

# Diseño de un vehículo tripulado de exploración exoplanetaria

Laury Valentina Albarracín Campos, Juan Manuel Argüello Espinosa, Silvia Fernanda Delgado Sánchez, Juan Camilo Martínez Serpa

Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga, Colombia

[laury.albarracin.2022@upb.edu.co](mailto:laury.albarracin.2022@upb.edu.co), [juan.arguello@upb.edu.co](mailto:juan.arguello@upb.edu.co), [silvia.delgado.2022@upb.edu.co](mailto:silvia.delgado.2022@upb.edu.co),  
[juan.martinez.2019@upb.edu.co](mailto:juan.martinez.2019@upb.edu.co)

**Resumen**— El diseño conceptual de un vehículo tripulado de exploración exoplanetaria se desarrolló a partir de la necesidad de la implementación de un sistema de suspensión por eslabones, para un vehículo tripulado que se enfrentará a topografías hostiles, por medio de la propuesta de un prototipo virtual, utilizando una metodología para el desarrollo de productos de forma estructurada, y haciendo una revisión exhaustiva de soluciones creadas por las diferentes agencias espaciales a nivel mundial, de robots autónomos desarrolladas para enfrentar la exploración del planeta Marte, que se pudieran adaptar a unos requerimientos de diseño previamente establecidos.

**Palabras Clave**— Vehículo tripulado, exploración exoplanetaria, sistema de suspensión por eslabones, topografía hostil

Recibido: 26 de enero de 2024. Revisado: 17 de abril de 2024. Aceptado: 14 de junio de 2024.

## Design of a manned exoplanetary exploration vehicle

**Abstract**— The conceptual design of a manned exoplanetary exploration vehicle was developed, from the need to implement a link suspension system for a manned vehicle that will face hostile topographies, through the proposal of a virtual prototype, using a methodology for the development of products in a structured way, and doing an exhaustive review of solutions created by the different space agencies worldwide, of autonomous robots developed to face the exploration of the planet Mars, which could be adapted to certain design requirements previously established.

**Keywords**— Manned vehicle, exoplanetary exploration, link suspension system, hostile topography.

## 1 Introducción

Los esfuerzos de la humanidad por estudiar y explorar el espacio como un reto científico han involucrado tanto seres humanos como vehículos autónomos de apoyo (*robots*). Uno de los planetas que más interés ha despertado es Marte, el cual ha sido objeto de diferentes misiones que han pretendido responder la pregunta sobre la existencia de la vida en algún momento en dicho planeta, y la posibilidad de ser habitado por la raza humana. En los últimos años, estos robots de exploración se han caracterizado por incorporar en su sistema de suspensión y motorización, el sistema de suspensión por eslabones conocido como *rocker-bogie* [1], que presenta gran fiabilidad y seguridad para los sistemas de transporte al ser usados en terrenos irregulares. El siguiente paso que los diferentes expertos indican que seguirá, será el establecimiento de una base permanente, donde los humanos podrán explorar el planeta rojo, permitiendo determinar la viabilidad de la construcción una colonia que

amplíe las posibilidades de recursos y entornos seguros para vivir. Es así como desde la Facultad de Ingeniería Mecánica y la Dirección de investigación y transferencia, de la Universidad Pontificia Bolivariana, seccional Bucaramanga; en articulación con el semillero de investigación en ingeniería mecánica (SIIM), se abordó el diseño y modelamiento CAD de un vehículo de exploración espacial tripulado, usando el sistema de eslabones *rocker-bogie*, presentando una propuesta robusta, confiable, eficiente y adaptable, para un vehículo de exploración exoplanetario.

Este artículo describe el proceso de diseño conceptual de un vehículo tripulado de exploración espacial, por medio del análisis y selección de un método de diseño de productos estructurado, que se adapte a condiciones topográficas hostiles, por medio de la implementación de un sistema de suspensión por eslabones, y tomando como referente vehículos no tripulados desarrollados por diferentes agencias espaciales para la exploración de Marte.

## 2 Objetivos de la propuesta de diseño

El objetivo general de la propuesta de diseño fue desarrollar un prototipo virtual de un vehículo tripulado de exploración exoplanetario, por medio de la investigación de los fenómenos que lo afectan y el modelamiento (CAD) de este; con el fin de ampliar y aplicar los conocimientos en ingeniería mecánica en sistemas de transporte en terrenos que presenten condiciones topográficas hostiles.

Los objetivos específicos fueron tres: 1. Recopilar la información teórica necesaria sobre los sistemas de transporte exoplanetario, así como las condiciones topográficas que afectan estos sistemas, que permita establecer los parámetros de diseño del vehículo de exploración. 2. Diseñar el sistema de transporte exoplanetario a partir de un sistema de suspensión tipo *rocker-bogie*, como resultado del primer objetivo específico. 3. Validar la funcionalidad geométrica, mediante un estudio de movimiento, representando el funcionamiento del vehículo de exploración diseñado, permitiendo determinar su correcto desempeño sobre un terreno topográficamente hostil seleccionado.

## 3 Marco Teórico

Spirit, Opportunity [3] y Curiosity [4] pueden ser considerados dentro de los vehículos no tripulados de exploración y

reconocimiento de superficie exoplanetaria, desarrollados por parte de la NASA, encargados de realizar la actividad científica en la superficie de Marte, y donde se presenta la innovación tecnológica en cada uno de ellos. Aunque no son los únicos antecedentes registrados hasta la fecha, permitirán que misiones futuras sean más exitosas.

Spirit y Opportunity [3], cuya configuración se observa en la Fig. 1, fueron vehículos exploradores o *rovers* gemelos dedicados a tareas geológicas en el suelo marciano. Aterrizando en 2004 y en opuestas zonas geográficas, tenían como función la recolección de rocas en busca de evidencia de rastros de agua que permitieran establecer la existencia previa de cuerpos hídricos como ríos y lagos [2].



Figura 1. Diseño de vehículos exploradores gemelos Spirit y Opportunity  
Fuente: [2].

La Fig. 2 muestra al vehículo explorador Curiosity, que aterrizó en Marte en 2012, siendo más grande comparado con sus antecesores y presentando también mejores prestaciones tecnológicas para cumplir con sus actividades de exploración. Tenía como función la recolección de evidencia microbiana en rocas posiblemente formadas en cuerpos de agua marcianos, encontrando componentes químicos que pueden soportar la vida [2].



Figura 2. Vehículo explorador Curiosity  
Fuente: [4].

Anterior a lo descrito, los tripulantes de algunas de las misiones Apollo de la Nasa, tuvieron acceso a un vehículo de transporte tripulado, denominado LRV (Lunar Roving Vehicle, por sus siglas en inglés), Fig. 3; que permitía a los astronautas aumentar el rango de alcance de sus actividades investigativas durante la exploración de la superficie lunar sobre un radio de funcionamiento delimitado por el módulo de alunizaje [5].



Figura 3. Vehículo de exploración lunar (LRV)  
Fuente: [4].

A partir de los hallazgos por parte de los vehículos de exploración exoplanetaria, y el análisis de entornos semejantes en la tierra; se establecieron, unas condiciones topográficas ideales de Marte; teniendo como característica, los afloramientos rocosos generados por el frecuente impacto de meteoritos, que derivan en la formación de cráteres de diámetros que llegan a superar los 70 km. Además, Marte cuenta con el volcán más grande del sistema solar, llamado Monte Olimpo; ya que su superficie está compuesta por una única placa tectónica que favorece la abundante formación de cuerpos volcánicos, agregando un punto a favor a este cuerpo celeste para el estudio de su actividad sísmica, y cómo se compone la estratificación de su suelo [6]. La Fig. 4, permite visualizar por medio de una escala de color aplicada sobre el mapa de la geografía de Marte, cómo se organiza su topografía a lo largo de su superficie mostrando las diferentes altitudes en unidades de kilómetros.

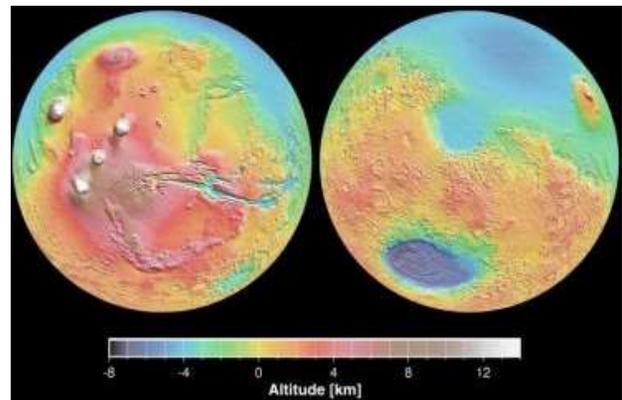


Figura 4. Topografía de Marte  
Fuente: [7].

La suspensión *rocker-bogie* es muy utilizada por agencias espaciales como la NASA, porque es un mecanismo que permite al vehículo tener alta maniobrabilidad al momento de superar obstáculos del terreno, permitiendo superar obstáculos de hasta el 50% del diámetro de sus ruedas. Este tipo de suspensión busca que las cargas se distribuyan uniformemente a lo largo de su estructura al ser dimensionado adecuadamente por medio de modelamiento geométricos [8].

Esta configuración está descrita por Flores Romero en [9], en el artículo titulado “diseño y desarrollo de un vehículo con suspensión *rocker-bogie* para supervisión en suelo agrícola”, donde se describe que se compone de dos mecanismos principales, mostrados en la Fig. 5. En el *rocker*, uno de sus extremos está articulado con un par de ruedas y los otros dos pares de ruedas, hacen el papel de mecanismo de balancín, al estar en contacto con el *bogie*. El mecanismo diferencial permite que el vehículo compense las cargas en el momento de maniobrar y superar obstáculos. Al igual, este tipo de suspensión tiene un juego extra de ruedas (6 ruedas en total), aumentando el par torsor del vehículo para superar dichos obstáculos [9].

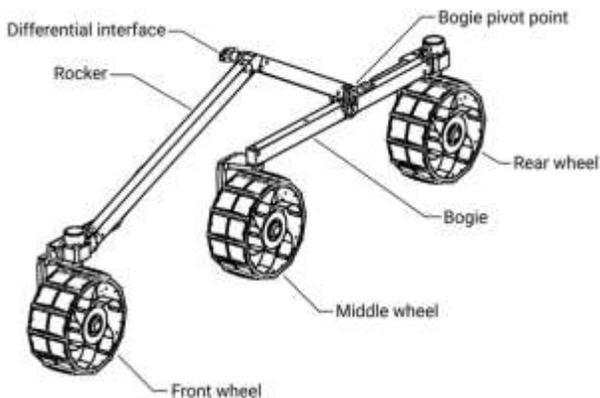


Figura 5. Suspensión *rocker-bogie*  
Fuente: [1].

Así mismo, Martín Varela, en su estudio de un rover con suspensión *rocker-bogie* para misiones en Marte; donde describe las diferentes posibilidades de suspensiones que se pueden implementar en un rover, sus componentes esenciales con sus respectivos materiales para así entender el mecanismo de funcionamiento y qué lo que hace especial al tipo de suspensión *rocker-bogie* frente a las demás [8].

#### 4 Metodología

Como una estrategia implementada por parte de la Universidad Pontificia Bolivariana, para desarrollar en los estudiantes de pregrado la cultura investigativa, se incentiva el planteamiento de pequeños retos investigativos por parte de los estudiantes, con la guía de un docente tutor.

Los métodos de diseño se presentan, principalmente para ordenar la actividad creadora del ingeniero, pretendiendo acelerar dicha actividad hasta conseguir los resultados propuestos. Estas actividades pueden resumirse en:

- 1) Búsqueda del estado del arte. En esta etapa se dará inicio a contextualización de antecedentes, marco teórico, actualidad literatura y demás tópicos referentes y pertinentes para el desarrollo teórico del proyecto.
- 2) Diseño conceptual. Primeros bocetos, borradores y diseños preliminares producto de una previa lluvia de ideas o *brainstorming* con base a la información recolectada en la búsqueda de estado del arte y marcos teóricos referenciados.
- 3) Ingeniería básica. En esta fase de la metodología, se ponen sobre la mesa todos los conceptos matemáticos, físicos e ingenieriles que van a ser aplicados en la realización del proyecto. Se establecen las metas según la trazabilidad del proyecto.
- 4) Ingeniería de detalle. Momento de la sinergia entre el paso 2 y 3. Donde se retoma todo el producto de la investigación para identificar los errores y aspectos a mejorar.
- 5) Validación y verificación. Se verifica que el vehículo de exploración diseñado cumpla las características y condiciones propuestas en los documentos de investigación, y se valida por medio de simulación en el software CAD SolidWorks, cumpliendo con los parámetros establecidos, con base a lo investigado y evaluado en la ingeniería de detalle.
- 6) Divulgación. Se entregan los resultados a la comunidad académica y científica, buscando la aprobación de este para exponerlo a comunidad estudiantil por medio de una sustentación de tesis de pregrado.

Con el fin de dar cumplimiento a las actividades investigativas propuestas, se utilizaron las metodologías de diseño formuladas por Ulrich y Eppinger [10], junto con la metodología propuesta por Shigley.

Ulrich y Eppinger, plantean en su libro “Diseño y Desarrollo de Productos”, una metodología lineal, como se aprecia en la Fig. 6, y sistemática de diseño en la que por medio de la ejecución de las denominadas “fases”, que van desde la planeación hasta el inicio de producción, obteniéndose un producto que satisfaga las necesidades de diseño establecidas durante las primeras fases de diseño, integrando tanto aspectos técnicos de diseño y fabricación, como aspectos más comerciales y relacionados al mercadeo del producto [10].



Figura 6. Esquema metodológico de diseño de Ulrich-Eppinger  
Fuente: [10].

La siguiente metodología de diseño que fue aplicada en este proyecto investigativo, es la formulada por Shigley. A diferencia de la metodología de Ulrich-Eppinger, esta se concentra más en los parámetros de diseño y el análisis de los componentes mecánicos de un producto [11].

Esta metodología, posee varias iteraciones conforme se va avanzando a lo largo de sus pasos, como se observan en la Fig. 7. Estas iteraciones permiten que el producto final diseñado, haya también pasado por un proceso de refinamiento de ingeniería, evaluando constantemente si las necesidades y retos de diseño establecidos inicialmente fueron satisfechas [11].

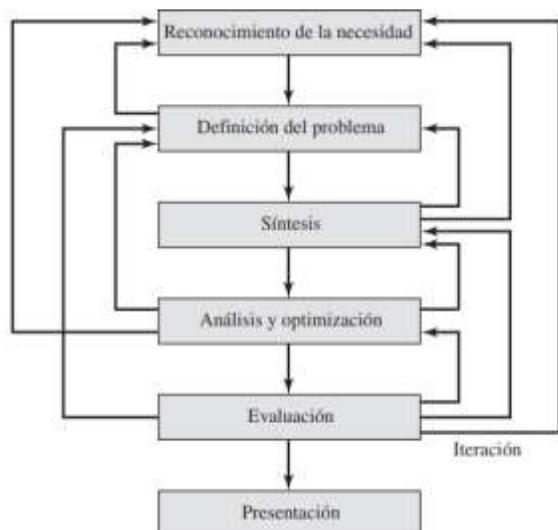


Figura 7. Esquema metodología de diseño Shigley  
Fuente: [11].

Para el caso particular de este proyecto, la aplicación de estas metodologías terminó en la “Fase 3” (Ulrich-Eppinger) y en la etapa de “Análisis y optimización” (Shigley), donde finalmente se obtuvo un diseño CAD en detalle del vehículo de exploración exoplanetaria.

## 5 Procedimiento

Durante la primera mitad de la realización del proyecto, se llevó a cabo la contextualización teórica sobre algunos de los antecedentes más importantes en los que los mismos poseían cualidades semejantes a las necesidades de diseño, determinadas por los miembros del semillero de investigación SIIM, correspondientes al diseño de un vehículo de exploración exoplanetario tripulado.

Dentro de las restricciones, planteadas gracias a la previa revisión del marco teórico, se determinó que el vehículo a diseñar debe ser autónomo, proveyendo su propia energía para su desplazamiento, un espacio para el transporte, protección y desempeño de los astronautas; el uso de sus instrumentos tanto para su diagnóstico operativo, como para la realización y transmisión de resultados de los experimentos llevados a cabo. Así mismo, los materiales para su construcción deben ser robustos, pero a la vez ligeros, lo cual le permita tener un tamaño y peso adecuados para ser lanzado dentro de un cohete Starship de SpaceX [12]. Estos materiales deben ser resistentes a la corrosión causada por el rozamiento de partículas de polvo de minerales ferrosos y de sílice principalmente, producidos por las tormentas de polvo marciano.

Por último, se estableció que el sistema de locomoción y suspensión, conocido como sistema de eslabones *rocker-bogie*, es el ideal para servir como base para el desplazamiento del vehículo en un terreno con condiciones topográficamente hostiles como las que presenta el planeta rojo en la mayoría de sus zonas.

Teniendo en cuenta los parámetros determinados en la revisión documental, se realizó el diseño conceptual, observado en la Fig. 8, previo a modelamiento 3D, en el cual los integrantes del semillero de investigación SIIM propusieron sus ideas mediante un boceto a mano alzada en donde se conjugasen los principales sistemas y/o mecanismos del vehículo.



Figura 8. Boceto de diseño conceptual de un vehículo de exploración exoplanetaria  
Fuente: [13].

El producto final de este diseño conceptual presentó una alternativa de diseño que incorporaba el sistema de suspensión *rocker-bogie*, un habitáculo con capacidad para una tripulación de hasta 4 integrantes un espacio para carga y el transporte de las muestras a una base donde se realizará la actividad científica.

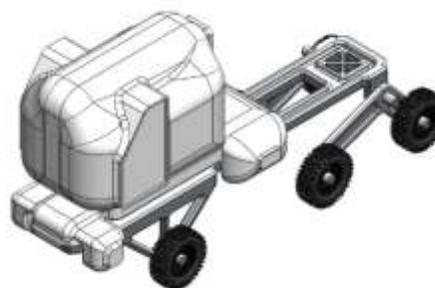


Figura 9. Vista isométrica modelo 3D vehículo de exploración exoplanetario  
Fuente: [13].

En las Fig. 9-10, se presenta el modelamiento 3D en el software CAD SolidWorks, del vehículo de exploración Exoplanetario propuesto. El habitáculo del vehículo fue diseñado de tal manera que permitiera la adecuación de instrumentación auxiliar para el apoyo en las misiones de reconocimiento, extracción de muestras y su derivada actividad científica. Asimismo, permite el ensamblaje de almacenamiento de energía eléctrica para su reserva de emergencia, así como paneles solares que nutran la misma. Las dimensiones del vehículo pueden ser ajustadas en función del cohete de referencia en el que se contemple su transporte a diferentes cuerpos celestes.

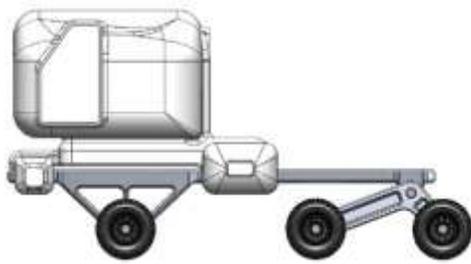


Figura 10. Vista lateral modelo 3D de un vehículo de exploración exoplanetaria  
Fuente: [13].

El sistema de suspensión aplicada en el vehículo, como previamente se mencionó, corresponde al sistema por eslabones *rocker-bogie*; esto con el fin de lograr la sinergia entre un vehículo de exploración con capacidad para todas las prestaciones tecnológicas necesarias para una avanzada y exitosa actividad científica y, además, que tenga las cualidades de un vehículo no tripulado para superar obstáculos que pongan en riesgo su estabilidad al momento de transitar sobre terrenos topográficamente hostiles.

El nivel de detalle del vehículo, así como las especificaciones de las diferentes instrumentaciones de apoyo que este poseerá, hacen parte de una siguiente fase de este proyecto, correspondiente a la fase en la que se continúan las metodologías de diseño antes mencionadas ejecutando la ingeniería de diseño y los procesos de prototipado.

## 6 Discusión

A partir de la revisión teórica se pudo establecer que los vehículos de exploración con sistema de suspensión *rocker-bogie*, son capaces de adaptarse a terrenos irregulares, como rocas, pendientes y suelos sueltos; presentando independencia en las ruedas, que junto con los brazos permiten el movimiento vertical independiente de cada una de ellas; manteniendo la estabilidad, incluso en pendientes pronunciadas, donde los brazos (*bogie*), ayudan a distribuir el peso y mantener el equilibrio; incorporando componentes resistentes y duraderos para soportar el estrés y las vibraciones durante la exploración; lo que permite proporcionar tracción suficiente para superar obstáculos y evitar atascos, teniendo claro que el diseño del vehículo de exploración debe permitir un acceso fácil para el mantenimiento y la reparación de las ruedas y demás componentes; donde las piezas deben sean reemplazables y modulares para facilitar las operaciones en terreno.

## 7 Conclusiones

La contextualización teórica, permitió cumplir con el objetivo específico 1, ayudando a comprender el funcionamiento de vehículos de exploración tripulados y autónomos usados previamente en misiones de exploración de superficies exoplanetarias en el pasado; permitiendo la definición de los parámetros de diseño del vehículo propuesto sean coherentes con los retos que el mismo debía satisfacer para que tuviese una adecuada funcionalidad.

La correcta aplicación de las metodologías de diseño mencionadas en este artículo, derivaron en lograr cumplir con el objetivo específico 2, de desarrollar un diseño conceptual del vehículo de exploración exoplanetario, expresado por medio de un boceto y un posterior modelamiento CAD, que logró reunir las propuestas e ideas generadas, donde dicho diseño, a pesar de no ser complejo, mezcló las mejores características de vehículos de exploración tripulados y autónomos para que los retos de diseño establecidos luego la recopilación teórica, puedan ser superados de forma eficiente y segura; pero presentado como limitante, que se trata de un modelo computacional modelado y ensamblado bajo condiciones ideales.

El estudio de movimiento generado en el software de modelamiento y simulación CAD, SolidWorks, permitió cumplir con el objetivo específico 3 de validar el diseño, a partir de la determinación que la funcionalidad geométrica del vehículo de exploración propuesto era correcta, dado que el vehículo mantuvo su estabilidad e integridad durante la superación de un obstáculo estándar. De esta manera, el prototipo virtual presenta una alta viabilidad, permitiendo que el diseño propuesto pueda continuar su proceso a lo largo de las siguientes etapas de las metodologías de diseño mencionadas previamente en este artículo, previendo que como segunda fase se pueda construir un prototipo funcional a escala, que permita validar los resultados obtenidos.

## Referencias

- [1] D. Rodríguez-Martínez, D. Uno, K. Sawa, y otros, "Enabling faster locomotion of planetary rovers with a Mechanically-Hybrid suspension," *IEEE Robotics and Automation*, vol. 9, no. 1, pp. 619-626, enero 2004. DOI: [10.1109/LRA.2023.3335769](https://doi.org/10.1109/LRA.2023.3335769).
- [2] A. Clos Rodríguez, "Estudio de un rover para misiones a Marte", Trabajo final de grado, Universidad Politécnica de Cataluña, 2020. Disponible en: <http://hdl.handle.net/2117/328666>.
- [3] JPL. Nasa. (s. f.). Spirit and Opportunity. Jet Propulsion Laboratory. Nasa. California Institute of Technology. Disponible en: <https://www.jpl.nasa.gov/missions/mars-exploration-rover-spirit-mer-spirit>.
- [4] Nasa. (s. f.). Mars Curiosity Rover. Nasa Science. Mars Exploration. Disponible en: <https://mars.nasa.gov/msl/home/>.
- [5] The Apollo Lunar roving vehicle. (s. f.). Disponible en: [https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/lunar/apollo\\_lrv.html](https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/lunar/apollo_lrv.html).
- [6] L. A. Spalletti, "Geología de Marte, nuestro inquietante vecino," Museo, vol. 28, pp. 69-80, 2016. Disponible en: <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/56902>.
- [7] JPL-Nasa. (2001, 17 enero). Topografía de Marte. Photojournal. Disponible en: <https://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA02820>.
- [8] H. Martín Varela, "Estudio de un rover con suspensión *rocker-bogie* para misiones en Marte," Trabajo final de grado, Universidad Politécnica de Cataluña, 2021. Disponible en: <http://hdl.handle.net/2117/360872>.
- [9] H. Flórez Romero, J. M. Xicoténcatl Pérez, F. Nava Leana y E. S. Espinoza Quesada, "Diseño y desarrollo de un vehículo con suspensión *rocker-bogie* para supervisión en suelo agrícola," en Celaya, Guanajuato, México, 9-11 de noviembre de 2016. Academia Journals, 2016, p. 5. Accedido el 10 de agosto de 2023. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/319019426\\_DISENO\\_Y\\_DESARROLLO\\_DE\\_UN\\_VEICULO\\_CON\\_SUSPENSION\\_ROCKER-BOGIE\\_PARA\\_SUPERVISION\\_EN\\_SUELO\\_AGRICOLA](https://www.researchgate.net/publication/319019426_DISENO_Y_DESARROLLO_DE_UN_VEICULO_CON_SUSPENSION_ROCKER-BOGIE_PARA_SUPERVISION_EN_SUELO_AGRICOLA).
- [10] K. T. Ulrich y S. D. Eppinger, Diseño y desarrollo de productos, 5.a ed. McGraw Hill, 2013. Disponible en: [https://disenoing.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/10/diseño\\_y\\_desarrollo\\_de\\_productos\\_5ed\\_k.pdf](https://disenoing.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/10/diseño_y_desarrollo_de_productos_5ed_k.pdf).

- [11] R. G. Budynas y J. K. Nisbett, *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*, 9.a ed. McGraw Hill, 2010. Disponible en: <http://www1.frm.utn.edu.ar/electromecanica/materias%20>
- [12] “Starship”. SpaceX. Accedido el 16 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.spacex.com/vehicles/starship/>
- [13] L. V. Albarracín-Campos, J. M. Argüello-Espinosa, S. F. Delgado-Sánchez y J. C. Martínez-Serpa, *Bocetos del diseño conceptual de un vehículo de exploración exoplanetaria*, Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga, 2024.

**J. M. Arguello Espinosa** es Docente Asociado de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Pontificia Bolivariana, Seccional Bucaramanga.

**L. V. Albarracín Campos** cursa la carrera de Ingeniería Mecánica en la Universidad Pontificia Bolivariana, es integrante del semillero SIIM.

**S. F. Delgado Sánchez** cursa la carrera de Ingeniería Mecánica en la Universidad Pontificia Bolivariana, es integrante del semillero SIIM.

**J. C. Martínez Serpa** cursa la carrera de Ingeniería Mecánica en la Universidad Pontificia Bolivariana, es integrante del semillero SIIM.