

# Diseño de un sistema mecánico de ascenso dirigido a usuarios de sillas de ruedas en transporte escolar universitario de la ciudad de Puebla

Madrigal Alonso, Kiara Marlene

2023

---

<https://hdl.handle.net/20.500.11777/5692>

<http://repositorio.iberopuebla.mx/licencia.pdf>

# Diseño de un sistema mecánico de ascenso dirigido a usuarios de sillas de ruedas en transporte escolar universitario de la ciudad de Puebla

Madrigal Alonso Kiara Marlene (sexto semestre en Ingeniería Biomédica)<sup>1</sup>, Maldonado Zamudio Arith (sexto semestre en Ingeniería Biomédica)<sup>1</sup>, Mendoza Ruiz Cristhian Ian (sexto semestre en Ingeniería Biomédica)<sup>1</sup>, Mora Díaz Luis José (séptimo semestre en Ingeniería Comunicaciones y Electrónica)<sup>1</sup>, Morales Garzón Ana Paola (sexto semestre en Ingeniería Biomédica)<sup>1</sup>, Soto Cruz Lidia Isabel (sexto semestre en Ingeniería Biomédica)<sup>1</sup>\*, Colín Ortega Juan Carlos (profesor responsable)<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Universidad Iberoamericana Puebla, San Andrés Cholula, Puebla, México

## Resumen

Los transportes escolares en la ciudad de Puebla no poseen una entrada que cumpla con las necesidades de los usuarios en silla de ruedas, presentando un problema de accesibilidad para esta población. Por esta razón, en el presente documento se expone el diseño de un sistema mecánico de ascenso para usuarios de silla de ruedas en transporte escolar, el cual busca establecer un precedente para otros posibles proyectos que favorezcan la igualdad de condiciones para el acceso y tránsito seguro de estos usuarios. Se investigaron las características de la camioneta Hiace 2014 de la marca Toyota y la normativa para instituciones educativas, con base en las cuales se diseñó un elevador de tijera y una rampa, hechas de aleación de aluminio 2024 y hierro dúctil, en el software SolidWorks. Se realizó, además, un análisis de elemento finito para verificar su estabilidad y propiedades mecánicas, cuyos resultados mostraron que el sistema soporta una carga máxima de 200 kg.

**Palabras clave:** discapacidad, silla de ruedas, transporte accesible, elevador de tijera, sistema de ascenso.

**\*Autor Corresponsal:** lidia.soto@iberopuebla.mx

## Introducción

Un sistema de ascenso es un mecanismo que tiene la capacidad de realizar un movimiento de elevación y descenso a una posición deseada sin realizar un esfuerzo excesivo. Un ejemplo son los elevadores de tijera, los cuales están diseñados para soportar cargas pesadas por un prolongado tiempo de vida [1].

Las personas con movilidad reducida son aquellas que, de manera temporal o permanente, tienen limitada la capacidad de moverse de forma autónoma, condición que les genera dificultades, debido a problemas de accesibilidad en su entorno. Este último se define como la condición de acceso que presenta un sitio, un lugar de interés, una oficina de servicio o un medio de transporte, para que cualquier persona, independientemente de su condición de movilidad, pueda llegar hasta él de manera autónoma, sin necesidad de superar barreras físicas [2].

La Convención Sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad define la discapacidad como un concepto que evoluciona y resulta de la interacción entre las personas con deficiencias y las barreras sociales y del entorno físico, lo que evita su participación plena y efectiva en la sociedad [3]. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud, se calcula que 1300 millones de personas tienen una discapacidad y, de esta cifra, cerca de 70 millones necesitan una silla de ruedas [4]. A pesar de los avances en materia de accesibilidad, todavía existen obstáculos para las personas en esta condición, especialmente en México, un país con más de 7 millones de personas con discapacidad [5], donde el transporte no es adecuado para los usuarios de sillas de ruedas, lo que provoca que se vean limitados al momento de realizar sus actividades cotidianas.

Si bien es cierto que existen transportes para las personas con sillas de ruedas, éstos tienen pocas rutas dentro de las

ciudades o son demasiado costosos, haciéndolos imprácticos. La falta de medios de transporte accesibles impide a este grupo incluirse plenamente dentro de su comunidad, al dificultar su independencia para ir al trabajo, salir de compras, hacer trámites o, incluso, ir a estudiar.

El Artículo 9 de la Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad exige que los edificios, las vías públicas, el transporte y otras instalaciones exteriores e interiores, como las escuelas, sean accesibles para las personas con discapacidad [3], por lo que, en diferentes países, se han planteado distintas soluciones para dicho problema.

El diseño y construcción de un elevador de acceso para personas con movilidad reducida por Hernández y Verdugo muestra un sistema que funciona con energía y accesorios neumáticos, para facilitar el montaje en los buses urbanos [6]. Ya se ha desarrollado un prototipo de silla de ruedas con elevador basado en un sistema de tijera [1], comandado por medio de una aplicación, la cual permite que el usuario indique el movimiento de ascenso y descenso [7]. También se ha diseñado y construido un mecanismo de accionamiento hidráulico-neumático que permite el acceso a personas con discapacidad física en un bus tipo urbano, con el objetivo de implementar dicho sistema mecánico de gestión electrónica en el transporte público en la ciudad de Riobamba, orientado a un concepto de Diseño Universal [8].

El presente trabajo expone un modelo sólido de un sistema mecánico de ascenso que utiliza un mecanismo de elevación de tijera, diseñado en el software SolidWorks, en aleación de aluminio 2024 y hierro dúctil, con el propósito de permitirle a los usuarios de sillas de ruedas de comunidades universitarias acceder al transporte escolar. Se decidió delimitarlo a camionetas Hiace 2014 de la marca Toyota para quince pasajeros, dado que éstas forman parte de la flota

existente de transporte para la Universidad Iberoamericana Puebla (UIA).

## Metodología

### *Selección del vehículo y mecanismo de elevación.*

Se investigaron las características de la camioneta Hiace 2014 de la marca Toyota, enfocándose en las dimensiones y ventajas que posee. Se consideró la puerta lateral del vehículo como la de entrada para los usuarios de sillas de ruedas, y a partir de ella se realizaron medidas del interior. Se determinó que el ancho de la puerta es de 120 cm mientras que la distancia del piso al segundo escalón de acceso es de 70 cm; considerando lo anterior, se decidió que las medidas del sistema deben adecuarse a éstas.

Se recurrió a un análisis, orientado a revisar la literatura referente a los sistemas de elevación mecánicos existentes para usuarios de sillas de ruedas, en transporte público y privado, buscando las ventajas del empleo de los sistemas de elevación mecánicos, en particular de rampas y elevadores. Con base en ella, se decidió usar en el diseño un elevador con un mecanismo de tijera, por ser el mejor para alcanzar la altura requerida y distribuir el peso de los usuarios al subir.

### *Diseño del sistema*

Se investigó la normativa para instituciones educativas, NMX-R-090-SCFI-2016, la cual establece los elementos necesarios para la accesibilidad a estos espacios, incluyendo circulaciones verticales como rampas. Éstas deben contar con piso firme, uniforme y con un acabado antiderrapante, además tener una pendiente no mayor al 10%, con un ancho mínimo de 60 cm, puesto que el usuario de silla de ruedas estará asistido por una persona al momento de su ascenso y descenso [9].

Se contempló usar el mecanismo de tijera de un solo nivel, por lo cual se diseñaron cuatro eslabones de 127 cm de longitud y 2 cm de grosor, con tres barrenos de 1.8 cm de diámetro distribuidos en cada pieza, fig. 1.

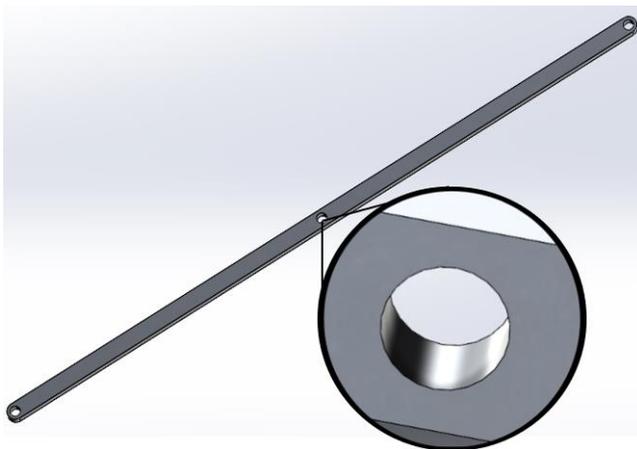


Fig. 1. Eslabón con acercamiento al barreno.

La fig. 2 muestra la pieza denominada eje, la cual une a los pares de eslabones a través de los barrenos centrales.

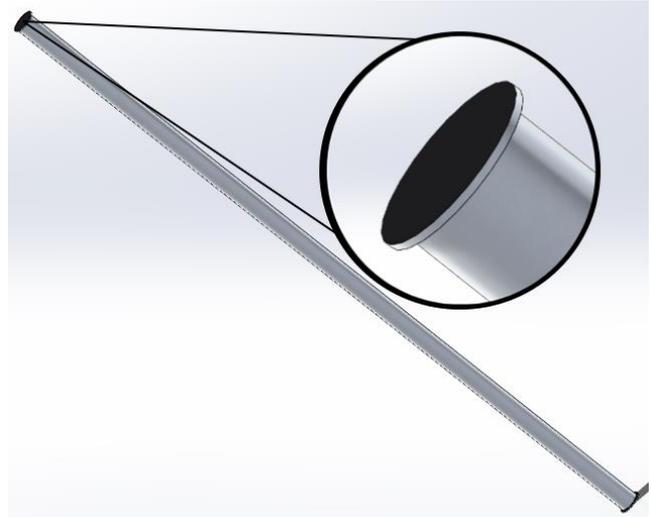


Fig. 2. Eje central que une ambos pares de eslabones.

La estructura de la placa se diseñó a partir de un prisma rectangular con un grosor de 0.5 cm; se realizaron perforaciones rectangulares de 64 cm de largo y un ancho de 2 cm, con un redondeo de 0.6 cm como se observa en la fig. 3. Asimismo, se dibujó un bisel en el extremo para facilitar el ingreso al vehículo.

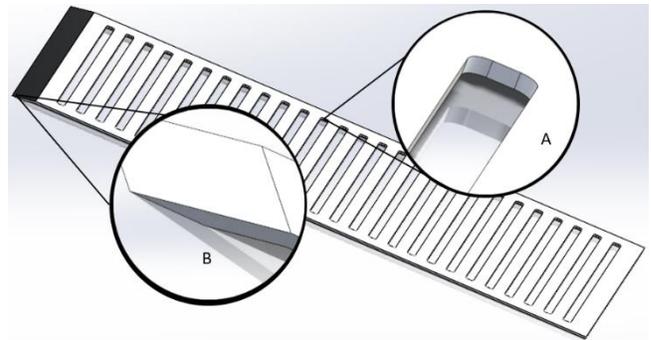


Fig. 3. Placa: A) Desliz. B) Bordeado.

Se diseñó la base de placa con extensiones laterales, tipo barandal, para el soporte del usuario, además de dos estructuras rectangulares, con un largo de 147 cm y grosor de 0.5 cm, y una separación entre ambas de 75 cm, unidas por 6 barras rectangulares de 3 cm de ancho, 74 cm de largo y 0.5 cm de grosor. Se modeló un canal de 130 cm de largo para el paso de los rodamientos, que permitirían el ascenso del sistema, y que se encuentra dentro de las caras laterales internas. En la misma estructura existe una corredera con la medida de la rampa para que entren los pivotes y se permita el recorrido de ésta como se observa en la fig. 4A. Igualmente, en los laterales existe un barreno con 1.8 cm de diámetro, donde se acopla el eje del tornillo sin fin, como se observa en la fig. 4B.

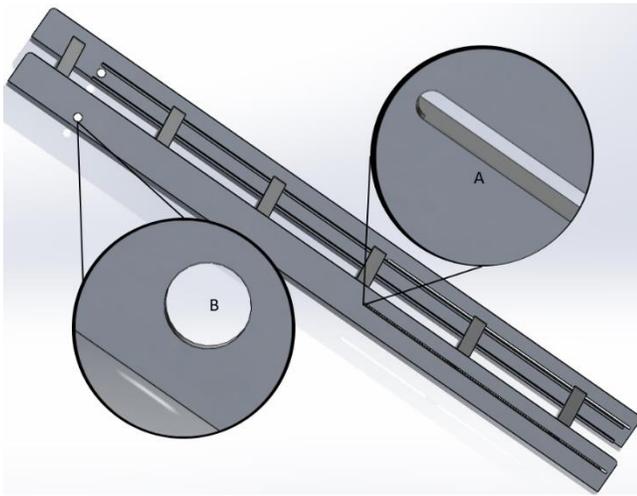


Fig. 4. Base de placa: A) Barreno. B) Corredera.

Se dibujó la bancada del sistema con un largo de 147 cm y ancho de 75 cm, al igual que 4 barrenos de 2 cm de diámetro en cada vértice. En los laterales de la bancada se conectó una corredera para el paso de los rodamientos. Se observa esta estructura en la fig. 5.

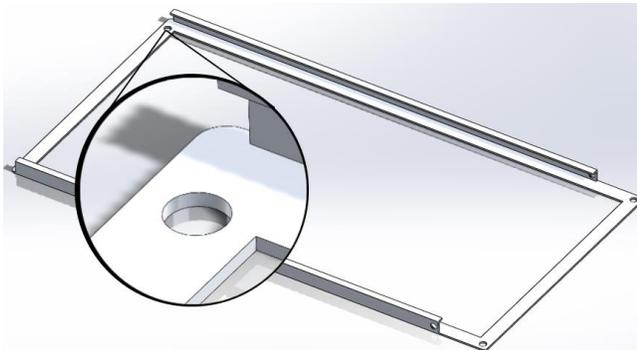


Fig. 5. Base de piso con acercamiento al barreno.

Al tornillo sin fin se le asignó un largo de 138.75 cm y un diámetro de 1.4 cm; en uno de sus extremos se colocó una cabecilla de 1.8 cm para acoplar la manivela (fig. 6A). Por otra parte, para darle articulación al sistema, se hicieron dos tipos de ejes, uno acoplado directamente a la base de piso y otro móvil, que se desliza en toda la corredera (fig. 6B y C, respectivamente).

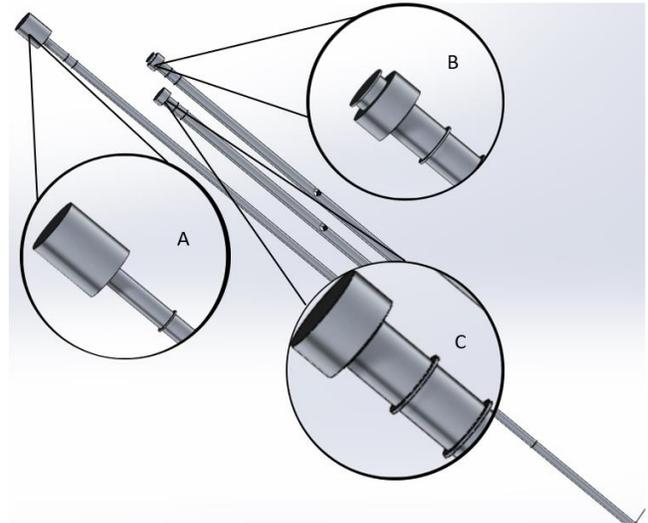


Fig. 6. A) Tornillo sin fin. B) Eje de pase de piso. C) Eje móvil.

La rampa se diseñó con una longitud de 100.2 cm y un ancho de 74 cm, se realizó una apertura central para obtener dos canales donde pasarían las ruedas, cada uno con un ancho de 20 cm; éstos se conectaron al extremo del pivote, como se observa en la fig. 7A.

A continuación, se trabajó el pivote de unión, que es un cilindro que sobresale de los laterales de la rampa y se encuentra en uno de sus extremos, permitiendo el acoplamiento de la rampa a la placa y su desliz; tiene una extensión de 76 cm, con un sobresaliente de 1 cm por cada lateral. En la rampa, al extremo opuesto del pivote de unión se diseñó un desnivel, cómo se observa en la fig. 7B.

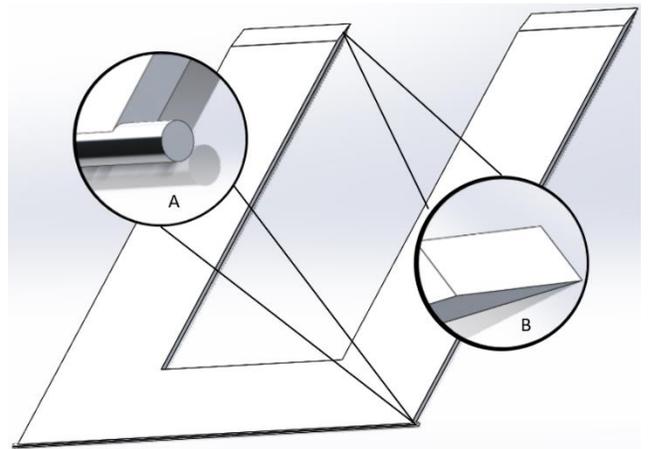


Fig. 7. Rampa: A) Pivote. b) Desliz.

Finalmente se ensamblaron todas las piezas.

#### *Análisis de elemento finito*

Para realizar el análisis de elemento finito se ensambló el diseño en SolidWorks; posteriormente, se hizo un estudio estático y se utilizó una malla sólida con geometría de triángulos en toda la superficie del ensamblaje. A continuación, se definieron las propiedades del material para cada componente del ensamblaje, como resultado de las cuales se eligió el aluminio 2024 y hierro dúctil para el

diseño. También se seleccionó la aplicación de una sola carga de 1962 N a la placa (correspondientes al peso de una masa de 200 kg). Después, se realizó un análisis estático de tensión, en donde se configuraron uniones fijas para que el ensamblaje no se desplazara en ninguna dirección; las sujeciones que son la parte inferior de los cuatro niveladores se configuraron con geometría fija, finalmente se ejecutó la simulación, con los datos de nuestro sistema, para calcular el comportamiento del modelo bajo las condiciones de nuestro interés. Los resultados obtenidos, se discuten en la siguiente sección.

## Resultados y Discusión

Como resultado de la medición de la camioneta se obtuvieron las dimensiones mostradas en la fig. 8, donde se especifican las áreas para el almacén del sistema de elevación como se observa en la fig. 8A, que anteriormente correspondía al área del copiloto. De igual forma, para el sistema de seguridad y sujeción del usuario de silla de ruedas, es necesario remover dos asientos adicionales, contando con un ancho de 85 cm indicado en la fig. 8B. Por lo tanto, lo señalado en la fig. 8C, corresponde a una fila de dos asientos, mientras que, en la 8D, se muestra un asiento y por último, la 8E pertenece a la última fila con cuatro asientos.

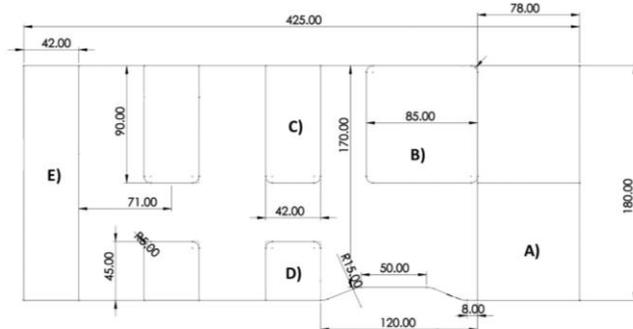


Fig. 8. Esquema del interior del vehículo. A) Almacén del sistema de elevación. B) Sistema de seguridad y sujeción. C) Asientos de la primera fila. D) Asiento individual. E) Fila de cuatro asientos.

Como resultado del diseño, todo el ensamblaje del sistema tiene un peso de 39.7 kg y una altura de 10 cm cuando está totalmente plegado como se aprecia en la fig. 9, alcanzando una longitud de la rampa de 100 cm, para conseguir una pendiente del 10% por lo tanto, se logró una relación 1:10 en dichas dimensiones.



Fig. 9. Sistema de elevación plegado.

Se analizaron los materiales más utilizados en la industria, priorizando las propiedades mecánicas que poseen, seleccionando finalmente dos materiales: aleación de aluminio 2024 y hierro dúctil. La aleación de aluminio 2024 pertenece a la serie 2XXX, y su principal elemento aleante

es el cobre, que aporta una mayor resistencia a la tracción y dureza, lo que lo hace muy adecuada para su uso en sistemas que requieren una alta resistencia y durabilidad. Sin embargo, al ser sometida a tratamiento térmico, su resistencia a la corrosión disminuye. No obstante, la aleación 2024 presenta dos propiedades esenciales: una elevada resistencia a la fatiga, que se ve representada por su límite elástico de 75,829,100 N/m<sup>2</sup>, y una ligereza adecuada representada por una densidad de masa con un valor de 2800 kg/m<sup>3</sup>, lo que la convierte en una excelente opción para la construcción de rampas para sillas de ruedas [9]. Las partes del sistema que poseen este material son la base de piso, base de placa, brazo-1, brazo-3, brazo-4, brazo-5, eje\_2-1, eje\_3-1, eje\_5-1, eje\_6-1, placa-1, rampa-2, soportes-1, soportes-2, soportes-3, soportes-4, tornillo de soporte 1, tornillo de soporte 2, tornillo de soporte 3, tornillo de soporte 4. Por otro lado, el hierro dúctil es un tipo de hierro fundido en el que el grafito se presenta en forma de pequeñas esferas o nódulos. El carbono, el silicio y el fósforo son los elementos constituyentes de la fundición del hierro dúctil, que a su vez determinan la resistencia y dureza del material y tienen mayor influencia en sus propiedades mecánicas, entre estas destacan la alta ductilidad y resistencia, que se aprecia de mejor manera debido al límite elástico de 551,485,000 N/m<sup>2</sup> que posee y que lo hace adecuado para su uso en una variedad de aplicaciones industriales [10]. En el diseño del sistema, este material es utilizado para las partes del eje\_0-1 y eje\_1-1.

Como consecuencia del análisis de elemento finito realizado en SolidWorks se obtuvieron los siguientes resultados a partir de la interpretación de la gráfica y la escala de colores. En el análisis estático de tensiones se muestran las tensiones que se están concentrando en un milímetro cuadrado, se pueden visualizar los valores con su respectivo color al costado derecho de la fig. 10. La mayor parte del ensamblaje muestra una tensión que no produce deformación con un valor mínimo de 1.479e+00N/m<sup>2</sup>, por lo que estará estable, algunas partes muestran un color azul más claro ya que son las zonas que concentran más la tensión.

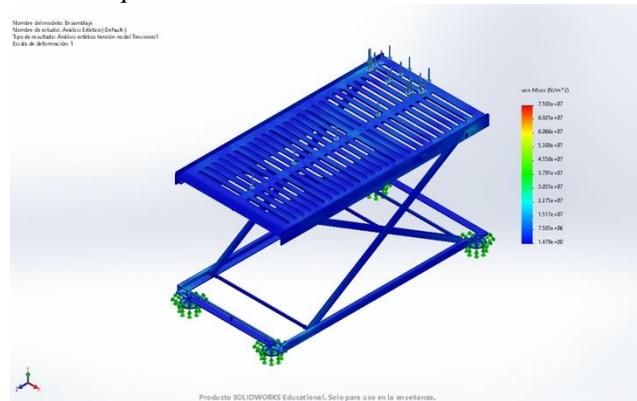


Fig. 10. Análisis estático de tensiones.

En el análisis estático de desplazamientos, la escala de color nos muestra qué tanto desplazamiento sufrirá el sistema,

teniendo en cuenta que el color rojo (valor máximo) muestra mayor desplazamiento que el color azul (valor mínimo). Como se puede observar en la fig. 11 las partes más cercanas a las sujeciones son las que sufrirán un menor desplazamiento, mientras que sufrirán de mayor desplazamiento las zonas más lejanas a las sujeciones.

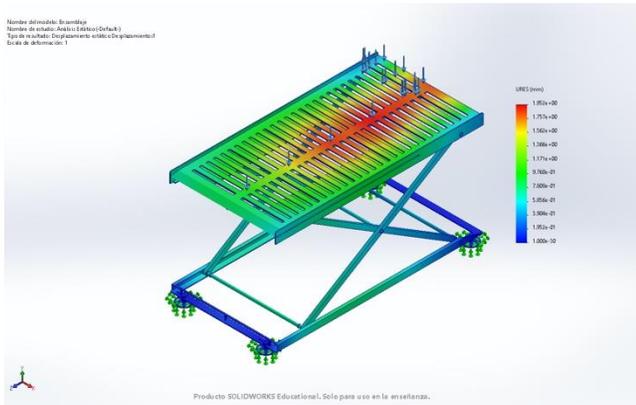


Fig. 11. Análisis estático de desplazamientos.

En el análisis estático de deformaciones podemos observar, de acuerdo con la escala de color en la fig. 12, que el ensamble no será deformado al aplicarse la carga de 1962 N. Hay algunas partes que se muestran con un color azul más claro, pero esto se debe principalmente a la malla inicialmente colocada. Es muy similar al análisis de tensiones.

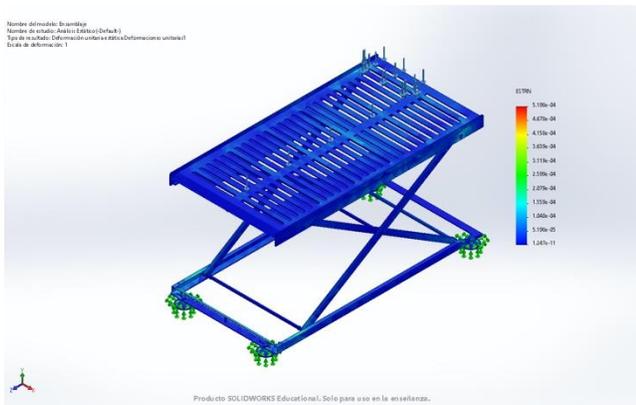


Fig. 12. Análisis estático de deformaciones.

En el análisis estático del factor de seguridad indica cuál es el valor más seguro en el que va a resistir el ensamble. Si el valor mínimo estuviera debajo de 1, el ensamble sería propenso a romperse, por lo que un resultado satisfactorio estaría arriba de 1. En la fig. 13, se puede observar que todo el ensamble está de color azul, el valor mínimo es de 1.168, lo que quiere decir que el ensamble va a resistir el 116% de la carga asignada.

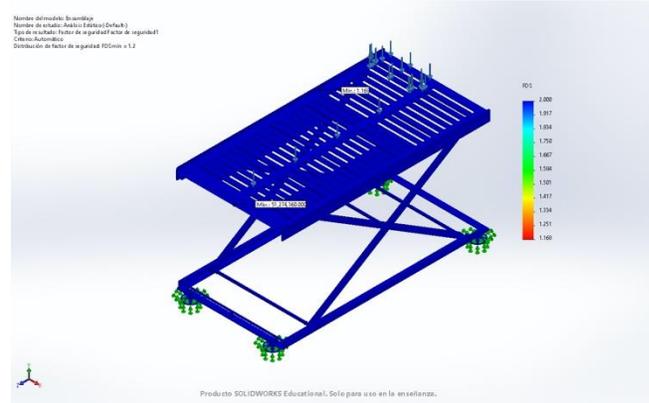


Fig. 13. Análisis estático de factor de seguridad.

## Conclusiones, perspectivas y recomendaciones

Actualmente existen obstáculos en medios de transporte para las personas en sillas de ruedas. Este trabajo propone el diseño en SolidWorks de un sistema mecánico de ascenso para facilitar la accesibilidad al transporte escolar. Se eligió el sistema de tijera por la relación simplicidad-eficacia al momento de diseñar el mecanismo. Debido a que las camionetas Hiace 2014 forman parte de las unidades de transporte para la UIA se seleccionaron para este diseño. Conforme a lo obtenido en los resultados, se determinó que deben retirarse cuatro asientos del vehículo, dos correspondientes a la zona para resguardar el sistema de elevación y dos más para obtener el espacio suficiente para la adaptación del sistema de seguridad y sujeción del usuario de silla de ruedas. En lo referente al análisis de elemento finito, se constató que al aplicar una fuerza vertical hacia abajo de 1962 N en la mayor parte del sistema no se produce deformación, asimismo las partes más cercanas a las sujeciones son las que sufren un menor desplazamiento, mientras que las más alejadas de las sujeciones mayor desplazamiento, igualmente el factor de seguridad obtenido, indica que el sistema resiste el 116% de la carga asignada. La perspectiva a futuro es la construcción e implementación del sistema físico en transportes universitarios en la ciudad de Puebla, por tal razón se debe asegurar que el factor de seguridad mínimo sea de 1, actualmente el sistema cumple con este requerimiento, no obstante, se pretende hacer cambios en los materiales para permitir que el elevador sea más ligero y se incremente el factor de seguridad, asimismo hacer un cambio de mecanismo para automatizar el ascenso y descenso de usuarios, con el fin de facilitar el caso de uso para quien asista al usuario de silla de ruedas.

## Referencias

1. Sanna, D. **¿Cómo funciona un elevador de tijera?** *RK Elevaciones*, 2022. <https://rkelevaciones.com/como-funciona-un-elevador-tijera/> (Karmamobility, 2020)(Activo Abril 2023)
2. Mena M. E. y Víscaíno J. L. **Diseño y construcción de un sistema de ascenso mecánico para personas en silla de ruedas a autobuses urbanos.** *Repositorio Digital Universidad Técnica del Norte*, 2018. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/7983> (Activo Abril 2023)
3. Organización de las Naciones Unidas. **Convención Sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad.** 2008 <https://www.un.org/esa/socdev/enable/documents/tccconvs.pdf> (Activo Abril 2023)
4. Organización Mundial de la Salud. **Discapacidad.** 2022. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/disability-and-health>. (Activo Abril 2023)
5. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. **Estadísticas a propósito del día internacional de las personas con discapacidad (datos nacionales).** 2021. (Karmamobility, 2020)(Activo Abril 2023)
6. Hernández J. F. y Verdugo H. D. **Diseño y construcción de un prototipo de elevador de acceso para personas con movilidad reducida en buses de transporte urbano.** *Repositorio Digital Universidad Técnica del Norte*, 2016. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4657> (Activo Abril 2023)
7. Báez M., Duarte R. y Núñez J. **Wheelchair prototype with elevator based on scissors system for people with lower limb disabilities.** *IEEE CHILEAN Conference on Electrical, Electronics Engineering, Information and Communication Technologies*, 2021. [10.1109/CHILECON54041.2021.9702892](https://doi.org/10.1109/CHILECON54041.2021.9702892) (Activo Abril de 2023)
8. Martínez M. y Fiallo F. **Diseño y construcción de un mecanismo de accionamiento hidráulico-neumático que permita el acceso a personas con discapacidad física en un bus tipo urbano.** *Repositorio Institucional de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*, 2015. <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/10057> (Activo Abril 2023)
9. Dirección General De Normas. **NMX-R-090-SCFI-2016 Escuelas - Elementos para la accesibilidad a los espacios de la infraestructura física educativa – requisitos.** *Secretaría De Economía*, 2016. (Activo Abril de 2023)
10. V. Rico Suárez, **Análisis de las propiedades mecánicas de tenacidad, esfuerzo de tensión y dureza de la aleación de aluminio 2024 T4, tratado térmicamente mediante el endurecimiento por precipitación a 180° C,** *Universidad Libre*, 2016. <https://hdl.handle.net/10901/9473> (Activo Abril de 2023)