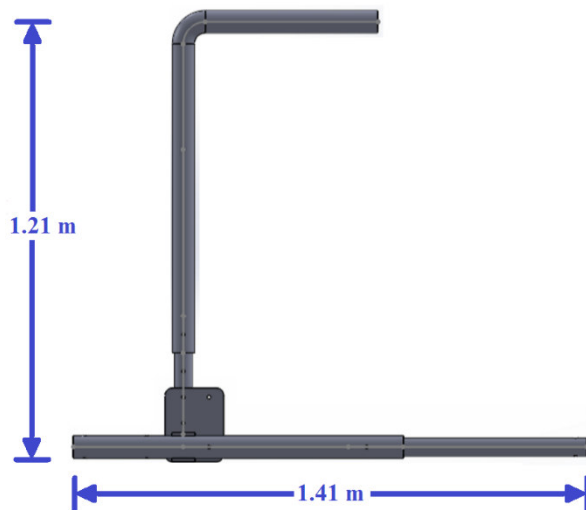


Imagen 55. Grúa en posición erguida, base extendida y altura mínima, primer ensamble

Ambas son las posiciones que se podría utilizar cuando se necesite la grúa en los casos extremos, es decir, cuando se necesite lo más alta o lo más baja posible. Por supuesto, que hay opciones intermedias con ajuste de 50 mm en 50 mm.

4.2.3 Altura mínima, acostada y extendida

En la Imagen 56 se observa la grúa en posición acostada y extendida, cabe destacar que tiene 0.6m de ancho porque es la longitud de la junta o conector. Midiendo desde la parte más baja del tubo vertical hasta la parte más alta, tiene una altura máxima de 0.56 m, como se observa en la Imagen 57.

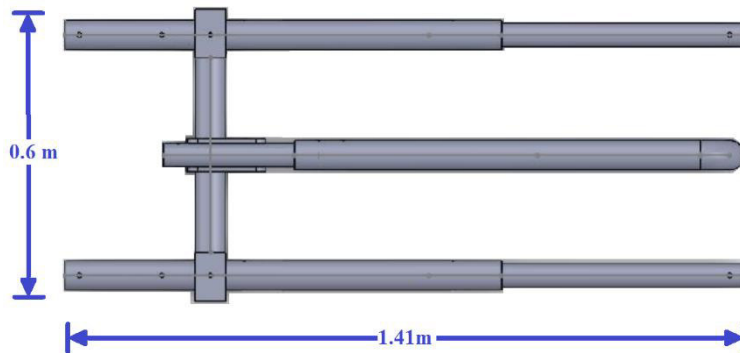


Imagen 56. Grúa en posición acostada, base extendida y altura mínima, primer ensamble, vista superior

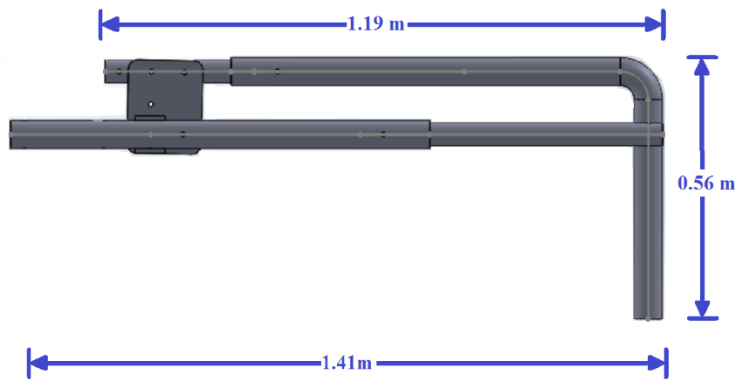


Imagen 57. Grúa en posición acostada, base extendida y altura mínima, primer ensamble, vista lateral

4.2.4 Altura mínima, acostada y base retraída

En la Imagen 58, la grúa se encuentra en la posición acostada y base retraída. Tiene una altura máxima de 0.56 m, visto en la imagen 59. La longitud total en esta posición es 0.97 m.

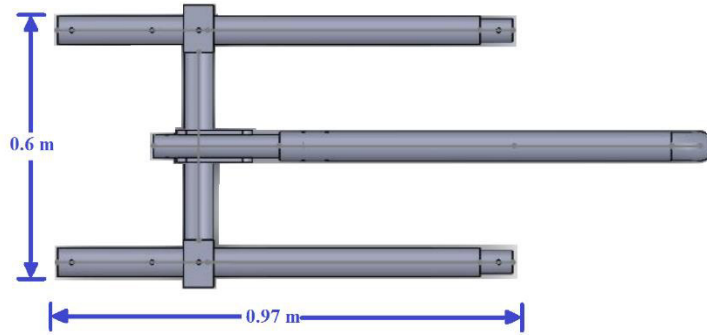


Imagen 58. Grúa en posición acostada, base retraída y altura mínima, primer ensamble, vista superior

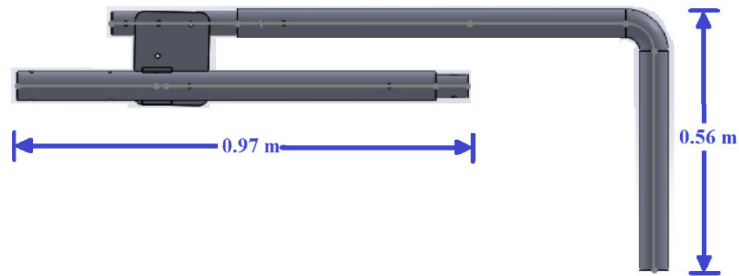


Imagen 59. Grúa en posición acostada, base retraída y altura mínima, primer ensamble, vista lateral

4.2.5 Acostada, base retraída y soporte superior desmontado

Con la intención de observar cómo se podría acomodar la grúa para que consuma menos espacio se ha propuesto, la siguiente configuración. Como se aprecia en las Imágenes 60,61 y 62.

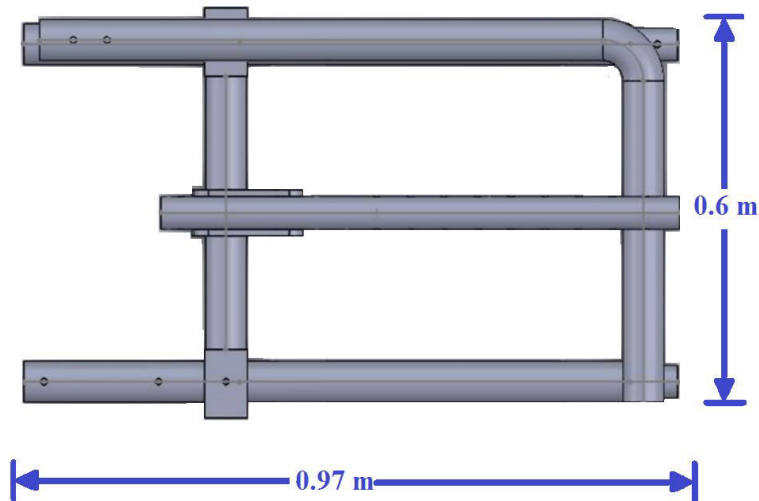


Imagen 60. Grúa en posición acostada, base retraída y soporte superior desmontado, primer ensamble, vista superior

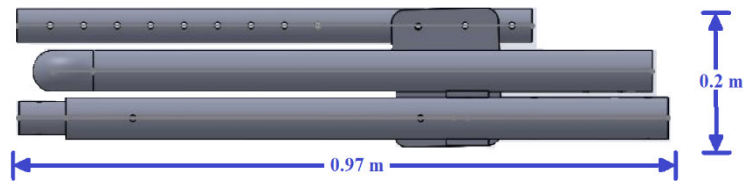


Imagen 61. Grúa en posición acostada, base retraída y soporte superior desmontado, primer ensamble, vista lateral

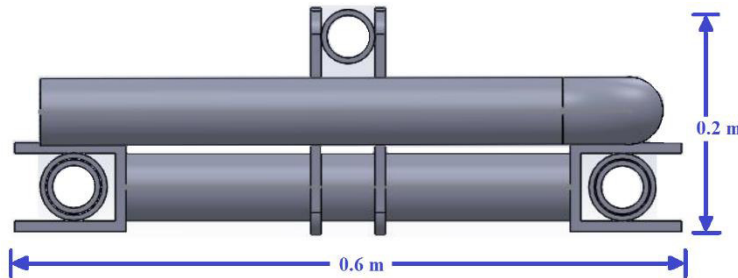


Imagen 62. Grúa en posición acostada, base retraída y soporte superior desmontado, primer ensamble, vista frontal

De esta forma, la altura máxima es de 0.2 m, de ancho 0.6 m y el largo es de 0.97 m. Y como bien se comentó en el capítulo 2, en la característica número 22, el volumen que utiliza estando plegado es pequeño.

4.2.6 Instrucciones de plegado y carencias

La secuencia para guardar la grúa será:

- Desmontar el soporte superior: Se retirarán los pernos entre el soporte superior y el poste y después se separarán ambos elementos.
- Poner el poste en posición horizontal: Se quitará el perno móvil de la solera que sostiene el poste, el poste se pondrá en posición horizontal y ese mismo perno se relocalizará en la perforación que está a un lado del perno fijo.
- Retraer los tubos de la base: Se retirará el perno de la base, es decir el que hace que el tubo chico no se deslice en el tubo grande, se desplazará el tubo de diámetro menor hacia dentro del tubo de diámetro mayor hasta que la perforación donde estaba el perno se vuelva concéntrica con el siguiente barreno y se colocará ahí el perno que se había retirado. Finalmente se repetirá el procedimiento con el otro tubo de la base.
- Colocar el soporte superior entre el poste acostado y la base: El soporte superior se colocará como se muestra en las imágenes 60,61 y 62.

Se observa que se necesitará alguna agarradera o manubrio para mover la grúa una vez erguida y esto sería con o sin el paciente elevado. Así mismo, falta cómo detener el soporte superior en la última configuración y se revisará alguna forma para poder manejar la grúa una vez plegada. También, en el próximo modelado ya se verá el sistema de apertura de la base.

Respecto al malacate, falta definir la placa donde se colocará el malacate y por dónde se atravesará el cable. Y lo evidente es que el próximo modelo ya tendrá ruedas. También se ha preferido no modelar los pernos, pero como se comentó son pernos con un diámetro de 9.525 mm y de grado SAE 8, obviamente tendrán largos diferentes y los móviles se fijarán con tuerca de mariposa, mientras los inamovibles con una tuerca de seguridad.

Como información adicional, se considera que las “C’s” de la junta son más largas que lo que realmente se necesita, por lo que se recortarán sin modificar la posición de los barrenos.

4.2.7 Propuestas concretas

A continuación se mostrarán los modelados de las ideas que se tienen para solucionar las problemáticas recién expuestas:

4.2.7.1 Agarraderas

Ya que el soporte superior se deslizará sobre el poste, y este último debe estar libre, las agarraderas deberán estar en el soporte superior. Otras consideraciones son que el cable pasará por dentro de la estructura por seguridad y estética, lo que se traduce en que las agarraderas deberán ir soldadas por fuera y no deberán modificar el interior del soporte superior. Así mismo, se considera que se necesita tener una posición más cómoda para girar la palanca del malacate y por ergonomía se decidió poner el malacate abajo y las agarraderas arriba, de tal forma que cuando alguien esté sosteniendo la palanca en la parte superior no chocará ni se lastimará el usuario con las agarraderas.

Un problema que pudiera haber es que dicha agarradera quede muy alta cuando esté en la altura máxima y algún usuario bajito no pueda sostenerla correctamente por lo que, tal vez, sea necesario poner una agarradera superior y otra inferior. Además, la palanca del malacate se deberá de poder girar relativamente suave, pero si llegara a ser el caso, se debería alargar un poco dicha palanca. Concluyendo, la posición exacta de una o ambas agarraderas se establecerá al final para evitar errores.

De forma preliminar, si es el caso de una agarradera sencilla. Se propone que sean dos tubos de 15 cm de largo y alrededor de 1 in de diámetro exterior y obviamente debería ser de aluminio para que los puedan soldar, dichas dimensiones se consideraron por pruebas de ergonomía que se hicieron.

Por lo que tentativamente quedaría como se muestra en las Imágenes 63 y 64.

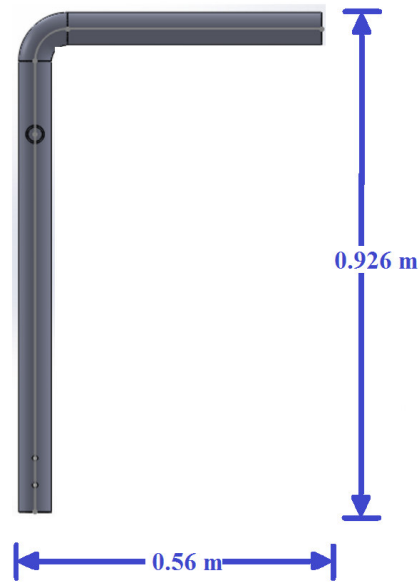


Imagen 63. Soporte superior con agarraderas, primera versión, vista lateral

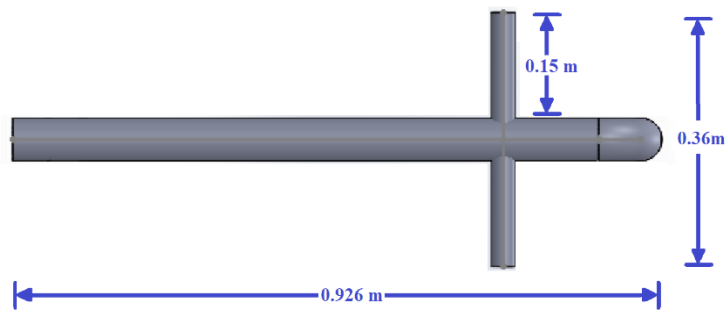


Imagen 64. Soporte superior con agarraderas, primera versión, vista posterior

4.2.7.2 Placa del Malacate

Se puede ver que el malacate cuenta con unas perforaciones en la placa, por lo que se propone sujetar de ahí.

Aunque no se sabe con gran certeza cuántas perforaciones tiene y en donde, se simulará que tiene las tres perforaciones que se observan en la Imagen 65 y otra que está debajo de dichas tres. Entonces, se propone que la forma de sujeción del malacate al soporte superior conste de dos piezas con un lado curvo, tres rectos y una placa con cuatro perforaciones.



Imagen 65. Malacate de manivela con cable

Como ya se comentó, dichas perforaciones podrían estar en otro lugar, pero se modificarán cuando se vea el malacate físicamente. Se optó por que el cable pase por dentro de la estructura por seguridad y estética, ya que si el cable está tenso y alguien llega a estar en contacto con él cuando esté en movimiento, la persona se podría lastimar o inclusive podría modificar la posición del cable. Los componentes de la placa estarán hechos de la solera que ya se había comentado, se considera que es lo suficientemente resistente ya que en todos los cálculos donde se analizaron las soldaduras con el electrodo de 3/16 in, están muy sobrados y no se consideran necesarios calcular este elemento. Así bien, estos componentes irán soldados al soporte superior para que no haya problema con el cable, ni con las poleas internas que se pondrán para que el cable corra ordenada y funcionalmente. Sabiendo que el cable irá por dentro del soporte superior, se contempla que el tambor del malacate quede arriba y que pase directamente por dentro del tubo. Se decidió no acotar las Imágenes 66 y 67 porque dependen de las dimensiones del malacate, las cuales se desconocen en este punto.

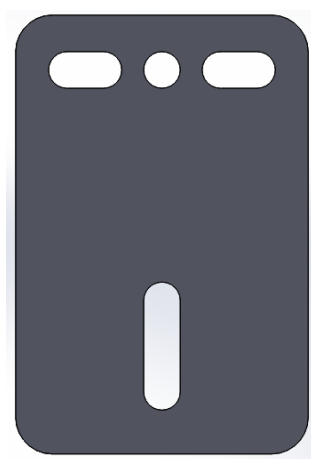


Imagen 66. Placa para el malacate

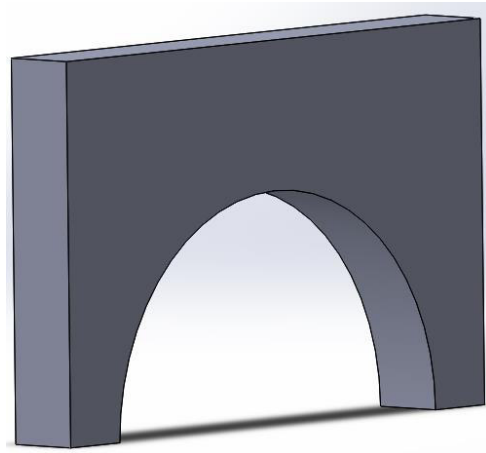


Imagen 67. Pieza curva para sujeción del malacate

Primero las dos piezas curvas paralelas se soldarán a la placa plana y después se soldarán las piezas al soporte superior, para finalmente atornillar el malacate a la placa. Como se aprecia en las Imágenes 68 y 69.

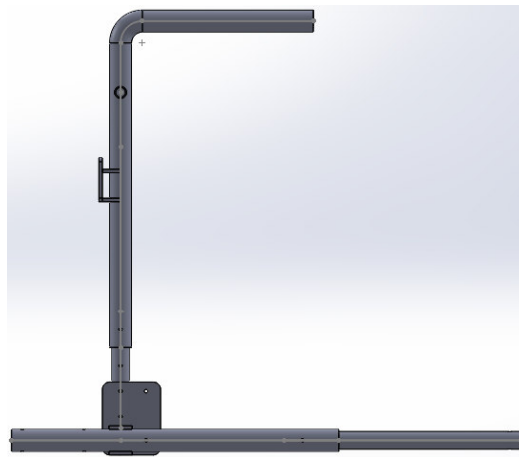


Imagen 68. Grúa con placa para macalate, vista lateral

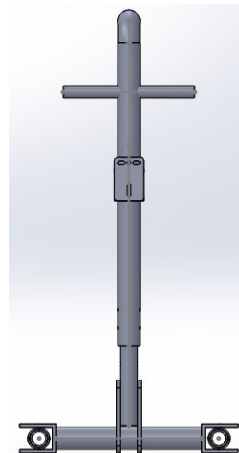


Imagen 69. Grúa con placa para macalate, vista posterior

4.2.7.3 Junta

Ya que la junta es la parte más ancha de la grúa, resultan excesivas las dimensiones de la junta, como se observa en la imagen anterior, por lo que se recortarán 3 cm de cada lado, teniendo el ancho que se muestra en la Imagen 70.



Imagen 70. Grúa con junta recortada, vista posterior

4.2.7.4 Llantas

Para tener una vista más realista, se modelará con ruedas. Cabe destacar que no necesariamente tendrán esa apariencia o altura exacta pero sí una similar a la de la Imagen 71.



Imagen 71. Grúa con ruedas, vista lateral

4.2.7.5 Mecanismo de apertura

Como ya se había comentado, también contará con un sistema de apertura, que consta de una palanca que será removible, dos soleras atornilladas que van conectadas por un tubo fijo entre ellas y un tubo adicional, que servirá como pivote, que va de la junta al tubo intermedio. Como se ve en las imágenes 72 y 73.

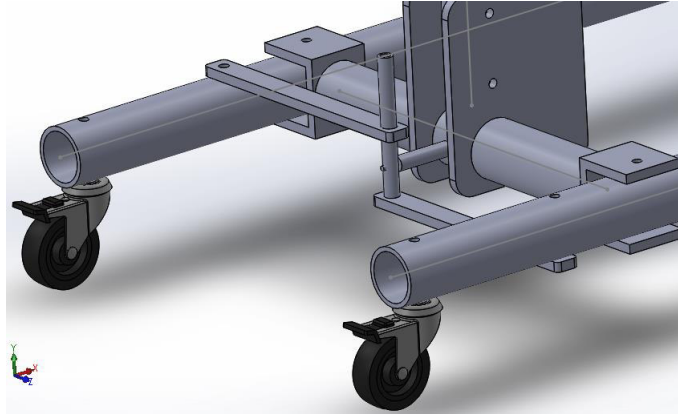


Imagen 72. Mecanismo de apertura



Imagen 73. Grúa con mecanismo de apertura, vista posterior

4.3 Búsqueda de material y revisión de costos

Esta sección es muy importante ya que permitirá hacer algunos cambios en caso de que los materiales planeados no estén disponibles.

4.3.1 Lista de materiales

Los elementos que se están contemplando hasta este punto son:

- Soporte superior
 - 1.4 m de tubo de perfil circular de aluminio 6061 con diámetro nominal de 50.8 mm y diámetro exterior de 60.33 mm, se considera que será rolado

- Sistema de elevación
 - 1 malacate trupper
 - 1 placa perforada para posicionar el malacate, hecha de solera de aluminio 6061 de 3/8 in de espesor
 - 4 tubos de aluminio 6061 de 15cm de largo y de 1 in de diámetro exterior
 - 2 placas curvas de aluminio 6061 para posicionar la placa perforada en el tubo, hechas de solera de 3/8 in de espesor
 - 5 poleas de aluminio menores a 4 cm de diámetro
 - 5 rodamientos, correspondientes a las poleas
 - 5 pernos grado 8 SAE (de acero de aleación de medio carbono T y R) de 1/4 in de diámetro y 3 in de largo
 - 10 rondanas planas de acero bajo carbono de 1/4 in
 - 5 tuercas de seguridad de acero de 1/4 in
 - 4 pernos grado 8 SAE (de acero de aleación de medio carbono T y R) de 3/8 in de diámetro y 1 in de largo (cantidad pendiente de confirmar)
 - 4 tuercas de seguridad de acero de 3/8 in (cantidad pendiente de confirmar)
 - 2 pernos grado 8 SAE (de acero de aleación de medio carbono T y R) de 3/8 in de diámetro y 3 in de largo
 - 2 tuercas de mariposa de acero de 3/8 in
- Poste
 - 77cm de tubo de perfil circular de aluminio 6061 de diámetro nominal de 38.1 mm y un diámetro exterior de 48.26 mm
- Junta
 - Estructura general
 - 2 “C’s”
 - 4 rectángulos de 7 cm x 6.6 cm de solera de aluminio 6061 de 3/8 in de espesor
 - 2 rectángulos de 8.6 cm x 6.6 cm de solera de aluminio 6061 de 3/8 in de espesor
 - 40 cm de tubo de perfil circular de aluminio 6061 con diámetro nominal de 50.8 mm y diámetro exterior de 60.33 mm
 - Sistema de plegado del poste

- 2 rectángulos de 21 cm x 16 cm de solera de aluminio de 6061 de 3/8 in de espesor
- 2 pernos grado 8 SAE (de acero de aleación de medio carbono T y R) de 3/8 in de diámetro y 3 in de largo
- 2 rondanas planas de acero bajo carbono de 3/8 in
- 1 tuerca de seguridad de acero de 3/8 in
- 1 tuerca de mariposa de acero de 3/8 in
- Sistema de apertura
 - 2 soleras de acero A36 de 1 in de ancho y 1/4 in de espesor, de 29 cm de longitud cada una
 - 2 pernos grado 8 SAE (de acero de aleación de medio carbono T y R) de 3/8 in de diámetro y 3 in de largo
 - 6 rondanas planas de acero bajo carbono de 3/8 in
 - 2 tuercas de seguridad de acero de 3/8 in
 - 15 cm de tubo de acero A36 de 1.5 cm de diámetro exterior
 - 70 cm de tubo de acero A36 de 1.5 cm de diámetro nominal para la palanca
 - 10 cm de solera de acero A36 de 1 in de ancho y 1/4 in de espesor con un tornillo o tubo pequeño soldado que servirá como pivote.
- Base
 - 2 tubos de perfil circular de aluminio 6061 con diámetro nominal de 50.8 mm y diámetro exterior de 60.33 mm de 90 cm de longitud cada uno
 - 2 tubos de perfil circular de aluminio 6061 de diámetro nominal de 38.1 mm y un diámetro exterior de 48.26 mm de 65 cm de longitud cada uno
 - 4 rodajas giratorias de poliuretano con freno que tengan un diámetro máximo de 9 cm que se fijen por espiga
 - 2 pernos grado 8 SAE (de acero de aleación de medio carbono T y R) de 3/8 in de diámetro y 3 in de largo
 - 2 tuercas de mariposa de acero de 3/8 in

4.3.2 Revisión de costos

A continuación se hará un desglosado de los costos más importantes, con impuestos incluidos para saber el precio real.

4.3.2.1 Consideraciones

Después de comunicarse y visitar varias empresas se llegó a la conclusión de que no se conseguiría el perfil cuadrado de aluminio con fines estructurales, al menos al menudeo, por lo que se optó por utilizar el perfil circular. Así que finalmente se redujo la búsqueda a Casa Sommer (Celaya) y La Paloma (Irapuato), sin embargo, en Casa Sommer no contaban con las dimensiones que se buscaban. También ya se comentó que los tubos se venden por 6.1 m o la mitad.

Adicionalmente, se quería rolar el tubo del soporte superior, sin embargo, después de buscar en varios talleres no se encontró algún lugar para rolar un tubo de tal diámetro nominal. Por lo que se buscó una alternativa y se optó por poner un codo galvanizado de tubería de cédula 40 que irá roscado entre el tubo vertical y el horizontal del soporte superior.

A pesar de que en DICIS se puede maquinar la mayoría de elementos para construir la grúa no se cuenta con el equipo óptimo para soldar aluminio por lo que se prefirió llevarlo a un taller externo.

Tabla 11. Suma de precios de la grúa sin detalles

Descripción	Precio
3.05m del tubo chico de aluminio 6061-T6 de diámetro nominal de 38.1 mm y un diámetro exterior de 48.26 mm y de cédula 80	\$951
6.1 m del tubo grande de aluminio 6061-T6 de diámetro nominal de 50.8 mm y un diámetro exterior de 60.33 mm de cédula 40	\$1600
4.77 kg de solera de aluminio 6061-T6 con grosor de 3/8in, un ancho de 203.2 mm	\$665
Malacate con manivela y cable de la marca trupper con una capacidad de 335 kg	\$459
4 rodajas giratorias con freno total de 3 in de diámetro y 1 ¼ in de ancho hechas de poliuretano para no rayar el piso con fijación por espiga de 2.5 in de largo y diámetro de ½ in (cuesta \$266 cada una)	\$1064
5 poleas de aluminio de 1.75 in de diámetro (tienen un costo de \$60 cada una)	\$300
5 rodamientos correspondientes, que tienen un diámetro exterior de 1 in y un diámetro interior de ¼ in (cuestan \$25 cada uno)	\$125
Codo galvanizado de tubería de cédula 40 que irá roscado entre el tubo vertical y el horizontal del soporte superior	\$79
Soldadura de aluminio (taller externo)	\$1500
Todos los pernos, rondanas, tuercas de seguridad y de mariposa	\$300
Total	\$7043

4.3.2.7 Subtotal y extras

Como se mostró en la Tabla 11, realmente ya se podría construir la grúa con \$7043, pero considerando que el límite de costo del dispositivo es \$8,000, evidentemente sobra dinero para incluir para otros accesorios como se observa en la Tabla 12.

Tabla 12. Suma de precios de la grúa con detalles

Descripción	Precio
El resto de los elementos	\$7043
Protecciones de caucho (para no golpear y proteger los muebles)	\$55
Lijas (para pulir la superficie una vez que ya esté terminado)	\$38
Pintura en aerosol (para que todo el dispositivo tenga color plateado)	\$54
Eslingas con ganchos (para conectar entre la grúa y el arnés con el paciente)	\$188
Nudos de cable	\$58
Total	\$7436

Haciendo la suma, se obtiene un total de \$7436, por lo que se concluye que este proyecto sí es factible en términos económicos ya que no supera el máximo establecido.

4.4 Mejoras

Con el objetivo de evitar algún problema en la construcción o uso se han propuesto las siguientes mejoras:

4.4.1 Soporte superior

A pesar de que el soporte superior sí es capaz de resistir el peso del paciente en términos de flexión, se considera más prudente reforzarlo con un soporte, y así no sólo asegurarlo teóricamente sino que el paciente no se sienta inseguro al ver que el soporte se flexiona. Por supuesto, en la siguiente sección se harán los cálculos para demostrar la afirmación anterior.

También se considera necesario poner un pequeño tope de caucho en el extremo para proteger al usuario, paciente y objetos con los que pudiera llegar a tener contacto el soporte.

Otra mejora que se propone es que el soporte superior tenga un tope de nylamid internamente situado a unos centímetros antes de la primera polea para que en caso de que el soporte superior se resbalara y cayera en el poste no dañe el cable, a la primera polea ni al poste tampoco.

Contemplando estas pequeñas mejoras lucirá como en las Imágenes 74 y 75.



Imagen 74. Grúa con las tres primeras mejoras, vista lateral estando erguida en la posición máxima

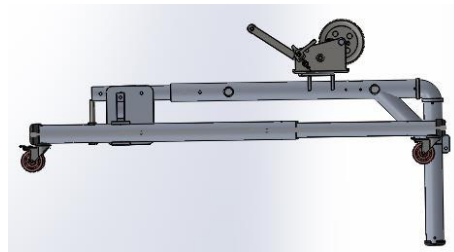


Imagen 75. Grúa con las tres primeras mejoras, vista lateral estando en posición horizontal

Sin embargo, se consideró que se le podría agregar una posición intermedia que se puede llamar “de guardado rápido”, en la cual sólo se le hace un corte a la parte vertical del soporte superior y se le agrega una bisagra en la parte superior y lateral para que no haya problema alguno con el momento que se generaría. La bisagra superior será la funcional, sin embargo, la lateral permitirá que se doble para un lado, que como se demostrará a continuación, es más conveniente. Sin plegar se vería como en la Imagen 76.



Imagen 76. Grúa con la cuarta mejora, vista lateral estando erguida en la posición máxima

El primer paso es bajar el soporte superior hasta la posición mínima permitida por el poste, como se visualiza en la Imagen 77.



Imagen 77. Grúa con la cuarta mejora, vista lateral estando erguida en la posición mínima

El segundo paso es quitar el perno superior para plegar la última parte del soporte superior, como bien se ve en las Imágenes 78y 79.



Imagen 78. Grúa con la cuarta mejora, vista lateral estando erguida en la posición mínima con el soporte superior plegado

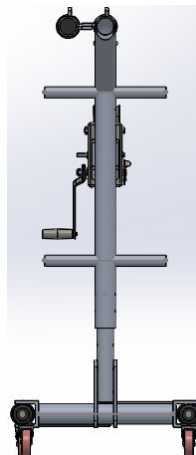


Imagen 79. Grúa con la cuarta mejora, vista frontal estando erguida en la posición mínima con el soporte superior plegado

Finalmente se quitará el perno de la solera inferior, se pondrá el poste en una posición horizontal y se colocará el perno en esta nueva posición, tal como se ve en las Imágenes 80 y 81.

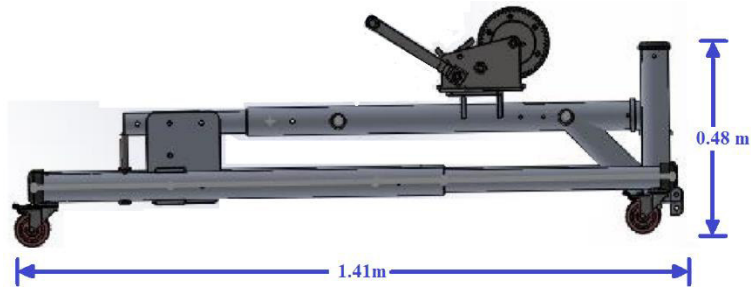


Imagen 80. Grúa con la cuarta mejora, vista lateral con poste horizontal en la posición mínima y el soporte superior plegado

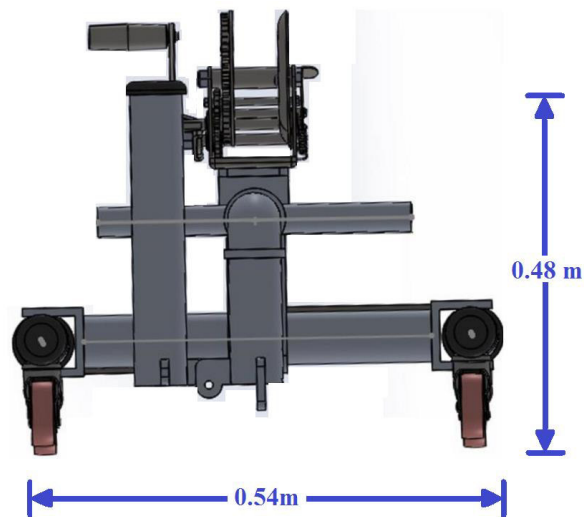


Imagen 81. Grúa con la cuarta mejora, vista frontal con poste horizontal en la posición mínima y el soporte superior plegado

De tal forma que la grúa tendrá 0.54 m de ancho, 1.41 m de largo y aproximadamente 0.48 m de altura, siendo así más conveniente para guardarla preliminarmente. Es importante resaltar que se dice que la altura es aproximada porque no se conocen las dimensiones exactas del malacate pero la altura del tubo plegado al suelo es 0.48 m.

4.4.2 Malacate

Como se sabe el malacate tendrá muchos más metros de cable enrollados de los necesarios, es decir, así viene de fábrica. Por lo que se considera necesario poner un tambor que podría ser de nylon sobre el tambor original para que el lugar donde se enrolla el cable tenga un diámetro mayor y en consecuencia haya menos vueltas de manivela y menos oportunidad de que se desacomode el cable ya que se podría traducir en un pequeño brinco en el momento que se cargue o baje al paciente. Otra razón sería para

limitar cuánto se desplazará el cable para llegar a la primera polea y asegurarse así que no habrá problema alguno al entrar por la ranura hecha en el soporte superior. En conclusión, se deberá cortar el cable para que sólo pueda subir y bajar lo necesario.

Así mismo, en caso de que una persona no muy fuerte gire la manivela para elevar el paciente y tenga que hacer un esfuerzo considerable, se alargará la manivela para que haya un mayor brazo de palanca y por ende se necesite ejercer menos fuerza.

Finalmente, sólo para asegurar de dos formas distintas, en el caso de que se suelte la manivela súbitamente no caerá el paciente, se cree que agregar la pieza de la Imagen 82 que servirá para que el paciente se sienta más seguro.

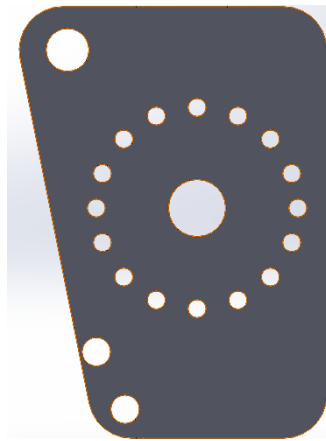


Imagen 82. Placa para malacate como seguro doble

La perforación más grande, en el centro, es de dónde se detiene la manivela y esta placa iría en el costado del malacate, el círculo formado por perforaciones permitirá colocar un seguro (parecido a un perno) al lado de la manivela, para que en el peor de los casos, si llegara a fallar el seguro original del malacate este nuevo seguro parara a la manivela. Por esta razón hay varias perforaciones, para que la manivela no alcance a rotar mucho y por ende el paciente casi no lo sienta. Cabe destacar que esta placa no necesariamente es exactamente la final ya que no se conocen muy bien las dimensiones del malacate que se comprará.

Como se comentó ese sería el doble seguro ya que el malacate cuenta con un sistema que sirve precisamente para impedir que la manivela se mueva sin ejercer fuerza en el sentido necesario, que es el mismo mecanismo que permite cambiar de sentido horario a antihorario. Como se muestra en la siguiente Imagen 83, aunque no sea exactamente el mismo malacate que se utilizará, tiene exactamente el mismo principio de funcionamiento. Consta de un trinquete que entra en cada espacio del engrane cuando éste va girando gracias a que alguien está ejerciendo fuerza en la manivela.

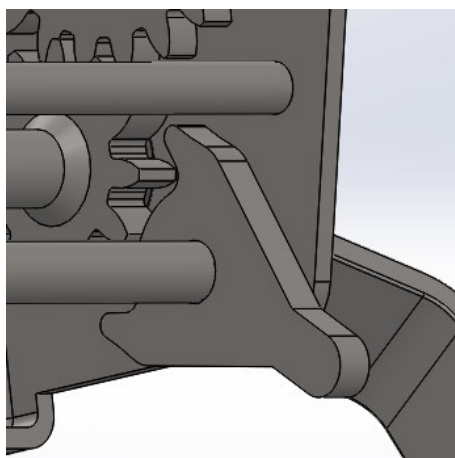


Imagen 83. Seguro original del malacate

4.4.3 Elevación del paciente

Después de analizar cuál sería la conexión entre el cable y el arnés del paciente, se llegó a la conclusión que se podría aprovechar el sobrante del tubo grande, como se observa en la Imagen 84.

De tal forma que por la perforación del medio pase el cable que tendrá un pequeño tope de nylamid para que no se pueda subir al paciente más de lo permitido y que no se averíe la primera polea por el nudo de cable que estará entre el tope de nylamid y el tubo. Por las otras dos perforaciones pasarán unas eslingas que en cada extremo tendrán unos ganchos que serán los que sostendrán finalmente el arnés.

Las eslingas pueden cargar sin mayor esfuerzo cientos de kilos, al igual que los ganchos. Ambos se compran en la ferretería, son ligeros, baratos y resisten mucho más de lo necesario por lo que no se consideran necesarios los cálculos para estos elementos.



Imagen 84. Tubo para cargar paciente

Los puntos rojos de la Imagen 85, corresponden a las perforaciones de las poleas, que en realidad son más grandes para que aprisionen al cable entre el tubo y la polea y así no será posible que el cable se salga de su lugar. La línea verde es el cable que en un inicio está parcialmente enrollado en el tambor doble del malacate, después se introduce al tubo por una perforación, el cable cambia de dirección gracias a las poleas y finalmente pasa a través de la perforación central del tubo de la Imagen 85. El extremo del cable se fija con un nudo de cable, que corresponde al punto negro que se ve en la Imagen 85 y las dos líneas azules corresponden a los topes de nylamid que protegen a las poleas.

El círculo morado corresponde al tubo de la imagen 84, mientras que las eslingas se dibujan de naranja y los ganchos que sostendrán el arnés son negros. La eslinga que esté más cerca de las piernas es ligeramente más larga que la del otro lado para que el paciente permanezca en una posición un poco más vertical cuando se alce y no se recueste totalmente como si estuviera en una hamaca.



Imagen 85. Grúa mostrando el sistema para elevar al paciente

4.4.4 Manejo de la grúa plegada

En este caso hay que resolver dos problemas, el primero es que cuando se pone la grúa en la posición mínima, es decir lista para llevar de viaje, el soporte superior se deslizaría sobre los tubos de la base y el segundo problema es que una vez plegada, sería más cómodo deslizarla que cargarla.

Para atacar la primera problemática sólo se necesitará comprar un clip en “O” como el mostrado en la Imagen 86.

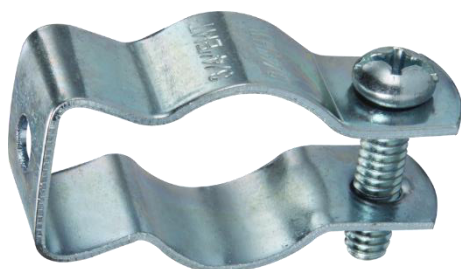


Imagen 86. Clip en “O” para sujetar el soporte superior

El cuál irá atornillado en la junta y detendrá la parte vertical del soporte superior. Adicionalmente se aprovechará la eslinga sobrante y se detendrá el ángulo del soporte superior, es decir, este pequeño tramo de eslinga irá fijo en el extremo del tubo grande de la base y “abrazará” al soporte superior entre la agarradera y el nuevo soporte para el ángulo, como eventualmente se observa en la Imagen 120. Y así, no se necesitará más material ni será considerablemente más pesado.

Para resolver la segunda problemática, se puede colocar eslinga con un gancho pequeño en cada extremo para que dichos ganchos vayan sujetos a las espigas de las llantas traseras y así al tirar de dicha eslinga la mayoría del peso quedaría en las dos llantas delanteras y se pueda empujar o jalar como si fuera una maleta.

4.4.5 Máximo ajuste

En caso de que el soporte superior y el poste presenten un poco de juego al deslizar o inclusive el tubo grande y el tubo chico de la base también lo presenten, se podrá utilizar un “forro” de nylamid para el elemento que desliza dentro.

Igualmente, se sabe que el tubo chico de la base al ser concéntrico con el tubo grande quedará unos milímetros más arriba por lo que será necesario hacer una pequeña compensación en las llantas delanteras, por lo que podría ser simplemente agregar unas rondanas en cada espiga delantera.

4.5 Cálculos finales

Como se había comentado previamente se repetirán los cálculos preliminares sin hacer suposiciones, para cerciorarse de la funcionalidad del dispositivo.

4.5.1 Centroide

Se calculará el centroide de la grúa completa estando erguida en la posición más alta con los tubos de la base paralelos, ya que sería el caso más crítico. Se llenará la Tabla 13 que ayudará a calcular el centroide de la grúa, pero primero se nombrará cada componente con una letra:

- A (la más cercana al origen) es la rueda trasera del fondo
- B es la rueda delantera del fondo
- C es la rueda trasera del frente
- D es la rueda delantera del frente
- E es el tubo grande de la base que está en el fondo
- F es el tubo grande de la base que está en el frente
- G es el tubo chico de la base que está en el fondo
- H es el tubo chico de la base que está en el frente

- I es la junta, compuesta por el tubo central y las dos “C’s”
- J es la solera del fondo que pivotea el poste
- K es la solera del frente que pivotea el poste
- L es el mecanismo que permite abrir la pase
- M es el poste
- N es el soporte superior
- O es el malacate que incluye las tres piezas de solera que le permiten fijarse al poste

Se considera que la tornillería tiene una masa insignificante en comparación a los otros elementos por lo que no se contempló.

Por lo que luciría como la Imagen 87.



Imagen 87. Grúa con nomenclatura para el llenado de la Tabla 13

Es importante aclarar la ubicación del origen que se tomó para llenar los valores de la Tabla 13, el cual está a nivel del “piso”, en el centro de la rueda A, justo a la mitad del ancho como se observa en la Imagen 88.

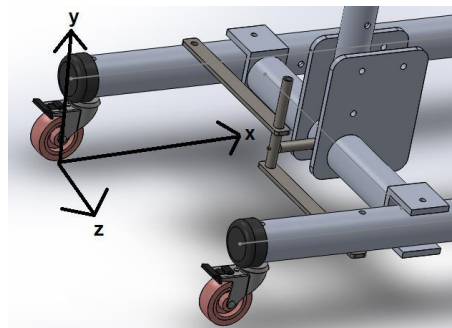


Imagen 88. Punto de referencia para medir las dimensiones

Todo en conjunto luce como en la Imagen 89.



Imagen 89. Grúa con nombres y ejes de referencia

Se procederá a rellenar los valores de la Tabla 13, sin embargo, se quiere aclarar que las columnas x,y,z corresponden a la posición en ese eje del centroide de la pieza en cuestión. Y las columnas xV, yV, zV son esos mismos valores multiplicados por el volumen.

Tabla 13. Tabla para calcular el centroide

Pieza	x(cm)	y(cm)	z(cm)	Volumen (cm ³)	Peso(g)	Densidad (g/cm ³)	xV	yV	zV
A	0	3.8	0	145	700	4.83	0	551	0
B	134	3.8	0	145	700	4.83	19430	551	0
C	0	3.8	50	145	700	4.83	0	551	7250
D	134	3.8	50	145	700	4.83	19430	551	7250
E	45.5	13	0	745	2011	2.71	33897.5	9685	0
F	45.5	13	50	745	2011	2.71	33897.5	9685	37250
G	107.5	13	0	446	1210	2.71	47945	5798	0
H	107.5	13	50	446	1210	2.71	47945	5798	22300
I	32	13	25	572	1550	2.71	18304	7436	14300
J	33.4	19.2	22	272	735	2.71	9084.8	5222.4	5984
K	33.4	19.2	27.7	272	735	2.71	9084.8	5222.4	7534.4
L	20.5	13	25	111	875	7.88	2275.5	1443	2775
M	30.3	54.7	25	786	2230	2.71	23815.8	42994.2	19650
N	39.6	145	25	2315	6250	2.71	91674	335675	57875
O	19.6	130	25	769	3080	4	15072.4	99970	19225
Σ	782.8	461.3	374.7	8059	24697	55.59	371856.3	531133	201393.4

Ahora bien, se necesitarán las siguientes ecuaciones para calcular finalmente la posición del centroide:

$$\bar{x} = \frac{\Sigma xV}{\Sigma V} = \frac{371856}{8059} = 46.14cm$$

$$\bar{y} = \frac{\Sigma yV}{\Sigma V} = \frac{531133}{8059} = 65.91cm$$

$$\bar{z} = \frac{\Sigma zV}{\Sigma V} = \frac{201393}{8059} = 25 cm$$

Es decir, que el centroide se encuentra en (46.14, 65.91, 25) cm, que es donde se muestra en la Imagen 90.

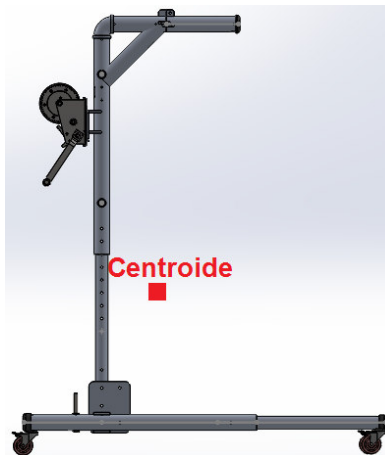


Imagen 90. Centroide de la grúa

Lo que se traduce en que la grúa no se volcará porque el centroide quedo casi a la mitad pero más importante, está “atrás” de donde se cargará al paciente. Inclusive si se llegara a aplicar la fuerza máxima generada por los 100 kg el nuevo centroide quedaría entre el cuadrado rojo y el extremo del soporte superior.

4.5.2 Soporte superior

La sumatoria de momentos respecto donde converge el soporte superior y la base es:

$$\sum M_{SS} = M_A - (100kg)(9.81 \frac{m}{s^2})(0.52413m) = 0$$

Por lo tanto:

$$M_A = (100kg) \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right) (0.52413m) = 514.17Nm$$

Considerando un factor de seguridad de dos, el módulo de sección mínimo que se podría utilizar es:

$$S = \frac{|M_{max}|}{\sigma_{max}} = \frac{514.17Nm}{120.5MPa} = 4.07 \times 10^6 m^3 = 4.27 cm^3$$

Por lo que el tubo de diámetro nominal de 38.1 mm y un diámetro exterior de 48.26 mm sigue siendo válido ya que tiene un módulo de sección de 4.431 cm^3 . En conclusión, el tubo más grande tendrá un factor de seguridad más de 2 veces más grande, por lo que el mecanismo telescópico robustecerá al soporte superior.

Respecto a la deformación del soporte superior, en estos cálculos ya está incluido el soporte en escuadra. Que tiene dos objetivos, el primero es apoyar al codo para que no toda la carga recaiga en él ni en la cuerda que le permite unirse al tubo y la segunda meta es que no se flexione exageradamente la parte de soporte superior más cercana al paciente.

Se considera que si el extremo del soporte superior se desplaza 6.8 cm verticalmente y 8.8 cm horizontalmente sería bastante por lo que se propone colocar un soporte en el ángulo de 90° . Dicho soporte formaría un triángulo rectángulo con dos ángulos de 45° y que el soporte esté a 33 cm del extremo del soporte superior. Como se modela en la Imagen 91.

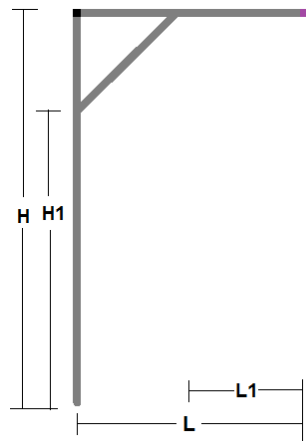


Imagen 91. Estructura simplificada con refuerzo

De tal forma que L es 0.52413 m, H corresponde a 1.55 m, $L1$ es 0.33 m y $H1$ equivale a 1.36 m. Se repetirán los cálculos y se considerará rígida la parte reforzada, tomando como apoyo la Imagen 92.

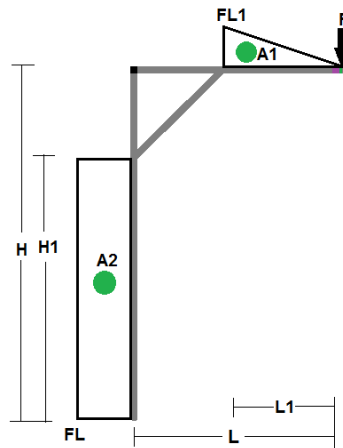


Imagen 92. Estructura simplificada con refuerzo con el peso del paciente aplicado, diagrama real

Para calcular el desplazamiento vertical se simula una fuerza vertical unitaria, tal como se observa la Imagen 93 y se hace uso de la siguiente ecuación.

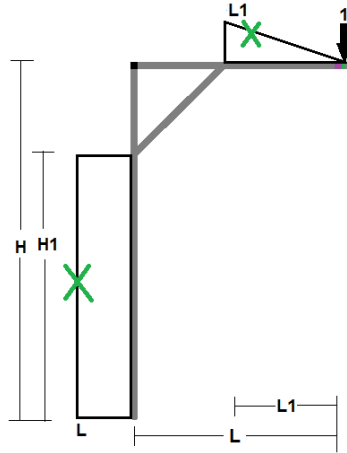


Imagen 93. Estructura simplificada con refuerzo con una fuerza vertical unitaria aplicada

$$IE \delta_V = A1 \left(\frac{L1}{3} \right) + A2(L) = \frac{FL1^2}{2} \left(\frac{L1}{3} \right) + H1FL(L)$$

Sustituyendo queda:

$$\frac{(1072.53N)(0.33m)^3}{6} + (1.36m)(1072.53N)(0.52413m)^2}{(10.7 \times 10^{-8} m^4)(69 \times 10^9 N/m^2)} = 0.055m$$

Respecto el desplazamiento horizontal, se modelará con la Imagen 94 y se resolverá con la ecuación mostrada a continuación.

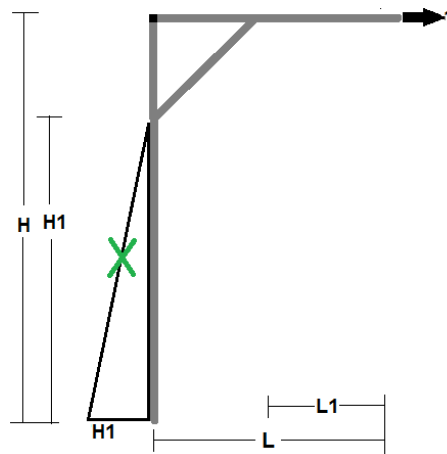


Imagen 94. Estructura simplificada con refuerzo con una fuerza horizontal unitaria aplicada

$$IE \delta_H = A1(0) + A2 \left(\frac{H1}{2} \right) = H1FL \left(\frac{H1}{2} \right)$$

Sustituyendo queda:

$$\frac{(1.36m)^2(1072.53N)(0.52413m)}{2(10.7 \times 10^{-8}m^4)(69 \times 10^9 N/m^2)} = 0.0704m$$

Se entiende que no cambiaron significativamente los desplazamientos respecto a los previamente calculados, sin embargo, las dimensiones están limitadas y son inamovibles y principalmente se demostró que los perfiles soportarán la carga. Adicionalmente, se comentó que este soporte tiene dos objetivos.

Para conocer el ángulo de rotación del extremo del soporte superior, se hace uso de la Imagen 95 y de la siguiente ecuación.

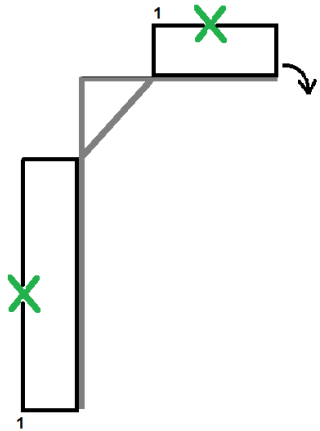


Imagen 95. Estructura simplificada con un momento unitario aplicado

$$IE \theta = A1(1) + A2(1) = \frac{FL1^2}{2} (1) + H1FL(1)$$

Sustituyendo queda:

$$\frac{(0.33m)^2(1072.53N) + 2(1.55m)(1072.53N)(0.52413m)}{2(10.7 \times 10^{-8}m^4)(69 \times 10^9 N/m^2)} = 0.1259 rad = 7.215^\circ$$

Se ha decidido no modificar la posición del soporte ya que uno de los requisitos es que el paciente no se golpee con la grúa y si se llegara a mover le podría estorbar dicho soporte.

Ahora bien, se revisará la solera superior, la que se encarga de sostener la mayoría del peso.

Se analizará la solera por flexión, el momento máximo al que se verá sometida será:

$$M_{max} = (490.5N)(0.011m) = 5.37Nm$$

Para conocer el grosor mínimo que podría tener la solera de la “C” se necesitará la siguiente fórmula, considerando que la sección transversal es rectangular.

$$\sigma_{max} = \frac{|M_{max}|}{S} = \frac{|M_{max}|}{\frac{bh^2}{6}}$$

El esfuerzo máximo permisible, teniendo un factor de seguridad de 2, es de 120.5 Mpa. Sustituyendo y despejando:

$$h = \sqrt{\frac{6|M_{max}|}{\sigma_{max}b}} = \sqrt{\frac{6(5.37Nm)}{(120.5 \times 10^6 Pa)(0.03m)}} = 3mm$$

Cabe destacar que la lámina que se propuso tiene un grosor de 9.525mm.

Posteriormente, se analizará por aplastamiento. Resulta complicado conocer el comportamiento con exactitud debido a la distribución de la carga en la superficie cilíndrica del remache. Sin embargo, como indica el Shigley [11]:

Los valores exactos de las fuerzas que actúan en el remache se desconocen, y por lo tanto se puede suponer que las componentes de las fuerzas están distribuidas de manera uniforme sobre el área de contacto proyectada del remache. Lo anterior significa que, para el esfuerzo:

$$\sigma = -\frac{F}{A}$$

donde el área proyectada de un remache individual es $A = td$. Aquí, t es el espesor de la placa más delgada y d es el diámetro del remache o perno. En la práctica estructural se evita la falla espaciando los remaches al menos 1 1/2 diámetros desde el borde. Por lo general, las conexiones con pernos se espacian una distancia aún mayor, para tener una apariencia satisfactoria; de aquí que este tipo de falla se desprecie con frecuencia.

Resolviendo la última ecuación:

$$A = \frac{\left(\frac{100kg}{2}\right)\left(9.81 \frac{m}{s^2}\right)}{72.3 \times 10^6 Pa} = 6.78 \times 10^{-6} m^2$$

El perno que se utilizará es de 3/8 in para poderlo manipular con facilidad, por lo que resulta la siguiente ecuación:

$$t = \frac{A}{d} = \frac{6.78 \times 10^{-6} m^2}{0.009525m} = 0.00071m = 0.71mm$$

Solamente se necesitará que esté como mínimo a 14.29 mm del borde. Es decir, que la solera debe tener una altura mínima de 23.8 mm por lo que se optó por 30 mm para poder girar la tuerca libremente.

Ahora se procederá a revisar las soldaduras de la bisagra por cortante y flexión:

La longitud de la soldadura sería de 3 cm, por lo que se sustituirá ese valor en las ecuaciones mostradas a continuación.

$$h = \frac{F}{\tau l} (\sin \theta \cos \theta + \sin^2 \theta) = \frac{490.5N}{72.3Mpa(0.03m)} (\sin 45^\circ \cos 45^\circ + \sin^2 45^\circ) = 0.226mm$$

$$h = \frac{F}{\sigma l} (\sin \theta \cos \theta + \cos^2 \theta) = \frac{490.5N}{120.5Mpa(0.03m)} (\sin 45^\circ \cos 45^\circ + \cos^2 45^\circ) = 0.136mm$$

La garganta (h) requerida a cortante sigue siendo muy pequeña, ya que se decidió utilizar el electrodo de 3/16 in (4.76 mm).

Finalmente se analizarán por flexión:



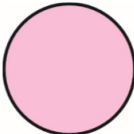

La fuerza cortante produce un cortante primario en las soldaduras de la magnitud resultante de las ecuaciones siguientes.

$$\tau' = \frac{V}{A} = \frac{490.5N}{(0.0048m)(0.03m)} = 3.43Mpa$$

$$\tau = \frac{(5.37Nm)(0.02m)}{0.707(4.76 \times 10^{-3})(2.25 \times 10^{-6}m^3)} = 14.18MPa$$

El último análisis del soporte superior que se hará respecta a la última parte del tubo horizontal, es decir la que se puede doblar. Por lo que se utilizará la Tabla 14 [11].

Tabla 14. Fórmulas del esfuerzo cortante máximo debido a flexión [11]

Forma de la viga	Fórmula	Forma de la viga	Fórmula
 Rectangular	$\tau_{\text{máx}} = \frac{3V}{2A}$	 Circular hueca con pared delgada	$\tau_{\text{máx}} = \frac{2V}{A}$
 Circular	$\tau_{\text{máx}} = \frac{4V}{3A}$	 Viga I estructural (con pared delgada)	$\tau_{\text{máx}} = \frac{V}{A_{\text{Alma}}}$

$$\tau_{\text{max}} = \frac{2V}{A} = \frac{2(981N)}{8.32 \times 10^{-4}} = 2.36Mpa$$

Por lo que tendrá un factor de seguridad de 30.65, en conclusión este elemento será muy seguro.

4.5.3 Base

Se reanalizarán las reacciones en las llantas con las siguientes ecuaciones:

$$4R = (24.7kg) \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right) + (100kg) \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right) = 1223.28N$$

Y la reacción en cada llanta en un caso ideal sería 305.82 N. Sin embargo, se está tomando como una suposición, para recalculer x.

Por lo que la sumatoria de momentos respecto a la rueda trasera queda:

$$\begin{aligned} \sum M_{R1} &= \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right) [-(9.33kg)(0.25m) - (15.37kg)(x + 0.25 m)(0.411) - (100kg)(0.78m)] \\ &= -2(305.82N)(x + 0.25 m) \end{aligned}$$

Cuando x se despeja su valor resulta de 1.18 m. Es decir, que la base tendrá en total, tentativamente, una longitud total de 1.43 m.

Sin embargo, con la intención de no modificar las dimensiones de la grúa, se decidió recorrer la perforación de la junta en la base 3 cm hacia atrás, es decir, el poste vertical quedará 3 cm más cercano a las llantas traseras. En conclusión, las dimensiones no se modifican, la base sigue midiendo en total 1.41 m y sólo se modificó la posición de dos barrenos.

Sustituyendo el valor de 1.19 en x, cambiando 0.25 m por 0.22m y haciendo la reacción de las ruedas delanteras la nueva incógnita, la ecuación anterior queda:

$$\begin{aligned} \sum M_{R1} &= \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right) [-(9.33kg)(0.22m) - (15.37kg)(1.19 + 0.22 m)(0.411) - (100kg)(0.75m)] \\ &= -2(y)(1.19 + 0.22 m) \end{aligned}$$

La reacción de una llanta delantera será de 299.03 N mientras que la reacción de una llanta trasera será 312.61 N, es decir, que están relativamente equilibradas por lo que no habrá inconveniente al desplazar al paciente una vez elevado y principalmente que sigue dentro del peso que puede soportar cada rueda. Finalmente, el diagrama de fuerza cortante y de momentos luce como se muestra en la Imagen 96.

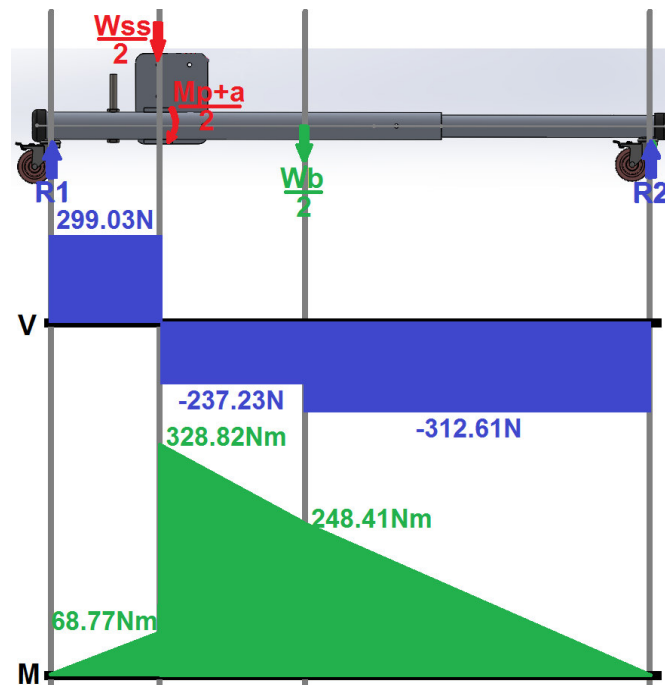


Imagen 96. Diagrama de fuerza cortante y de momentos de un tubo de la base

El momento máximo fue 328.82 m. Es decir, que el módulo de sección mínimo que podría tener es:

$$S = \frac{|M_{max}|}{\sigma_{max}} = \frac{328.82 Nm}{120.5MPa} = 2.73 \times 10^6 m^3 = 2.73 cm^3$$

Como se observa en el diagrama de momentos anterior, el momento máximo se encuentra donde la junta está en contacto con la base, que es a 0.22 m de la llanta trasera. Quiere decir que en ese lugar estará el tubo de diámetro nominal de 50.8 mm y un diámetro exterior de 60.33 mm y un módulo de sección de 9.157 cm³ por lo que es más robusto, estará sobrado y será bastante seguro.

4.5.4 Junta

El diagrama de fuerza cortante y momentos final en la junta tiene la apariencia de la Imagen 97.

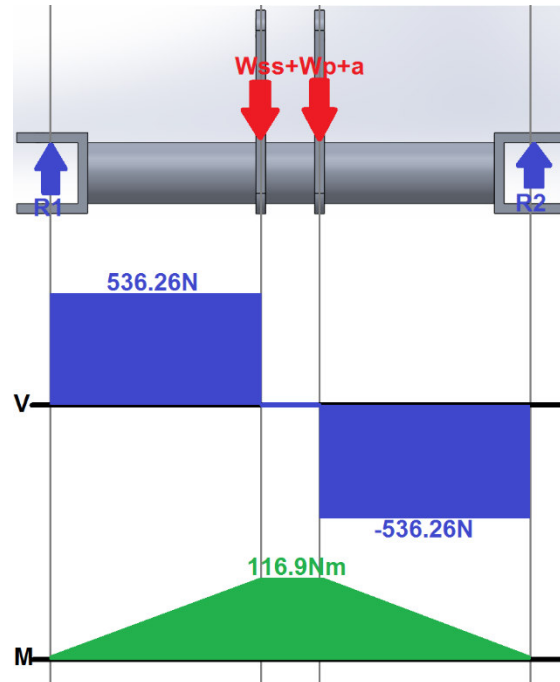


Imagen 97. Diagrama de fuerza cortante y de momentos de la junta

Resulta que el momento máximo es 116.9 Nm. Ya que el momento máximo estará presente en el tubo de diámetro nominal de 50.8 mm y un diámetro exterior de 60.33 mm con S de 9.157cm³

$$\sigma_{max} = \frac{|M_{max}|}{S} = \frac{116.9Nm}{9.157cm^3} = 12.77 MPa$$

El esfuerzo de fluencia del aluminio 6061 T6 es de 241 Mpa por lo que el factor de seguridad para este elemento es de 18.87.

Por lo que este tubo sigue siendo lo suficientemente robusto para dar la parte central de la junta.

Respecto al análisis de las soldaduras, como se observó en el capítulo 3, al utilizar el electrodo de 3/16 in las soldaduras soportarán las cargas y momentos, inclusive están bastante sobradas. Por lo que se decidió sólo volver analizar la soldadura más crítica, que es la que une al tubo central con la solera que soporta al poste y específicamente es el esfuerzo cortante nominal en la garganta por flexión:

$$\tau = \frac{(114.35Nm)(0.03m)}{0.707(0.0047m)(2.74 \times 10^{-5}m^3)} = 37.68MPa$$

El esfuerzo máximo permisible es 144.6 Mpa por lo que el factor de seguridad de la soldadura más crítica será 3.84.

Y con ésta última aseveración se dan por concluidos los cálculos, por lo que se realizarán las últimas modificaciones en el modelado.

4.6 Modelo 3D del producto

Ya se mostró en las imágenes anteriores cuáles serían los pasos y el aspecto del plegado preliminar, es decir, cuando se quiera guardar rápidamente y para no ser redundante se optó por mostrar cómo lucirá la grúa cuando esté en la posición de cuando abarque el menor espacio como se observa en las Imágenes 98, 99 y 100.

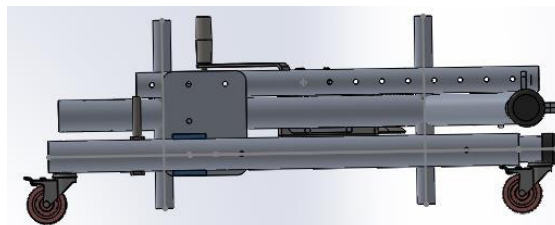


Imagen 98. Grúa en la posición mínima, vista lateral

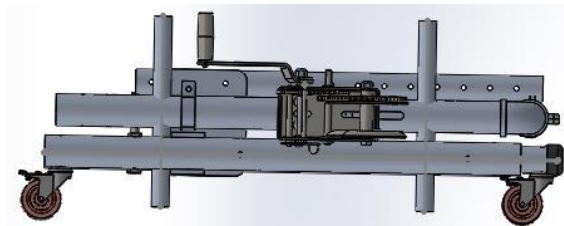


Imagen 99. Grúa en la posición mínima, vista lateral

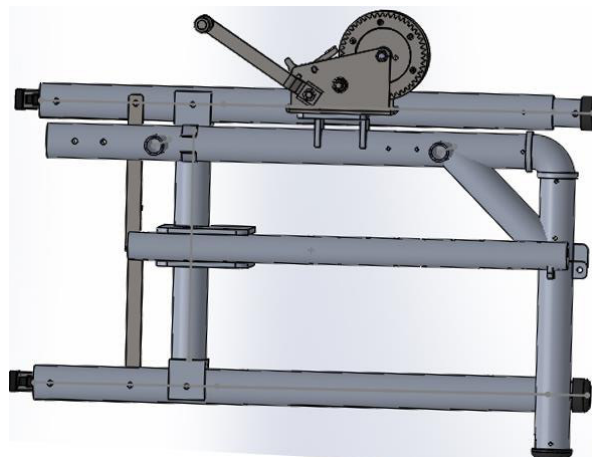


Imagen 100. Grúa en la posición mínima, vista superior

Capítulo 5: Fabricación del proyecto

5.1 Características particulares de las piezas

Una vez que los cálculos respaldaron la forma y dimensiones de las piezas, se mostrará cómo deberán lucir las piezas para posteriormente maquinarlas y ensamblarlas.

Se considera más conveniente ensamblar la grúa de abajo hacia arriba por lo que en ese orden estará la siguiente sección:

5.1.1 Base

Cada lado de la base está compuesta por dos tubos, dos ruedas, un protector de caucho y un perno de 3 in.

El tubo chico de perfil circular de aluminio 6061 tiene un diámetro nominal de 38.1 mm, un diámetro exterior de 48.26 mm y es de cédula 80, además tiene una longitud de 65 cm. Tal como se muestra en las Imágenes 101 y 102. Cuenta con tres perforaciones que atraviesan todo el tubo: en la perforación A se fijará la espiga de las ruedas, puesto que no se sabe el diámetro de la espiga queda pendiente de especificar.

Respecto a la perforación B, ésta sólo estará en el tubo de la base izquierda (considerando que la manivela está a la derecha) y servirá para colocar un perno de $\frac{1}{4}$ in de diámetro y de 3 in de largo, el cual tendrá una eslinga perforada de aproximadamente 0.25 m que tiene el objetivo de sujetar el soporte superior en el ángulo cuando la grúa esté completamente plegada.

Finalmente, por la perforación C pasará un perno de $\frac{3}{8}$ in de diámetro y de 3 in de largo.

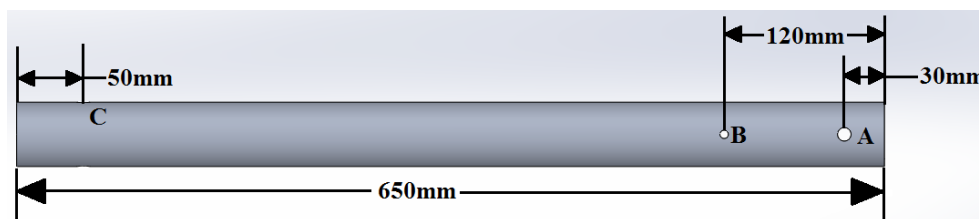


Imagen 101. Tubo chico de la base, vista superior

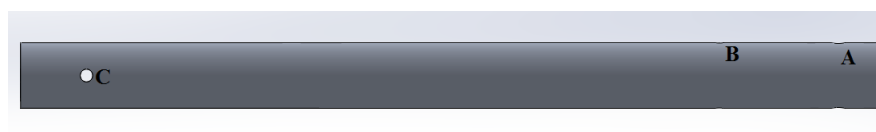


Imagen 102. Tubo chico de la base, vista lateral

Cabe destacar que todas las mediciones son tomadas desde el centro de las perforaciones.

Los pernos grado 8 SAE (de acero de aleación de medio carbono T y R) de 3/8 in y 1/4 in serán móviles por lo que se considera conveniente darle cierto chaflán a la punta para que sea más fácil introducirlos en las perforaciones. Además, dichos pernos se asegurarán con tuercas de mariposa de acero de 3/8 in y de 1/4 in, respectivamente.

Como se sabe éste tubo y el grande son concéntricos, por lo que el tubo chico estará 6mm arriba que el otro. En conclusión, se decidió colocar unas rondanas de 3/8 in en la espiga, entre la llanta y el tubo para que la grúa esté nivelada.

Cabe destacar, que aunque se quitara el perno que fija el tubo grande y el chico no se desarmaría la base, ya que la perforación en ambos tubos está a 5 cm de cada extremo, es decir, que el tubo chico se introduce 10 cm en el tubo grande.

Para asegurar bien las ruedas se colocarán dos tuercas de seguridad de 1/2 in que son las correspondientes a la espiga y el procedimiento será el siguiente:

Primero, se colocarán las rondanas que se consideren necesarias, después se introducirá la espiga hasta la mitad del tubo, se le colocará la primera tuerca de seguridad y se girará un poco de tal forma que la espiga pueda atravesar todo el tubo y finalmente se le pondrá otra rondana y la última tuerca de seguridad. De tal forma que ambas tuercas aprisionen el espesor del tubo.

Respecto al tubo grande, tendrá un diámetro nominal de 50.8 mm, un diámetro exterior de 60.33 mm, es de cédula 40 y tendrá una longitud de 0.9 m, como bien se observa en las Imágenes 103 y 104.

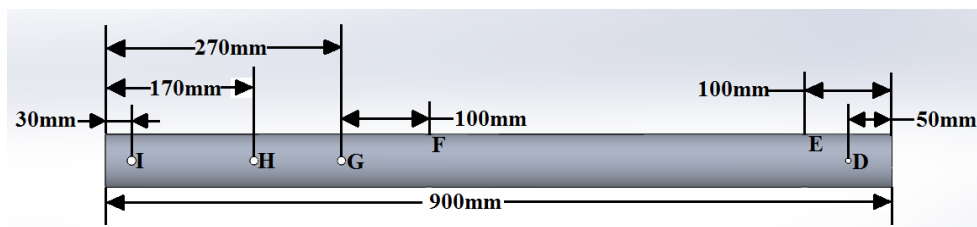


Imagen 103. Tubo grande de la base, vista superior

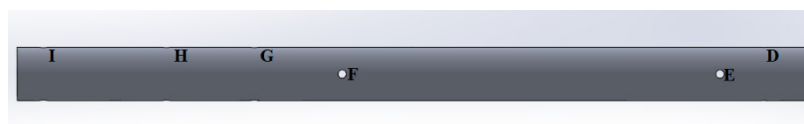


Imagen 104. Tubo grande de la base, vista lateral

La perforación D tendrá un diámetro de 1/4 in porque es la contraparte de la B (Imagen 101), que es la encargada de sujetar la eslinga.

Como se observa en las Imágenes 103 y 104, los barrenos E y F serán de 3/8 in de diámetro y ambos serán los responsables de fijar la posición del tubo chico, es decir, cuando el perno esté en E el tubo chico

estará extendido, mientras que estando en el F el tubo chico estará retraído. Una vez más, este perno será móvil por lo que se le hará un chaflán y utilizará una tuerca de mariposa.

Los pernos que estarán en los agujeros G y H tendrán un diámetro de 3/8 in, ambos serán inamovibles y tendrán una rondana en la parte superior y otra en la parte inferior del tubo. Así mismo, ambos se sostendrán con tuercas de seguridad. En el caso del G, sujetará la junta y en el del H sostendrá la barra que sirve para abrir la base.

Finalmente la perforación I, mantendrá la rueda trasera en su lugar y seguirá el mismo procedimiento que en el barreno A, el único cambio son las rondanas del desnivel ya que en este caso no se utilizarán. Como paso final, se colocarán los cauchos protectores en el tubo chico y se fijarán con un poco de pegamento.

A modo de nota, si se considera que hay mucho juego entre el tubo chico y el grande, será conveniente maquinar un tubo de pared delgada de nylamid el cual estará fijo al tubo chico.

5.1.2 Junta

La junta tendrá la apariencia de la Imagen 105.

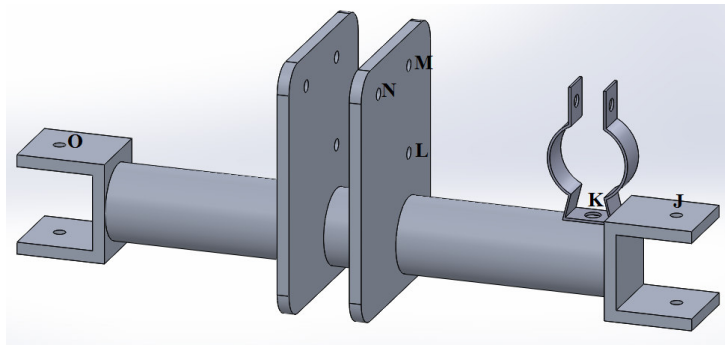


Imagen 105. Apariencia final de la junta

Hay que recordar que se decidió utilizar el electrodo de 3/16 in para todas las soldaduras.

Respecto a las perforaciones, todas atravesarán totalmente y además todas serán de 3/8 in, la única que queda pendiente de definir es la K porque no se sabe exactamente el diámetro del orificio del clip.

El tubo central de perfil circular de aluminio 6061 tendrá un diámetro nominal de 50.8 mm, un diámetro exterior de 60.33 mm, es de cédula 40 y tendrá una longitud de 0.4 m. Mientras que la solera es de aluminio de 6061 y de 3/8 in de espesor.

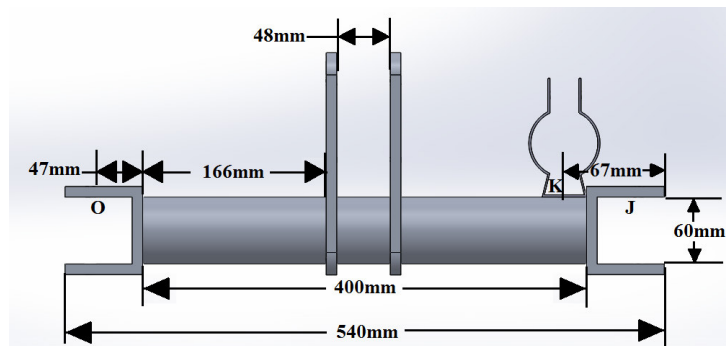


Imagen 106. Junta, vista frontal

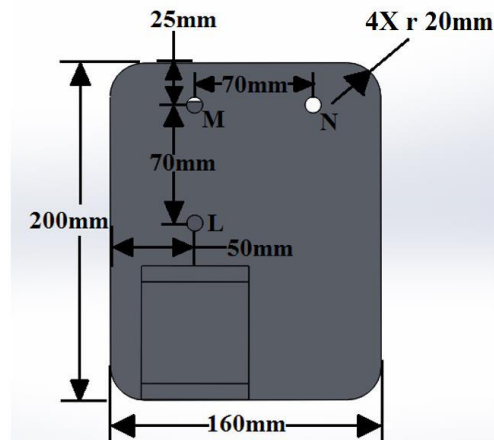


Imagen 107. Junta, vista lateral

Como se observa en las Imágenes 106 y 107, las soleras de aluminio de 6061 y de 3/8 in de espesor tendrán 3 perforaciones de 3/8 in y otra de 60.33 mm de diámetro, que es donde se colocará el tubo, la perforación más grande estará ubicada a 40 mm del borde inferior. Adicionalmente, ambas soleras serán idénticas, ver Imagen 47.

Para fijar los tubos a la junta se necesitará un perno de 3/8 in de diámetro, dos rondanas y una tuerca de seguridad.

5.1.3 Mecanismo de apertura

El principio de funcionamiento de este mecanismo es que cuando dos barras paralelas se empujan, respecto a un pivote, podrán abrir o cerrar los tubos de la base. Finalmente se consideró que sería más sencillo utilizar un tramo de la solera de acero que se usará para dichas barras, ya que en el taller de la Universidad se puede soldar con más facilidad el acero que el aluminio.

La solera que se menciona es de acero A36 de 1 in de ancho y 1/4 in de espesor, por lo que a la junta justamente en la parte central se le deberá hacer una perforación con las mismas dimensiones.

Se considera que esta perforación no pondrá en juego la resistencia de la junta, ya que según la ecuación 83 se tiene un factor de seguridad de 18.87 por lo que el tubo está sobrado y se considera que aún con

esta perforación será lo suficientemente seguro y seguirá alejado del factor de seguridad de 2 que es con el que se ha trabajado.

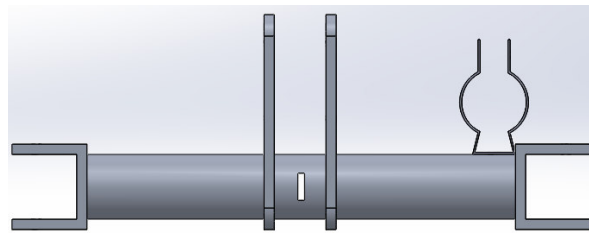


Imagen 108. Junta con perforación para pivote, vista frontal

Como se observa en la Imagen 108, de tal forma que por esta perforación atravesará un trozo de solera con un perno o cilindro pequeño soldado en el extremo para que sirva como pivote, después se perforará el tubo de diámetro menor y posteriormente se fijará con una tuerca o tope para que no se pueda deslizar el tubo. Las dos perforaciones en la solera serán de $\frac{1}{4}$ in de diámetro y por ellas pasarán unos pernos de $\frac{1}{2}$ in de largo que funcionarán como topes para que no cambie su posición de la pieza de la Imagen 109.

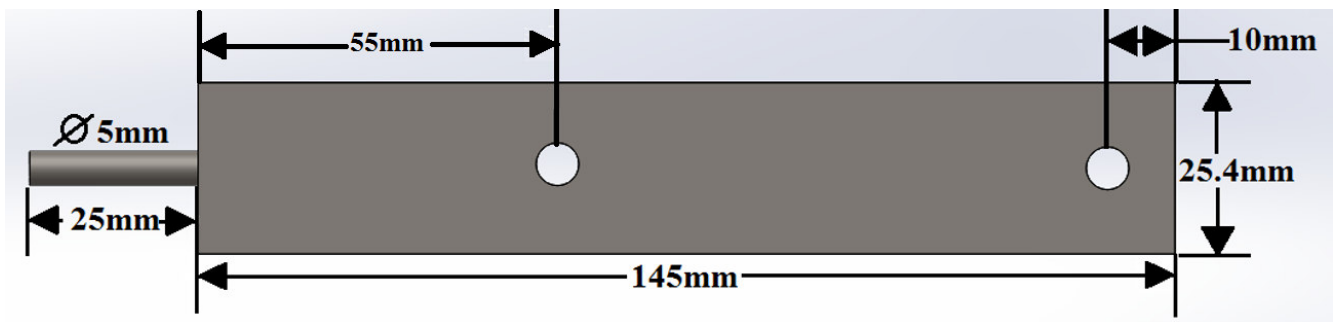


Imagen 109. Solera de acero con pivote para mecanismo de apertura

Por lo que tendrá la siguiente apariencia:

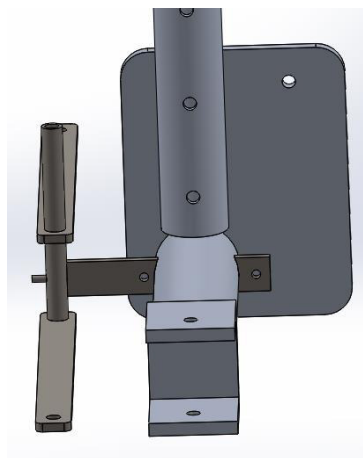


Imagen 110. Mecanismo de apertura, la vista es lateral inclinada para que se vea la "C" y el tubo de la junta.

El tubo que servirá como pivote será de 15 mm de diámetro exterior y será de acero, como se visualiza en la Imagen 111.

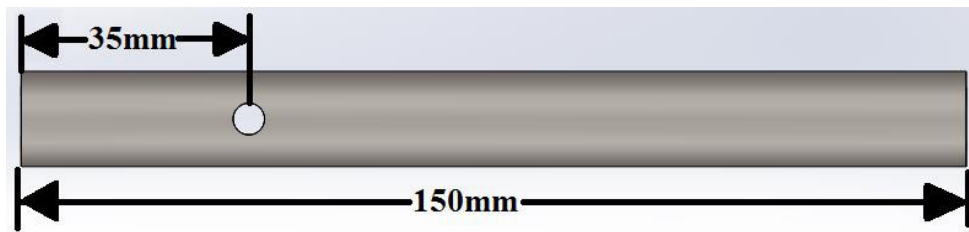


Imagen 111. Pivote del mecanismo de apertura

Finalmente, las dos soleras serán idénticas y de acero con un espesor de $\frac{1}{4}$ in, 1 in de ancho y 277 mm de largo. La perforación chica es de $\frac{3}{8}$ in y la grande es de 15 mm de diámetro.

El barreno chico será concéntrico con la perforación H (Imagen 103) y serán atravesados por un perno grado 8 SAE (de acero de aleación de medio carbono T y R) de $\frac{3}{8}$ in de diámetro y de 3 in de largo y tendrá 3 rondanas planas de acero de $\frac{3}{8}$ in de para que pueda girar sin problema. En la perforación grande irá colocado el tubo de pivote, como se observa en la Imagen 112.

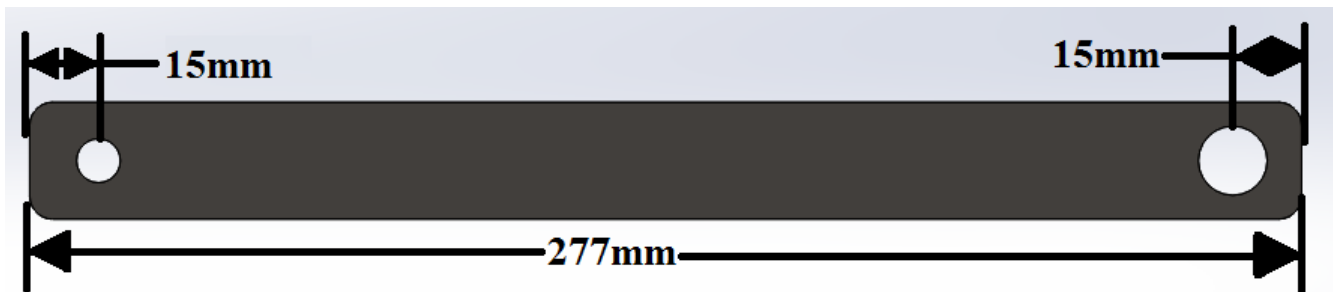


Imagen 112. Solera del mecanismo de apertura

Una vez que se hayan colocadas las soleras se colocarán unos topes en el tubo del pivote para que no cambien su posición las soleras.

5.1.3 Poste

Consta de un tubo de perfil circular de aluminio 6061 con un diámetro nominal de 38.1 mm, un diámetro exterior de 48.26 mm y es de cédula 80, además tiene una longitud de 0.77 m.

Como se ve en la Imagen 113, todas las perforaciones son de $\frac{3}{8}$ in de diámetro. Las primeras tres, de izquierda a derecha, están espaciadas por 70 mm, mientras que las otras nueve tienen 50 mm entre una y otra.

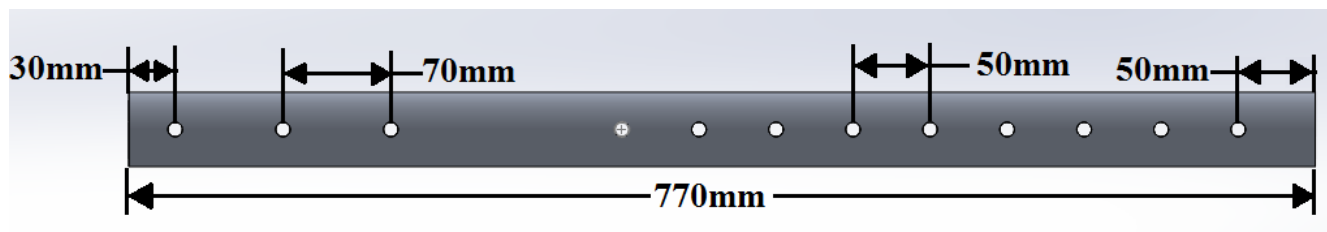


Imagen 113. Poste

5.1.4 Soporte superior

Como se visualiza en la Imagen 114, el soporte superior consta de una estructura compuesta en su mayoría por un tubo de perfil circular de aluminio 6061 con diámetro nominal de 50.8 mm y diámetro exterior de 60.33 mm y es de cédula 40. Además de tener un codo galvanizado, por lo que se le deberá poner la cuerda correspondiente a los tubos para que el codo pueda sujetarlos.

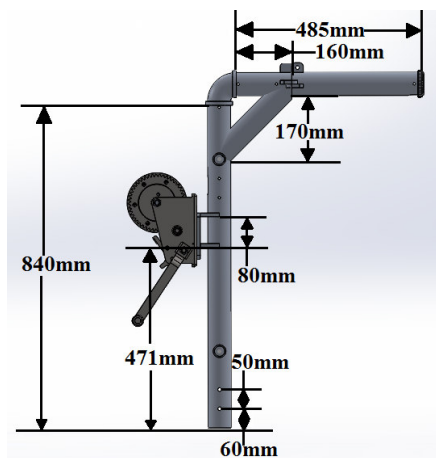


Imagen 114. Soporte superior, vista lateral

Hay que tomar en consideración que la mayoría de usuarios no son zurdos, por lo que la manivela se pondrá del lado derecho, de acuerdo a las Imágenes 115 y 116.

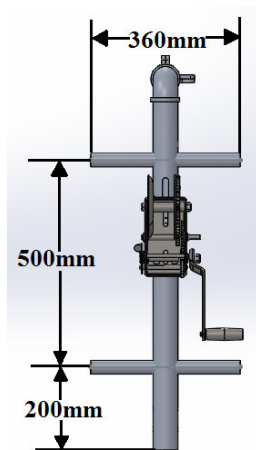


Imagen 115. Soporte superior, vista trasera

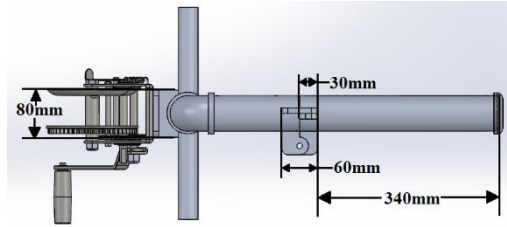


Imagen 116. Soporte superior, vista superior

5.1.5 Sujeción

El tubo de perfil circular de aluminio 6061 que es el tubo para cargar al paciente (Imagen 116), tiene un diámetro nominal de 50.8 mm, un diámetro exterior de 60.33 mm y es de cédula 40.

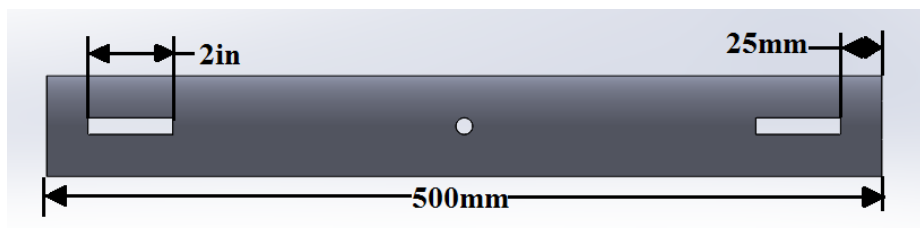


Imagen 117. Tubo para cargar al paciente

La perforación circular estará justamente en eje longitudinal del tubo y será de 10mm de diámetro, por la cual pasará el cable. El procedimiento para colocar el cable, es primero se colocará un tope de nylamid, después se atravesará el tubo y finalmente se pondrá el nudo del cable.

Las eslingas que se comprarán son de 2 in de ancho, una vez que se hayan pasado por el tubo se le colocarán los ganchos.

5.2 Construcción

Como se comentó previamente, se iniciará la construcción de abajo hacia arriba.

Primero se armó completamente la base, donde sí se consideró necesario utilizar el nylamid para que no hubiera juego entre los dos tubos.

Posteriormente, se cortó el tubo de la junta a la longitud deseada y se le hizo la perforación donde va el pivote, las soleras se cortaron y se les hizo un asiento en forma de círculo para que fuera más sencilla la soldadura del aluminio. Después se armó el mecanismo de apertura de la base, como se ve en la Imagen 118. Se cortó y perforó el poste y se le hizo una mejora en este caso. Se consideró que sería conveniente que el poste cuando estuviera en posición horizontal sostuviera el tubo de pivote para mantener los tubos de la base paralelos y que el traslado sea más sencillo cuando la grúa esté plegada.



Imagen 118. Poste con muesca para detener pivote

Para que no hubiera juego entre el soporte superior y el poste, también se optó por utilizar nylamid. Después, se cortaron los tubos del soporte superior, se hicieron las perforaciones para las poleas y se colocaron, para posteriormente hacerle rosca a los tubos y que fueran colocados en el codo. Se cortaron los tubos y las soleras del soporte superior y finalmente se soldaron estas piezas y la junta en el otro taller.

Una vez que se tuvo todo lo necesario soldado, se ensambló y pasó el cable por dentro de la estructura. Posteriormente, se hizo un tope de nylamid que va dentro del soporte superior y se fijó.

Se hicieron pruebas para cortar el cable para que estuviera dentro del rango de movilidad que se decidió desde el inicio. Antes de cortarlo, se le hizo un tambor de nylamid al malacate para que no se necesitara enrollar en tantas vueltas el cable, se volvieron a hacer pruebas y finalmente se cortó el cable. Además se maquinó el segundo seguro para el malacate.



Imagen 119. Proceso de construcción de la grúa

En la Imagen 119, se observa el proceso de la construcción de la grúa en el cual me apoyaron Juan y Miguel, trabajadores del taller.

Se maquinó el tubo que llevaría las eslingas y también el tope de nylamid, se introdujo el cable en el tope, después en el tubo y se le pusieron los nudos de cable, para después pasar las eslingas. En las eslingas fue necesario poner unos toques para que no se deslizaran en las perforaciones.

Finalmente se le colocaron las protecciones de caucho y se cortó un trozo de eslinga y se le pusieron los ganchos para poder manejar la grúa cuando estuviera plegada, como se observa en la Imagen 120.



Imagen 120. Grúa estando plegada

5.3 Pruebas

Las pruebas que se hicieron fueron aumentando de peso. En un inicio se comenzó con un yunque de 25 kg y después se le agregó otra pesa, como se observa en la Imagen 121.



Imagen 121. Segunda prueba de resistencia

La tercera prueba de resistencia fue conmigo que peso 63 kg, como se ve en la Imagen 122.



Imagen 122. Tercera prueba de resistencia

En este punto se consideró necesario aumentar la longitud de la manivela para que el usuario no tenga que hacer un esfuerzo significativo al girar la palanca. Y finalmente la cuarta prueba con Miguel, como se visualiza en la Imagen 123.



Imagen 123. Cuarta prueba de resistencia

5.4 Resultados

Se obtuvieron los resultados que se habían planteado en la lista de requisitos del capítulo dos, por lo que se considera que esta tesis tuvo un resultado positivo.

Inclusive se pesó la grúa ya armada , como se observa en la Imagen 124, y se obtuvieron alrededor de los 25 kg, tal como se ve en la Imagen 125.



Imagen 124. Pesaje de la grúa

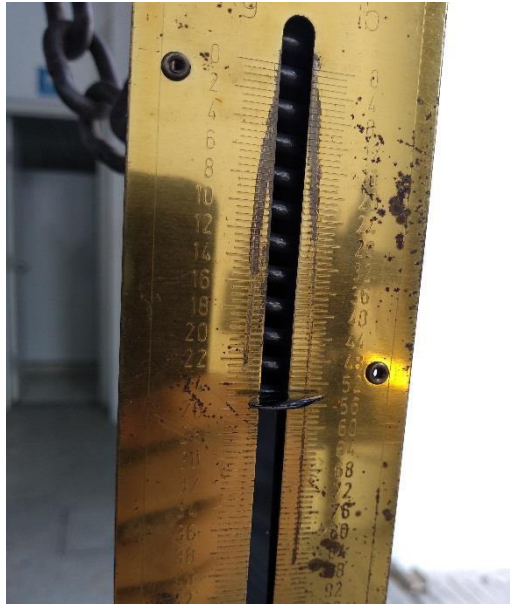


Imagen 125. Resultado de la báscula

Finalmente los usuarios son mis tíos y primo y desde un inicio les mostré el modelado en Solidworks de la grúa y les gustó y cuando se les hizo entrega del dispositivo estaban bastante satisfechos porque era lo que esperaban.

5.5 Recomendaciones/ Mejoras

Se considera que si se hubiera utilizado el perfil cuadrado, especialmente para la base, hubiera sido mejor para que pudiera pasar por debajo de más camas. Sin embargo, en esta ocasión no se encontró dicho perfil.

Es decir, sí se cumplieron todas las especificaciones. Ya que se tomaron las mediciones de varias camas, y todas cuentan con una altura del piso al box mínima de 15 cm, sin embargo habrá excepciones porque no se puede controlar a qué lugar irá mi primo y más que nada saber con plena certeza en qué cama se acostará. Inclusive hay camas que no tienen espacio entre el box o el suelo, como las que tiene otro colchón abajo o cajones. En conclusión, la grúa funcionará para la mayoría de camas pero habrá, como en todo, algunas excepciones.

Referencias

Publicaciones impresas

- [1] ASM International, ASM Handbook: Volume 2, Properties and selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials, 1990
- [2] C.R. Juvinall y K.M. Marshek, *Fundamentals of Machine Component Design*. 6ª edición. EUA: Willey, 2017
- [3] E. Oberg, *Machinery's Handbook*, 30ª edición. EUA: Industrial Press, 2016
- [4] E. P. Popov y T.A. Balan, *Mecánica de sólidos*. 2ª edición, México: Editorial Pearson Educación, 2000.
- [5] I. Miropolov, *Problemas de resistencia de materiales*. 1ª edición. Moscú: Editorial Mir, 1978.
- [6] I.I. Artovolebolevski, *Mecanismos en la técnica moderna*, 1ª edición. Moscú: Editorial Mir, 1981.
- [7] J.M. Gere y S.P. Timoshenko, *Mecánica de Materiales*. 2ª edición, México: Grupo Editorial Iberoamérica, 1986.
- [8] J.M. Gere, *Mechanics of Materials*, 6ª edición. EUA: Thomson Learning Inc, 2004
- [9] K. Lingaiah, *Machine Design Databook*, 2ª edición. EUA: McGraw-Hill, 2013
- [10] P. Stipin, *Resistencia de materiales*. 1ª edición, Moscú: Editorial Mir, 1968.
- [11] R. Budynas y K. Nisbett, *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*. 8ª edición. México: McGraw-Hill., 2014.
- [12] R.L. Mott, *Machine Elements in Mechanical Design*, 4ª edición. EUA: Pearson Educación. 2004
- [13] R.W. Fitzgerald, *Mecánica de Materiales*. 2ª edición, México: Editorial Alfaomega, 1996.
- [14] V.I. Feodosiev, *Resistencia de materiales*, 1ª edición. Moscú: Editorial Mir, 1988

Material disponible en internet

- [15] Abuelo cómodo, “Diferentes modelos de grúas”. [En línea]. Disponible en: <https://abuelocomodo.com/> [Consultado el 14 de enero del 2020]
- [16] Abuelo cómodo, “Grúa mecánica”. [En línea]. [https://abuelocomodo.com/videos/?utm_campaign=Cotizacion%20con%2010%20d%C3%ADas%20\(HyxqPZ\)&utm_medium=email&utm_source=Flow%20Prospectos%20Unbounce%201%2F10%2F2018&_ke=eyJrbF9lbWFpbCI6ICJtYXJ0aGFtYXJpYS5qYWltZUBnbWFpbC5jb20iLCAia2xfY29tcGFueV9pZCI6ICJFc2VrN2cifQ%3D%3D#lp-pom-block-866](https://abuelocomodo.com/videos/?utm_campaign=Cotizacion%20con%2010%20d%C3%ADas%20(HyxqPZ)&utm_medium=email&utm_source=Flow%20Prospectos%20Unbounce%201%2F10%2F2018&_ke=eyJrbF9lbWFpbCI6ICJtYXJ0aGFtYXJpYS5qYWltZUBnbWFpbC5jb20iLCAia2xfY29tcGFueV9pZCI6ICJFc2VrN2cifQ%3D%3D#lp-pom-block-866) [Consultado el 14 de enero del 2020]

- [17] Active mobility centre, “Fully Portable Hoist “. [En línea]. https://www.activemobility.co.uk/mobile-hoists-c48_330_49/fully-portable-hoist-p-1331.html [Consultado el 12 de enero del 2020]
- [18] Active mobility centre, “Invacare Birdie Folding Electric Hoist “. [En línea]. https://www.activemobility.co.uk/mobile-hoists-c48_330_49/invacare-birdie-folding-electric-hoist-p-2006.html [Consultado el 13 de enero del 2020]
- [19] Amazon México, “Camco Correa, 1,000 LB Capacity Winch”. [En línea]. https://www.amazon.com.mx/Camco-Cabrestante-Resistencia-Capacidad-Resistente/dp/B01M8HI1W2/ref=asc_df_B01M8HI1W2/?tag=gledskshopmx-20&linkCode=df0&hvadid=343607983845&hvpos=1o1&hvnetw=g&hvrnd=2026662996611086967&hvppone=&hvptwo=&hvqmt=&hvdev=c&hvdvcmdl=&hvlocint=&hvlocphy=1010060&hvtargid=pla-761935954992&psc=1 [Consultado el 27 de enero del 2020]
- [20] Amazon, “Truper ESLI-304, Eslinga ojo a ojo, 3in, 4 m”. [En línea]. https://www.amazon.com.mx/TRUPER-ESLI-304-Truper-Eslinga-4M/dp/B013R1IFK0/ref=sr_1_2?ie=UTF8&qid=1530596623&sr=8-2&keywords=eslinga+truper [Consultado el 01 de abril del 2020]
- [21] Ardoo Portable Hoists, “Ardoo 140 Portable Hoist”. [En línea]. Disponible en: <https://ardoohoists.com/shop/featured/portable-hoists/> [Consultado el 06 de enero del 2020]
- [22] Ardoo Portable Hoists, “ARDOO CARESAFE 140 Portable Patient Hois”. [En línea]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=4kqgtu6pSuQ> [Consultado el 06 de enero del 2020]
- [23] Ardoo Portable Hoists, “Technical Specification – Ardoo Caresafe 140 Compact Hoist”. [En línea]. Disponible en: <https://ardoohoists.com/hoists/specs/> [Consultado el 06 de enero del 2020]
- [24] Avilez Arévalo, P. J., Sigua, F., & Danilo, K. (2019), “Diseño, construcción e implementación de una grúa móvil para el transporte de personas con discapacidad (Bachelor's thesis)”. [En línea]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/16952/1/UPS-CT008156.pdf> [Consultado el 17 de febrero del 2020]
- [25] Dimensions Guide, “Wheelchairs”. [En línea]. <https://www.dimensions.guide/element/wheelchairs> [Consultado el 28 de enero del 2020]
- [26] Flores, I. M. (2019), “Diseño, construcción e implementación de una grúa móvil para el transporte de pacientes con discapacidad en actividades de rehabilitación (Bachelor's thesis)”. [En línea].

- <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/17165/1/UPS-CT008194.pdf> [Consultado el 20 de febrero del 2020]
- [27] Food and Drug Administration (FDA), “Patient lifts: Safety guide”. [En línea]. <https://www.fda.gov/media/88149/download> [Consultado el 29 de enero del 2020]
- [28] FPO, “United States Application US20120255118: Standing mobility and/or transfer device “ [En línea]. <http://www.freepatentsonline.com/20120255118.pdf> [Consultado el 09 de enero del 2020]
- [29] FPO, “United States Patent US9009886: Apparatus and method for assisting impaired or disabled persons”. [En línea]. <http://www.freepatentsonline.com/9009886.pdf> [Consultado el 09 de enero del 2020]
- [30] Google patents, “United States Patent EP2074978B1: Folding patient lift device“. [En línea]. <https://patents.google.com/patent/EP2074978B1/sv> [Consultado el 12 de enero del 2020]
- [31] Google patents, “United States Patent US20110070057A1: Vehicle wheelchair lift”. [En línea]. <https://patents.google.com/patent/US20110070057>[Consultado el 11 de enero del 2020]
- [32] Google patents, “United States Patent US4987976A: Telescoping portable lift”. [En línea]. <https://patents.google.com/patent/US4987976A/en> [Consultado el 10 de enero del 2020]
- [33] Google patents, “United States Patent US6201195B1: Patient hoist and scale”. [En línea]. <https://patents.google.com/patent/US6201195> [Consultado el 10 de enero del 2020]
- [34] Google patents, “United States Patent US8272084B2: Patient lift with hanger bar attachment”. [En línea]. <https://patents.google.com/patent/US8272084> [Consultado el 11 de enero del 2020]
- [35] Harris Group, “4043 aluminum welding wire & rod”. [En línea]. https://www.harrisproductsgroup.com/~/_/media/Files/PDF/Spec-Sheets/Welding/Aluminum/4043Spec.pdf [Consultado el 15 de abril del 2020]
- [36] Hillrom, “Golvo 9000 / LowBase Mobile Lift“. [En línea]. <https://hillrom.com/en-us/products/patient-handling/mobile-patient-lifts/golvo-9000-patient-lift/#product-resources> [Consultado el 13 de enero del 2020]
- [37] Hillrom, “Safe Patient Handling and Mobility”. [En línea]. <https://hillrom.com/en-us/products/patient-handling/>[Consultado el 28 de enero del 2020]

- [38] Instituto Nacional de la Infraestructura, “Norma de accesibilidad: habitabilidad y funcionamiento” [En línea]. http://www.libreacceso.org/wp-content/uploads/2013/09/norma_accesibilidad_inifed.pdf [Consultado el 28 de enero del 2020]
- [39] Karman, “Wheelchair expert tips – wheelchair how to buy a chair”. [En línea]. <https://www.karmanhealthcare.com/wheelchair-buying-guide/> [Consultado el 28 de enero del 2020]
- [40] La casa del perno, “Preguntas frecuentes”. [En línea]. http://www.casadelperno.com/Clientes_PregFrecuentes.html [Consultado el 05 de abril del 2020]
- [41] La Paloma Compañía de Metales S.A. de C.V., “Aluminio: (Características)”. [En línea]. https://www.lapaloma.com.mx/lapaloma_metales/aluminio_z1.pdf [Consultado el 6 de marzo del 2020]
- [42] La Paloma Compañía de Metales S.A. de C.V., “Aluminio”. [En línea]. https://www.lapaloma.com.mx/lapaloma_metales/aluminio.html [Consultado el 5 de marzo del 2020]
- [43] Macao Pilco, W. E., & Toasa Reyes, P. V. (2019). Diseño, construcción e implementación de una grúa fija para trasladar personas con discapacidad en sus actividades en el baño (Bachelor's thesis). [En línea]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/17009/1/UPS-CT008168.pdf> [Consultado el 11 de marzo del 2020]
- [44] Marmolejo, C. A. (2014), ”Manual de diseño de estructuras de aluminio”(Bachelor's thesis)”. [En línea].<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/4060/Manual%20de%20dise%C3%B1o%20de%20estructuras%20de%20aluminio.pdf?sequence=1> [Consultado el 2 de marzo del 2020]
- [45] Medicaleshop, “Liko Golvo 9000 Patient Lift With Power Base”. “. [En línea]. <https://www.medicaleshop.com/liko-golvo-8000-patient-lift-with-power-base.html> [Consultado el 14 de enero del 2020]
- [46] MIPSAs, “Solera de aluminio”. [En línea]. <https://www.mipsa.com.mx/dotnetnuke/Productos/Aluminio-Solera> [Consultado el 10 de marzo del 2020]
- [47] MIPSAs, “Tubo estructural”. [En línea]. <https://www.mipsa.com.mx/dotnetnuke/Productos/Tubo-estructural> [Consultado el 8 de marzo del 2020]
- [48] Pavón, L. S. (2017), “Diseño y construcción de una grúa para transferencia de personas con discapacidad motriz (Bachelor's thesis)”. [En línea].

- <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/5963/9/04%20MEC%20142%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf> [Consultado el 23 de febrero del 2020]
- [49] SEDESOL, “Diagnóstico sobre la situación de las personas con discapacidad en México”. [En línea].<https://www.gob.mx/publicaciones/articulos/diagnostico-sobre-la-situacion-de-las-personas-con-discapacidad-en-mexico?idiom=es>[Consultado el 3 de enero del 2020]
- [50] Sommer, “Catálogo”. [En línea].
http://www.sommer.com.mx/application/files/6914/3214/0206/catalogo_metales.pdf[Consultado el 7 de marzo del 2020]
- [51] Toyota, “Ficha técnica Corolla 2020”. [En línea].
https://www.toyota.mx/sites/default/files/descargables/Ficha_tecnica_COROLLA_20.pdf
[Consultado el 3 de febrero del 2020]
- [52] Toyota, “Ficha técnica Hilux Diesel 4x4 2019”. [En línea].
https://www.toyota.mx/sites/default/files/descargables/Ficha_tecnica_HILUX_Diesel_19_web.pdf
[Consultado el 5 de febrero del 2020]
- [53] Toyota, “Ficha técnica RAV 4 2019”. [En línea].
https://www.toyota.mx/sites/default/files/descargables/Ficha_Tecnica_RAV4_19_web_0.pdf
[Consultado el 4 de febrero del 2020]
- [54] Toyota, “Ficha técnica Sienna 2020”. [En línea].
https://www.toyota.mx/sites/default/files/descargables/Ficha_Tecnica_SIENNA_20_web.pdf
[Consultado el 4 de febrero del 2020]
- [55] Toyota, “Ficha técnica Tacoma 2019”. [En línea].
https://www.toyota.mx/sites/default/files/descargables/Ficha_Tecnica_Tacoma_19_act_web.pdf
[Consultado el 5 de febrero del 2020]
- [56] Toyota, “Ficha técnica YARIS SEDÁN 2020”. [En línea].
https://www.toyota.mx/sites/default/files/descargables/Ficha_Tecnica_Yaris_Sedan_20_web.pdf
[Consultado el 6 de febrero del 2020]
- [57] Truper, “Malacate con manivela, 300 kg, con cable”. [En línea].
https://www.truper.com/ficha_merca/index.php?codigo=14719 [Consultado el 04 de abril del 2020]
- [58] Truper, “Malacates”. [En línea]. <https://www.truper.com/CatVigente/Malacates-TRUPER-99.html>[Consultado el 03 de abril del 2020]

- [59] Uline, “Ruedas de Estantes de Acero para Cajas - Set de 4”. [En línea]. <https://es.uline.mx/Product/Detail/H-1074/Cartron-Stands/Casters-for-Steel-Carton-Stands-Set-of-4> [Consultado el 18 de abril del 2020]
- [60] United States Patent and Trademark Office, “Mobile patient lifter” ”. [En línea]. Disponible en: <http://pdfpiw.uspto.gov/.piw?Docid=D0352590&homeurl=http%3A%2F%2Fpatft.uspto.gov%2Fnetacgi%2Fnph-Parser%3FSect1%3DPTO2%2526Sect2%3DHITOFF%2526p%3D1%2526u%3D%25252Fnetahtml%25252FPTO%25252Fsearch-bool.html%2526r%3D8%2526f%3DG%2526l%3D50%2526co1%3DAND%2526d%3DPTXT%2526s1%3D%252522patient%252Blifter%252522%2526s2%3Dmobile%2526OS%3D%252522patient%252Blifter%252522%2526BAND%2526Bmobile%2526RS%3D%252522patient%252Blifter%252522%2526BAND%2526Bmobile&PageNum=&Rtype=&SectionNum=&idkey=NONE&Input=View+first+page>[Consultado el 07 de enero del 2020]
- [61] United States Patent and Trademark Office, “Patient lifter” ”. [En línea]. Disponible en: <http://pdfpiw.uspto.gov/.piw?Docid=08584275&homeurl=http%3A%2F%2Fpatft.uspto.gov%2Fnetacgi%2Fnph-Parser%3FSect1%3DPTO2%2526Sect2%3DHITOFF%2526p%3D1%2526u%3D%25252Fnetahtml%25252FPTO%25252Fsearch-bool.html%2526r%3D8%2526f%3DG%2526l%3D50%2526co1%3DAND%2526d%3DPTXT%2526s1%3D%252522Patient%252Blifter%252522%2526OS%3D%252522Patient%252Blifter%252522%2526RS%3D%252522Patient%252Blifter%252522&PageNum=&Rtype=&SectionNum=&idkey=NONE&Input=View+first+page> [Consultado el 06 de enero del 2020]
- [62] United States Patent and Trademark Office, “Portable hoist for an animal carcass”. [En línea]. Disponible en: <http://pdfpiw.uspto.gov/.piw?Docid=09877490&homeurl=http%3A%2F%2Fpatft.uspto.gov%2Fnetacgi%2Fnph-Parser%3FSect1%3DPTO2%2526Sect2%3DHITOFF%2526p%3D1%2526u%3D%25252Fnetahtml%25252FPTO%25252Fsearch-bool.html%2526r%3D1%2526f%3DG%2526l%3D50%2526co1%3DAND%2526d%3DPTXT%2526s1%3D%252522Portable%252Bhoist%252522%2526s2%3Dcarcass%2526OS%3D%252522Portable%252Bhoist%252522%2526BAND%2526Bcarcass%2526RS%3D%252522Portable%252Bhoist%252522%2526BAND%2526Bcarcass&PageNum=&Rtype=&SectionNum=&idkey=NONE&Input=View+first+page> [Consultado el 07 de enero del 2020]

- [63] United States Patent and Trademark Office, "USPTO Patent Full Text and Image Database". [En línea]. Disponible en: <http://patft.uspto.gov/netahtml/PTO/search-bool.html> [Consultado el 06 de enero del 2020]
- [64] United States Patent and Trademark Office, "Caregiver's helper lift". [En línea]. <http://pdfpiw.uspto.gov/.piw?PageNum=0&docid=09925106&IDKey=305457D8E48F%0D%0A&HomeUrl=http%3A%2F%2Fpatft.uspto.gov%2Fnetacgi%2Fnph-Parser%3FSect1%3DPTO2%2526Sect2%3DHITOFF%2526u%3D%25252Fnethtml%25252FPTO%25252Fsearch-adv.htm%2526r%3D7%2526f%3DG%2526l%3D50%2526d%3DPTXT%2526p%3D1%2526S1%3D%252522PATIENT%252BLIFT%252522%2526OS%3D%252522PATIENT%252BLIFT%252522%2526RS%3D%252522PATIENT%252BLIFT%252522> [Consultado el 08 de enero del 2020]
- [65] United States Patent and Trademark Office, "Patient lift". [En línea]. <http://pdfpiw.uspto.gov/.piw?Docid=06289534&homeurl=http%3A%2F%2Fpatft.uspto.gov%2Fnetacgi%2Fnph-Parser%3FSect1%3DPTO2%2526Sect2%3DHITOFF%2526u%3D%25252Fnethtml%25252FPTO%25252Fsearch-adv.htm%2526r%3D246%2526f%3DG%2526l%3D50%2526d%3DPTXT%2526p%3D5%2526S1%3D%252522PATIENT%252BLIFT%252522%2526OS%3D%252522PATIENT%252BLIFT%252522%2526RS%3D%252522PATIENT%252BLIFT%252522&PageNum=&Rtype=&SectionNum=&idkey=NONE&Input=View+first+page> [Consultado el 08 de enero del 2020]
- [66] Universidad de Sonora, "Tabla de densidades". [En línea]. <http://didactica.fisica.uson.mx/tablas/densidad.htm> [Consultado el 27 de enero del 2020]
- [67] World eEalth Organization, "Hospital medical equipment - general information". [En línea]. https://www.who.int/medical_devices/innovation/hospt equip_16.pdf?ua=1 [Consultado el 28 de enero del 2020]