

A Novel Mechanical Design for a mobile robot that carries a load of 30 Kg

Milagros Loayza, estudiante¹, Juan Alfaro, estudiante¹, Leonardo Vinces, bachiller (Ingeniero Electrónico)¹ y Christian del Carpio, Master¹

¹Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú, u201323939@upc.edu.pe, u201413976@upc.edu.pe, leonardo.vinces@upc.pe, pcelcdel@upc.edu.pe

Abstract— This article presents a novel mechanical design for a mobile robot capable to carry a load of up to 30kg. With this design, in addition to being able to transport the load from one place to another, it allows the positioning of the load at different heights. This design includes the structural frame, the mobility system, the mast, the fork carriage, the forks and the vertical ascending / descending system that will house the robot's load. To ensure that the design is as strong and light as possible, a structural analysis was carried out to select the material from which it is made. Modeling was done in detail in the CAD Solidworks. Finally, this design was validated as a small-scale forklift.

Keywords— Mechanical design, mobile robot, forklift, structural analysis, classical beam theory.

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2019.1.1.124>
ISBN: 978-0-9993443-6-1 ISSN: 2414-6390

Un Novedoso Diseño Mecánico para un Robot Móvil que Transporta una Carga de 30 Kg

Milagros Loayza, estudiante¹, Juan Alfaro, estudiante¹, Leonardo Vinces, bachiller (Ingeniero Electrónico)¹ y Christian del Carpio, Master¹

¹Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú, u201323939@upc.edu.pe, u201413976@upc.edu.pe, leonardo.vinces@upc.edu.pe, pcelcdel@upc.edu.pe

Resumen– Este artículo presenta un novedoso diseño mecánico para que un robot móvil sea capaz de transportar una carga de hasta 30kg. Con este diseño, además de poder llevar la carga de un lugar a otro, permite el posicionamiento de la carga a diferentes alturas. Este diseño incluye el armazón estructural, el sistema de movilidad, el mástil, el portahorquillas, las horquillas y el sistema de ascenso/descenso vertical que albergará la carga del robot. Para asegurar que el diseño sea lo más resistente y liviano posible, se realizó un análisis estructural para la selección del material del que está hecho. Se realizó el modelamiento a detalle en el CAD Solidworks. Finalmente, este diseño se validó como un montacargas a pequeña escala.

Palabras clave– Diseño mecánico, robot móvil, montacarga, análisis estructural, teoría de vigas clásica.

I. INTRODUCCIÓN

Los montacargas son los vehículos por excelencia en realizar el transporte de carga pesada. Su uso es muy importante en los centros logísticos y almacenes de todo tipo. Sin embargo, los montacargas son usados para aplicaciones de gran envergadura, con capacidades de carga que van desde los 300 kg hasta las 100 toneladas, lo cual es una enorme capacidad para alguien con la necesidad de llevar cargas de un peso mucho menor. Así mismo, acceder a un montacargas es limitado, puesto que su costo es muy elevado, además de que se tiene que contar con una licencia de manejo y capacitación para el conductor. De la misma manera, este tipo de vehículos al tener gran capacidad de carga, tienen un gran tamaño y peso, lo cual lo convierte en una máquina grande y sobredimensionada para el transporte de pequeñas cargas [1].

Por las razones descritas, se ha procedido a realizar un diseño mecánico para un robot que tenga las funcionalidades de un montacargas para cubrir las necesidades de diferentes personas y empresas que deseen transportar carga de hasta 30 kg. Este diseño soluciona muchas desventajas de los montacargas. En primer lugar, al ser un robot, no cuenta con una cabina para el conductor, lo cual minimiza los accidentes humanos, además de eliminar la necesidad de un conductor capacitado y con licencia. Así mismo, la mayoría de montacargas funcionan con motores de combustión interna y con mecanismos hidráulicos, lo que implica un mantenimiento frecuente; por lo que este diseño tiene como enfoque a un robot totalmente eléctrico para reducir su peso.

Por otro lado, existen modificaciones del diseño del montacargas para convertirlo en un vehículo más compacto. Los estudios en su mayoría se enfocan en minimizar los

accidentes y mejorar su estabilidad, pero ninguno orientado a reducir la carga de trabajo que se va a transportar. Por ejemplo, en [2] se desarrolló un análisis dinámico del bastidor de un montacargas hidráulico a través del software ADAMS para optimizar su estructura. Asimismo, en [3] se hizo un estudio dinámico al proceso del levantamiento de la carga mediante el software de simulación Nastran para conocer la velocidad de elevación óptima con el fin de minimizar las oscilaciones en un montacarga hidráulico. En [4] se realizó el diseño de una horquilla de un montacargas eléctrico mediante el análisis estructural en el software ANSYS para la selección del material. Por último, en [5] se propone un nuevo mecanismo de elevación para un montacargas híbrido.

Como se ha visto, los estudios realizados solo proponen mínimas modificaciones sobre el mismo diseño de un montacargas estándar; por ello, este artículo propone un nuevo, robusto y modular diseño mecánico para transportar cargas de hasta 30 kg de manera segura, de bajo costo y de fácil construcción.

II. DESCRIPCIÓN DEL DISEÑO MECÁNICO PROPUESTO

Para comenzar con el diseño mecánico del robot, es necesario realizar un análisis estructural preliminar, puesto que se trata de un robot que va a transportar carga; por lo que su estructura debe ser rígida y resistente. El diagrama de bloques del diseño mecánico propuesto se muestra en la Fig.1.

1. Fundamento matemático

Para este estudio se utilizó la teoría de Euler – Bernoulli para vigas. Para ello se procede a utilizar algunos conceptos de dicha teoría como son los siguientes:

- Deflexión máxima (v_{max}): Es el grado de deformación máxima de un elemento estructural bajo la aplicación de una fuerza.
- Módulo de Young (E): Es la rigidez intrínseca de cada material.
- Segundo momento de Inercia (I): Mide el grado de resistencia de un material en función a su forma.
- Momento Flector (M): Es la reacción inducida en un elemento estructural cuando se aplica una fuerza o par externo al elemento.

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2019.1.1.124>
ISBN: 978-0-9993443-6-1 ISSN: 2414-6390

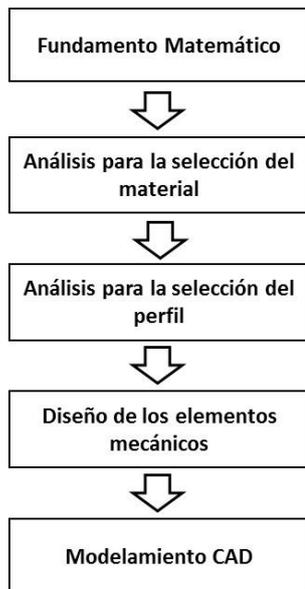


Fig. 1 Diagrama de Bloques del proceso de diseño

En la Fig.2, v es deflexión vertical con respecto al nivel de referencia, el cual está situado en el centroide de la sección de la viga, F es la fuerza puntual, L es la longitud de la viga y x es la posición con respecto al origen de coordenadas.

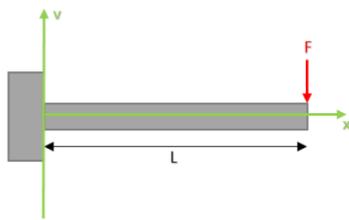


Fig. 2 Esquema de prueba de deformación.

La ecuación de Euler-Bernoulli en la que se va a basar el análisis se indica en (1).

$$M = -EI \frac{d^2 v}{dx^2} \quad (1)$$

Mediante la sumatoria de momentos en el origen de coordenadas igual a cero se deduce según (2) que:

$$M(x) = F \cdot L - F \cdot x \quad (2)$$

Entonces resolviendo la ecuación diferencial lineal ordinaria mediante variables separables se procede a integrar dos veces, y se obtiene la deflexión de la viga en función a la distancia en el intervalo $0 < x < L$. Esto se aprecia en (3).

$$v(x) = \frac{Fx^3}{6} - \frac{F \cdot Lx^2}{2} + c_1x + c_2 \quad (3)$$

La configuración de la viga que se muestra en Fig. 2, es de tipo cantiléver; es decir, que la viga está sujeta en un extremo y el otro está libre. Se ha estudiado esta configuración, y se definió que el diseño del sistema que soporta toda la carga debe ser de este tipo. Por lo tanto, las condiciones iniciales del sistema son:

$$v(0) = 0 \text{ y } v'(0) = 0$$

Entonces se deduce que:

$$c_1 = 0 \text{ y } c_2 = 0$$

Luego la expresión resultante de (3) se muestra en (4).

$$v(x) = \frac{F}{6 \cdot EI} (x^3 - 3 \cdot Lx^2); 0 < x < L \quad (4)$$

Por lo tanto, para hallar v_{max} se procede a evaluar la función de la deflexión, definida por (4), en el punto donde se le aplica la fuerza. Esto es debido a que dicho punto no está sujeto, entonces es ahí donde se observará la deflexión máxima como se aprecia en (5).

$$v(L) = -\frac{F \cdot L^3}{3 \cdot EI} \quad (5)$$

El signo indica la dirección donde se tiende a doblar la viga en este caso, la viga tendrá a curvarse por debajo del nivel de referencia, pero el valor de dicha deflexión se obtiene de (6).

$$v_{max} = \frac{F \cdot L^3}{3 \cdot EI} \quad (6)$$

En la Fig. 3 se ilustra el significado de la deflexión máxima.

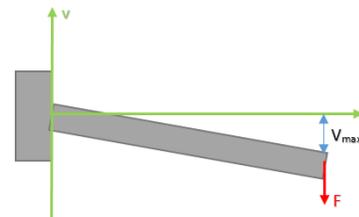


Fig. 3 Deflexión máxima

Según (6), la deflexión indica que una viga del doble de larga que otra tendrá una deflexión de hasta ocho veces más que la anterior, y que entre mayor sea el segundo momento inercial de la sección de viga, la deflexión de la viga es menor. De esta manera, se pudo valorar la resistencia de una viga ante la deformación, a través del cálculo de la deflexión y el segundo momento de inercia respectivo a cada sección.

2. Análisis para la selección del Material

Para la elección del material, se ha tenido en consideración los cuatro materiales estructurales más comerciales y como punto de comparación se usó el módulo de Young (E) de cada material, el cual se encuentra indicado en la Tabla I.

TABLA I
MODULO DE YOUNG

Material	Módulo de Young (10^{10} Pa)
Aluminio	7.0
Hierro	19
Acero	21
Latón	9.0

Asimismo, tomando como referencia (6), se denota (7). Para poder hacer la comparación, se considera a F y L fijos; por lo tanto, K es una constante.

$$v_{max} = \frac{K}{EI} ; K = \frac{F \cdot L^3}{3} \quad (7)$$

De la ecuación (7), se encuentra una relación, la cual involucra a v_{max} en función a las variables E e I , debido a que estos parámetros definen la rigidez del material. Con el valor de E conocido de acuerdo al material, se define la siguiente función en (8).

$$v_{max}(I) = \frac{K}{E} \cdot \frac{1}{I} \quad (8)$$

Se tomó como referencia que $K=1$, ya que con este valor se obtiene la función elemental, puesto que la constante K representa los múltiplos de la misma. Por lo que el criterio de selección se realiza a través de la expresión (9).

$$v_{max}(I) = \frac{1/E}{I} \quad (9)$$

A partir de los datos de la Tabla I y (9) se elaboró la Fig.4, en la cual se observa que la menor deflexión se obtiene con el uso de acero; por lo tanto, se escoge al acero como material estructural.

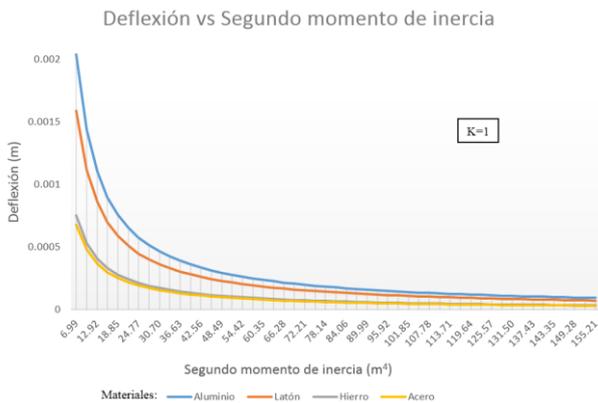


Fig. 4 Gráfica de la función que relaciona la Deflexión y el Segundo momento de inercia con diferentes materiales

El tipo de acero elegido, es el acero al carbono, ya que posee uno de los módulos de Young más alto en el rubro de los aceros, además de ser el más económico y comercial.

3. Análisis para la selección del Perfil

Para la selección del perfil (o también denominado sección), se procede a realizar un análisis de rigidez considerando la geometría de la viga, en la cual se evalúa qué sección es la más resistente frente a esfuerzos de flexión.

En primer lugar, se formula una expresión que relaciona dos parámetros que se considera fundamentales para realizar la selección. El primer parámetro hace referencia a la densidad lineal (δ_L), con la cual se va a poder escoger el perfil más liviano; y el segundo parámetro hace referencia a la deflexión máxima (v_{max}), con la cual se va a poder escoger el perfil más rígido.

En la Fig. 5 se representa geoméricamente la relación de equivalencia, el cual expresa que los parámetros son inversamente proporcionales entre sí, puesto que si se tiene una viga de $\delta_L = 2$ (Kg/m) con una deflexión $v_{max} = 1 \times 10^{-3}$ (m) es equivalente a tener una viga de $\delta_L = 1$ (Kg/m) con una deflexión $v_{max} = 2 \times 10^{-3}$ (m).

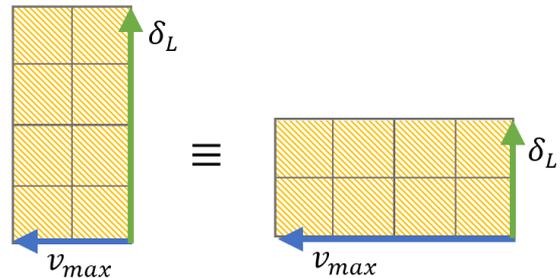


Fig. 5 Relación de equivalencia

De la Fig. 5 se obtiene (10), donde C es el coeficiente que va a cuantificar la relación entre las 2 variables en estudio. A partir de esta construcción, el criterio de selección se basa en hallar el C mínimo para lograr que se cumpla los 2 requerimientos: una viga rígida y liviana a la vez.

$$C = \delta_L \cdot v_{max} \quad (10)$$

Para encontrar el C mínimo, primero se acota el conjunto de perfiles de acero para la selección. Las secciones escogidas para este estudio son un tubo rectangular, un tubo cuadrado, un perfil en U, un perfil en H, una barra cuadrada y una barra rectangular (Perfiles de mayor uso comercial). Posterior a ello, se debe obtener v_{max} en (9), por lo que se calcula los segundos momentos inerciales del conjunto elegido. Asimismo, se considera que $E = 21 \times 10^9$ (Pa), valor del material elegido.

En la Tabla II se muestran los valores de I_x (I con respecto al eje x) e I_y (I con respecto al eje y), los cuales fueron calculados tomando como origen de coordenadas el centroide de la sección.

Con los datos de dicha tabla, se elaboró la Tabla III, en la cual se muestran los valores obtenidos de v_x (v_{max} con respecto a I_x) e v_y (v_{max} con respecto a I_y). De la misma forma, se muestra a δ_L , el cual ha sido calculado con respecto a la geometría del perfil.

TABLA II
SEGUNDO MOMENTO DE INERCIA

Perfil ($10^{-3}m$)	Segundo momento de inercia ($10^{-6}m^4$)	
	I_x	I_y
	44.46	14.38
	7.872	7.872
	77.61	12.16
	155.2	43.95
	106.7	26.67
	13.33	13.33

TABLA III
DEFLEXIÓN VS DENSIDAD LINEAL

Perfil ($10^{-3}m$)	δ_L ($\frac{Kg}{m}$)	v_x ($10^{-3}m$)	v_y ($10^{-3}m$)
	1.758	1.071	3.311
	1.130	6.049	6.049
	1.532	0.614	3.916
	3.065	0.307	1.083
	6.280	0.446	1.785
	3.140	3.57	3.572

Con la información de la Tabla III, se elabora la Tabla IV, la cual presenta los valores de C del conjunto de perfiles. Donde C_x (C evaluado con v_x) e C_y (C evaluado con v_y).

TABLA IV
COEFICIENTE DE SELECCIÓN

Perfil ($10^{-3}m$)	Coeficiente de selección ($10^{-3}Kg$)		
	C_x	C_y	$C_{promedio}$
	1.883	5.821	3.852
	6.835	6.835	6.835
	0.941	5.999	3.470
	0.941	3.319	2.130
	2.801	11.21	7.006
	11.21	11.21	11.21

A partir de la Tabla IV, se procede a elegir el valor de C promedio mínimo. Se verifica que el perfil que cumple con este criterio es el perfil en H. Sin embargo, este tipo de viga no cumpliría uno de los objetivos del diseño, el cual es la compactibilidad, es decir que el robot debe ser lo más compacto posible, y al trabajar con el perfil en H o incluso el perfil en I, el volumen del robot aumentaría. Es por esta razón, que se ha optado por el tubo rectangular, además de la facilidad de ensamblaje que brinda este tipo de viga respecto a los otros perfiles.

4. Diseño de los elementos mecánicos

Después de seleccionar el material y elegir las secciones requeridas para el diseño, se procede a realizar el diseño de los elementos mecánicos en el software Solidworks de cada sistema del robot.

En la Fig. 6 se muestra todos los elementos mecánicos que constituyen un robot. En las siguientes líneas se describe la funcionalidad y los factores que se tuvieron en cuenta para realizar el diseño de cada elemento.

A. Armazón Estructural

Para el diseño del armazón o chasis se tuvo en cuenta que el robot es de tipo móvil, debe ser compacto, y debe tener el espacio suficiente para albergar los componentes del robot, como son los actuadores, sensores, el sistema electrónico, el tablero de control y las baterías para su alimentación. La principal característica del chasis es la modularidad para poder acoplar los demás sistemas mecánicos del robot.

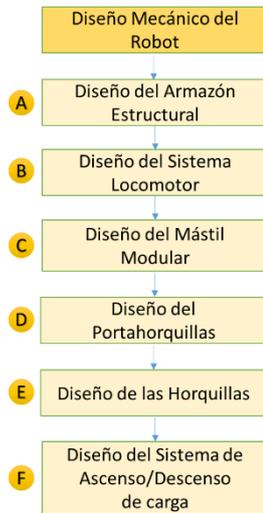


Fig. 6 Diagrama de Bloques del diseño de los elementos mecánicos

En la Fig. 7 se visualiza el diseño en 3D del chasis, que en su gran mayoría está computo por tubos rectangulares, lo cual hizo que el robot sea de menor tamaño.

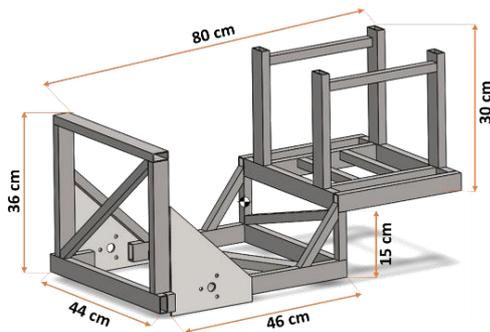


Fig. 7 Modelamiento del Armazón Estructural

B. Sistema de Movilidad

El tipo de robot que se diseñó es un vehículo con ruedas de direccionamiento diferencial; es decir, que la dirección viene dada por la diferencia de velocidades en las ruedas de tracción, las cuales se encuentran en la parte delantera del robot. Asimismo, se adicionó al sistema locomotor 2 garruchas omnidireccionales en la parte trasera, las cuales permiten mayor maniobrabilidad y la rotación sobre el eje delantero. En la Fig. 8 se muestra la vista isométrica del sistema de movilidad del robot.

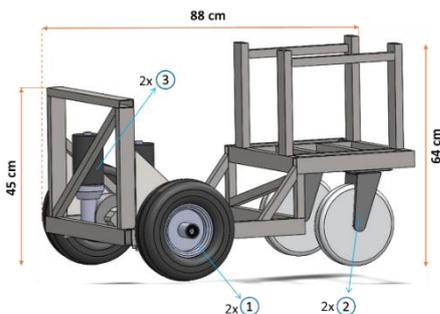


Fig. 8 Esquema del Sistema de Movilidad en 3D. (1) Llanta de 10 pulgadas; (2) Garrucha de 8 pulgadas; (3) Motor de tracción

En la Fig. 9 se muestra una vista de planta de la configuración de desplazamiento del robot.

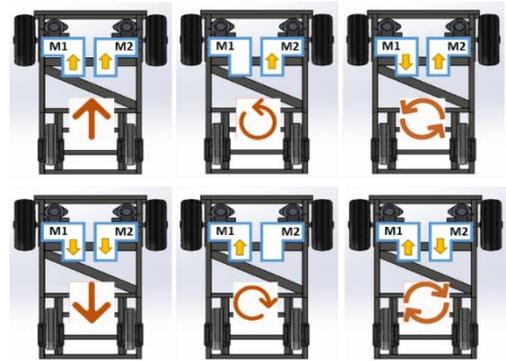


Fig. 9 Esquema de desplazamiento del Robot. Donde M1 y M2 son el motor 1 y motor 2 respectivamente.

C. Mástil Modular

El mástil es el soporte del sistema que hace posible elevar y descender la carga. Así mismo, es el que define la altura mínima y máxima del movimiento vertical.

Este elemento se diseñó como una parte independiente para luego ser acoplado al chasis, ya que es considerablemente la de mayor tamaño. En la Fig. 10 se visualiza el mástil modular en 3D.



Fig. 10 Mástil Modular

D. Portahorquillas

El portahorquillas es la pieza en la cual se sujetan las horquillas, por lo que debe soportar todo el estrés generado por las reacciones de las mismas al transportar la carga. En la Fig.11 se visualiza el diseño en 3D del portahorquillas.

El portahorquillas, debe ser capaz de tener un desplazamiento vertical suave sin moverse del eje del mástil para que no haya caídas de carga. Es por ello que se diseñó un sistema de rodamientos en 3 diferentes posiciones de cada lado. La primera posición (4 rodajes de cada lado) se encuentra instalado en el interior del mástil con la función de guiar el movimiento vertical de la carga.

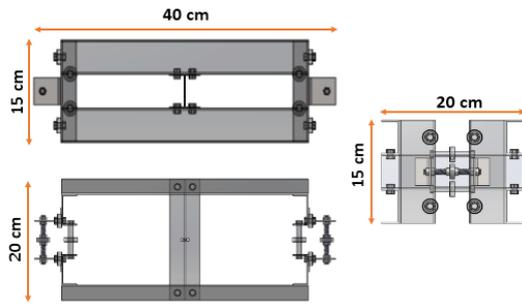


Fig. 11 Portahorquillas

La segunda posición (2 rodajes de cada lado) instalado en el exterior del mástil con la función de fijar la posición horizontal para evitar que la carga se comporte como un péndulo al estar sujeta de una cuerda. Y la tercera posición (2 rodajes de cada lado) instalado en la cara exterior del mástil con la función de mantener y asegurar que el portahorquillas no se salga del mástil al desplazarse. En la Fig. 12 se visualiza el sistema implementado de rodajes.

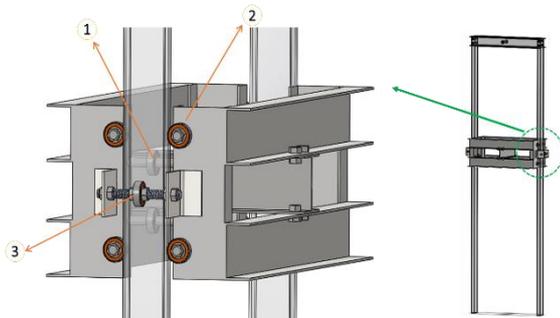


Fig. 12 Sistema de Rodajes. (1) Primera Posición de Rodajes; (2) Segunda Posición de Rodajes; (3) Tercera Posición de Rodajes.

E. Horquillas

Las horquillas son dos barras paralelas planas ubicadas en la parte frontal del portahorquillas. A través de este elemento, es posible introducirse en el palé (pieza estándar sobre la cual se pone la carga deseada a transportar). Las horquillas son las que soportan y transportan la carga en voladizo, por lo que se tuvo en cuenta que la mejor sección era la del tubo rectangular y para minimizar la flexión, se insertó en soldadura 2 planchas de acero a los laterales. En la Fig. 13 se visualiza el diseño de las horquillas en 3D.

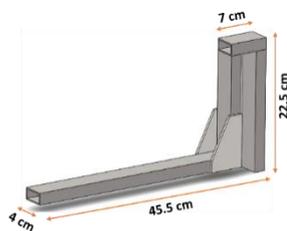


Fig. 13 Horquillas

F. Sistema de Ascenso/Descenso de carga

Finalmente era necesario un sistema que pudiese desplazar la carga a diferentes alturas sin ser muy complejo. Por esta razón se eligió un sistema de transmisión por polea. El sistema diseñado consiste en un motor reductor, el cual está unido por una caja reductora de 3:1 para triplicar el arrastre y tracción de la carga, tal como se ve en la Fig.14.

Relación de transmisión 3:1

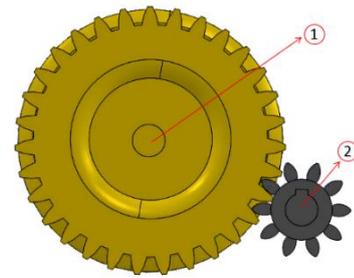


Fig. 14 Reducción mecánica piñón-corona. (1) Corona de 30 dientes; (2) Piñón de 10 dientes.

El piñón está conectado al motor y la corona es la que sujeta la cuerda enrollada de 5mm de diámetro. Esta cuerda atraviesa una polea fija de capacidad de 300 Kg, la cual se sujeta a la parte superior del mástil. Luego la cuerda se conecta a una polea móvil ubicada en el portahorquillas, y finalmente, la cuerda se ancla a un gancho sujeto al mástil. Lo descrito se puede visualizar en la Fig. 15.

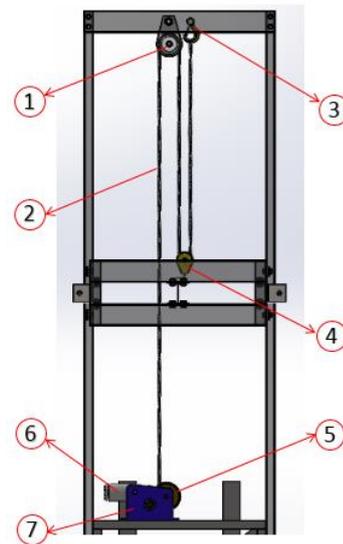


Fig.15 Esquema del Sistema de Ascenso/Descenso de carga en 3D (1) Polea fija; (2) Cable Acerado; (3) Gancho de Sujeción al mástil; (4) Polea móvil; (5) Caja Reductora de Engranajes; (6) Motor de carga; (7) Soporte de acople al mástil.

Este sistema incluye el acople para fijar el eje del motor al piñón y el soporte que alberga al sistema para fijarla al chasis, tal como se visualiza en la Fig. 16.

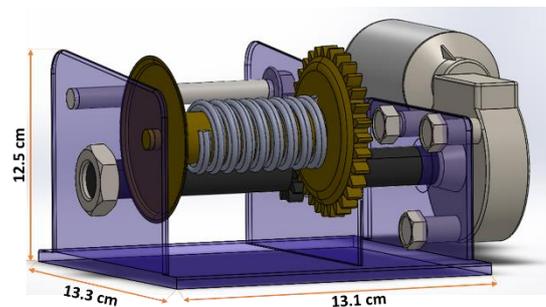


Fig. 16 Soporte del Sistema para acoplarlo al chasis

5. Modelamiento CAD

Se procedió a realizar el ensamblaje de todos los sistemas diseñados para verificar su correcto acoplamiento en el CAD Solidworks. La conexión entre el armazón estructural y el mástil consiste en la colocación de 3 pernos con sus respectivas tuercas en cada lado, como se visualiza en la Fig. 17.

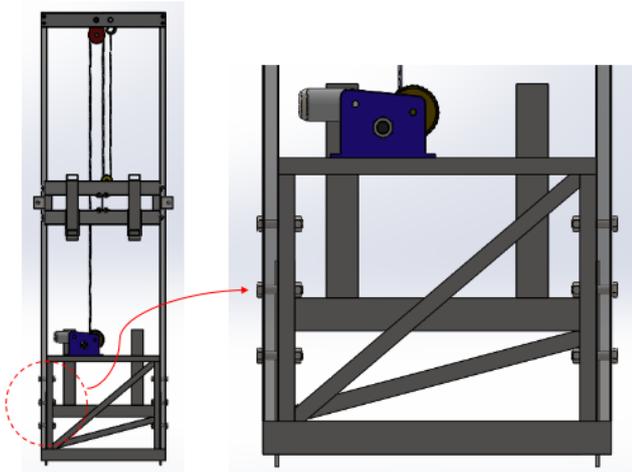


Fig. 17 Ensamblaje entre el chasis y el mástil

La operación de ensamblaje de todos los sistemas mecánicos del robot se puede ver en la Fig. 18.

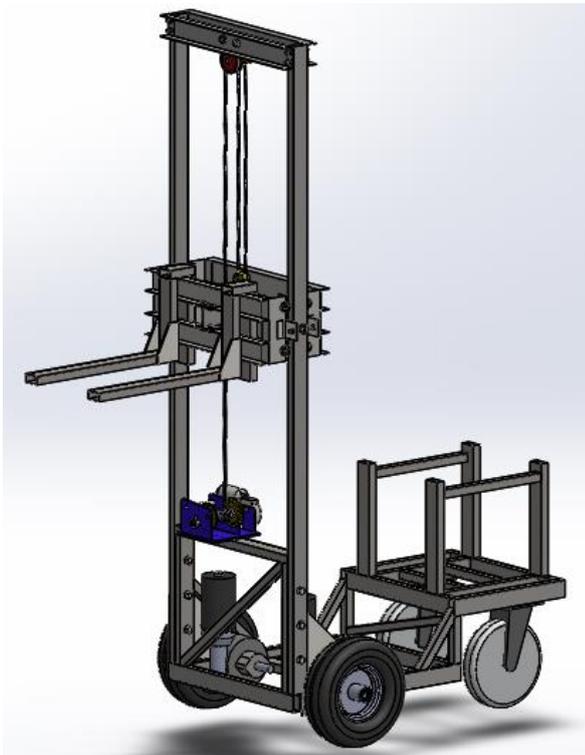


Fig. 18 Ensamblaje Final en 3D

V. RESULTADOS

Para validar el diseño mecánico, se procedió a la implementación del robot con el material designado y tal cual a los planos realizados en el CAD Solidworks.

En la Fig. 19, Fig. 20 y Fig. 21, se observa el ensamblaje físico del diseño final.



Fig. 19 Vista Isométrica del prototipo



Fig. 20 Vista frontal del prototipo



Fig. 21 Vista lateral del prototipo

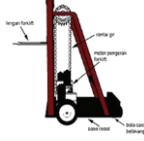
Se realizaron pruebas para que el robot transporte varias cargas de 30Kg. El robot no presentó ninguna falla deformativa ni de rotura durante el largo periodo en el que estuvo movilizándose con la carga asignada. Cabe resaltar que se colocaron dos baterías a modo de contrapeso equivalente a 35Kg en la parte trasera del robot para realizar las pruebas mencionadas.

Así mismo, se llevó al robot ensamblado a la balanza y se obtuvo un peso total de 45Kg, lo que lo clasifica como un vehículo liviano especializado en el transporte de carga.

VI. CONCLUSIONES

Se ha realizado un novedoso diseño mecánico para un robot de transporte con capacidad de carga de hasta 30kg. La novedad consiste en el diseño estructural y sistema de elevación que lo convierte en un montacargas de pequeña escala. El diseño se ha basado en la selección del material estructural que es el acero al carbono, por tener el módulo de Young más alto en el rubro de los aceros. Asimismo, se hizo la selección del perfil, se escogió al tubo rectangular por la facilidad de ensamblaje con otros elementos. A diferencia de otros diseños existentes de robots para carga pequeña, como se visualiza en la Tabla V, este diseño tiene mayor alcance, puesto que permite que su montaje y replicación sea posible debido a su modularidad y liviano peso, adicionalmente de que los elementos que lo constituyen son accesibles en costo y disponibilidad.

TABLA V
COMPARATIVA DE DISEÑOS EXISTENTES PARA EL
TRANSPORTE DE CARGA

NOMBRE / IMAGEN	CAPACIDAD DE CARGA / DESCRIPCION
Prototipo 1 Montacargas 	Hasta 20 kg / Diseñado para transportar y recoger objetos para almacenamiento. [6]
Prototipo 2 Montacargas 	Hasta 200 kg / Diseñado para las industrias de pequeña escala por su compacto tamaño (Altura hasta 12.5cm) [7]
AIV de carga LYNX 	Hasta 130 kg / Diseñado para entornos de tecnología limpia como laboratorios y hospitales.[8]
AGV de transporte TJ -5 	Hasta 200 kg / Diseñado para recibir, transportar y entregar materiales a lo largo de almacenes y entornos de fabricación.[9]
AGV TransCar 	Hasta 600 kg / Diseñado para el transporte de productos farmacéuticos y suministros quirúrgicos. [10]
Forklift TOYOTA BT 	Hasta 2000 kg / Diseñado para poder desplazarse de manera segura en modo automático. [11]

REFERENCIAS

- [1] Z.H. Jin and X. Xu. Present Situation of Electric Forklifts and Their Developing Trend. *Construction Machinery and Equipment*, vol.10, pp. 37-38, (2014).
- [2] Hong Z., Tiejun L., Qi G. and Shufen L., "The CAE Analysis of Fork Truck Frame System Based on ADAMS and ANSYS," *Applied Mechanics and Materials*, vols.16-19, pp. 1149-1153, October 2009.
- [3] Ilir D. and Vegim I., "Dynamic Analysis of Forklift during Load Lifting using Modeling and Simulations," *International Journal of Current Engineering and Technology*, vol.3, no. 2, pp. 342-347, June 2013.
- [4] Ugale S., Pagare A., Varvatkar V. and Gurav M., "Design and Structural Analysis of Mechanical Forklift using ANSYS Software," *International Journal of Research in Advent Technology*, vol.2, no.5, May 2014.
- [5] Wang Y., Zhao D., Wang L. and Hu Y., "Analysis of New Type Elevating Mechanism or Hybrid Forklift Based on ANSYS," in 5th International Conference on Advance Design and Manufacturing Engineering (ICADME 2015)
- [6] Liawatimena S., Felix B.T., Nugraha A. and Evans R., "A Mini Forklift Robot," *International Journal of Engineering and Industries(IJEI)*, vol.2, no.4, December 2011.
- [7] Lobo M., Khebude N., Adsul B., Bhosale G., Khade S. and Naik N., "Design and Development of Mechanical Forklift," *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, vol.5, no.3, March 2018.
- [8] Omron Adept Lynx Mobile Brochure. Lynx autonomous indoor vehicles. (https://downloads.omron.eu/IAB/Products/Robotics/Mobile%20Robots/Lynx/R253I/Omron+Adept+Lynx+Mobile_BRO_EN_201602_R253IE01.pdf) Consulta el 05 de Mayo del 2019.
- [9] TRANSBOTICS. TJ Series Automatic guided carts (AGC) (<https://cdn2.hubspot.net/hubfs/2518251/Ebooks/Tranbotics%20TJ%20Brochure.pdf>) Consulta el 05 de Mayo del 2019.
- [10] SWISSLOG. TransCar Automated Guided Vehicle (<https://www.swisslog.com/en-gb/healthcare/products/material-transport/transcar-automated-guided-vehicle>) Consulta el 06 de Mayo del 2019.
- [11] TOYOTA Material handling. Toyota BT Autopilot LAE240 Semi Automatic Forklift (<https://www.toyotamaterialhandling.com.au/products/product-search/electric-pallet-jacks/toyota-bt-autopilot-lae240-semi-automatic-forklift/>) Consulta el 06 de Mayo del 2019.