

ANÁLISIS ESTÁTICO DE UN CHASIS ATV PARA UN SISTEMA DE ASPERSIÓN DE AGROQUÍMICOS

Ávila-Ramírez Salvador¹, Benavides-Delgado J.-Reyes¹, Bricio-Barrios Elena-Elsa¹, Figueroa-Millán Patricia-Elizabeth¹, Mireles-Delgado Flavio-Dario²,

¹Tecnológico Nacional de México, Campus Colima. División De Estudios de Posgrado e Investigación
Avenida Tecnológico 1 A.P. 10 y 128, Villa de Álvarez, 28976 Villa de Álvarez, Col.
Tel., (312) 312 6393

²UPIIZ - Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería Campus Zacatecas IPN
Calle Circuito del Gato 202, Ciudad Administrativa, 98160 Zacatecas, Zac.
Tel., (492) 924 2419

{g2346010, rbenavides, elena.bricio, patricia.figueroa} @colima.tecnm.mx, fmirelezd@ipn.mx

RESUMEN.

En respuesta a la creciente demanda de productos agrícolas y ornamentales, la horticultura ornamental se enfrenta a diversos desafíos en el manejo eficiente de cultivos, especialmente en la aplicación manual de agroquímicos en viveros. Para abordar esta problemática se propone la utilización de un vehículo todo terreno (ATV) para la automatización del proceso de aplicación de agroquímicos, con la finalidad de mejorar la precisión, eficiencia y seguridad en la actividad. Por lo tanto, se llevó a cabo el análisis estático de un chasis de un ATV para su utilización en viveros ornamentales, confirmando su idoneidad para adaptarse a un sistema automatizado de aspersión de agroquímicos. La implementación de esta solución contribuirá en la reducción de los costos operativos, mitigación de los impactos ambientales y protección de la salud de los trabajadores. Este enfoque innovador propone automatizar y mejorar la aplicación de agroquímicos en los cultivos en la horticultura ornamental.

ABSTRACT.

In response to the growing demand for agricultural and ornamental products, ornamental horticulture faces various challenges in the efficient management of crops, particularly in the manual application of agrochemicals in nurseries. To address this issue, the use of an all-terrain vehicle (ATV) is proposed to automate the agrochemical application process, aiming to improve precision, efficiency, and safety in this activity. Therefore, a static analysis of an ATV chassis was conducted for its use in ornamental nurseries, confirming its suitability for adapting to an automated agrochemical spraying system. The implementation of this solution will contribute to reducing operational costs, mitigating environmental impacts, and protecting the health of workers. This innovative approach aims to automate and enhance the application of agrochemicals in ornamental horticulture crops.

Keywords: Agrochemicals, ATV chassis, CAD, horticulture, Static analysis.

1. INTRODUCCIÓN

La horticultura ornamental ha experimentado un notable crecimiento, impulsado por la apreciación estética y el valor decorativo que las plantas aportan a los entornos urbanos y residenciales. Este desarrollo no solo enriquece la calidad visual de los espacios, sino que también plantea una serie de desafíos en la gestión eficiente de cultivos ornamentales [1].

La industria de viveros ornamentales está evolucionando hacia soluciones más eficientes y sostenibles, incluyendo la automatización de procesos como la aplicación de agroquímicos. Este proceso automatizado es crucial para el crecimiento óptimo de las plantas, pero enfrenta desafíos, especialmente en términos de impacto ambiental y seguridad laboral. Los métodos manuales tradicionales presentan riesgos significativos, y los compuestos químicos persistentes pueden dañar el medio ambiente y la salud, permaneciendo en el entorno durante largos periodos y desplazándose a otras áreas como aguas subterráneas y suelos [2].

La exposición de los trabajadores a productos químicos tóxicos es una preocupación urgente. Aquellos encargados de la aplicación manual de agroquímicos están en riesgo constante de inhalar vapores nocivos o entrar en contacto con sustancias químicas peligrosas. Esto puede tener efectos adversos para la salud a largo plazo y plantea importantes preocupaciones de seguridad en el lugar de trabajo, así como las responsabilidades de los empleadores para garantizar un entorno laboral seguro. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), los plaguicidas en países en desarrollo causan un millón de casos de intoxicación y cerca de 20,000 muertes anualmente [3].

La aplicación manual de agroquímicos en la horticultura ornamental puede ser mejorada con la automatización mediante ATV adaptados, lo que permite mayor flexibilidad en la aplicación de líquidos o granulados según las necesidades del cultivo. Los ATV están diseñados para operar en terrenos irregulares y condiciones extremas, gracias a su chasis robusto, suspensión avanzada y tracción en las cuatro ruedas. Además, su motor,, sistema de transmisión adaptable, frenos eficientes y dirección precisa aseguran estabilidad, control y capacidad para llevar cargas adicionales. [4].

El chasis de un vehículo es una estructura de acero que sirve de base para montar diversos componentes mecánicos, como el motor, los neumáticos, el sistema de dirección, etc. Se considera el componente más importante de un vehículo, ya que proporciona la resistencia y estabilidad necesarias en distintas condiciones de funcionamiento [5].

Considerando lo anterior, un análisis estático del chasis de un vehículo ATV, utilizando el método de elementos finitos, es

importante para garantizar la estabilidad y eficacia en diversas condiciones operativas. El chasis, como componente fundamental que proporciona resistencia y estabilidad, debe soportar las cargas del vehículo. Diversos estudios han demostrado que el uso del método de elementos finitos en el análisis de la estructura de un chasis permite predecir con precisión las tensiones y deformaciones bajo diferentes condiciones de carga [6].

El análisis por elementos finitos (FEA, por sus siglas en inglés) es una técnica computacional utilizada para predecir cómo responderán los materiales y estructuras bajo diversas condiciones físicas, como tensiones, deformaciones y cargas. Este método divide un objeto complejo en pequeñas unidades más manejables llamadas elementos finitos, los cuales son analizados individualmente para evaluar su comportamiento y luego combinar los resultados para obtener una visión global del objeto [7]. El FEA es fundamental en el diseño y optimización de productos en ingeniería, ya que permite reducir costos de manufactura y mejorar la confiabilidad estructural al identificar y corregir posibles fallas antes de la producción [8].

El análisis FEA se realiza mediante herramientas CAD, que facilitan la creación y modificación de diseños con software especializado. Estas herramientas, en constante evolución, mejoran la productividad de los diseñadores y permiten crear diseños más complejos y precisos utilizando gráficos interactivos [9]. La Ingeniería Asistida por Computadora (CAE, por sus siglas en inglés) se refiere a la utilización de computadoras para analizar y diseñar elementos. A diferencia del CAD, que se centra principalmente en el dibujo, diseño y modelado gráfico, el CAE se enfoca especialmente en las aplicaciones matemáticas y el cálculo de elementos [10].

SolidWorks® es un software CAD especializado en diseño mecánico 3D que permite realizar todo el proceso de diseño. A través de su interfaz y herramientas para crear piezas, ensamblajes y dibujos, el usuario puede modelar piezas en tres dimensiones y generar las vistas necesarias para crear planos. Además, incluye herramientas de productividad, gestión de proyectos, análisis y simulación, entre otras funcionalidades [11].

Por lo tanto, considerando lo anterior, este trabajo hace uso del software SolidWorks para analizar tensiones, deformaciones y desplazamientos en el chasis de un vehículo terrestre, utilizando el método de elementos finitos. El objetivo es asegurar que el diseño del chasis sea seguro en condiciones de carga máxima estimada. La investigación en el diseño y análisis del chasis es esencial para garantizar la seguridad y fiabilidad del proceso de aspersión automatizada de agroquímicos en la agricultura ornamental.

1.2 Trabajos relacionados

Se llevó a cabo una revisión de la literatura, identificando estudios enfocados en el diseño y análisis estructural de vehículos y sistemas relacionados. Estos estudios resaltan el uso de

herramientas de simulación y el método de elementos finitos para mejorar la estabilidad, seguridad y eficiencia.

Bustamante, Ludeña y Viteri [12] diseñaron un sistema de suspensión para un vehículo eléctrico, el cual les permitió brindar estabilidad y seguridad al momento de desplazarse. Analizaron los principales casos estáticos y dinámicos a los que podría presentar su sistema. El resultado del análisis lo obtuvieron con la ayuda de un software CAE.

Villa, González y Romero [13] presentaron las etapas del diseño y construcción de un chasis de vehículo eléctrico. Partiendo de un diseño conceptual, donde definen la geometría y material utilizado. Posteriormente, realizaron simulaciones utilizando el método de elementos finitos en el software SolidWorks, para analizar el comportamiento mecánico bajo una carga en el frente y lateral del chasis.

Contreras, Quezada y Ortiz [14] nos detallan su propuesta metodológica para el diseño de un chasis de kart, basándose en la caracterización de los valores obtenidos del diseño y modelado mediante el uso de software CAD y el análisis FEA, los valores que consideran son la masa, centro de gravedad del prototipo, triangulación y su geometría.

Hormazabal, Garcia, Dominguez y Franco [15] estudian el comportamiento estructural de un tanque cisterna semirremolque de una aleación de aluminio. Donde realizan la modelización y análisis por el método de elementos finitos. Hacen una comparación de dos diseños para estimar los esfuerzos estáticos internos y en base a los valores de tensiones y deformaciones presentes, logran obtener que diseño tiene una mejor relación costo-beneficio.

Vergaray [16] diseñó un pulverizador para la aplicación de fitosanitario en los cultivos de uva para una empresa. Comenzó con un levantamiento de requerimientos por parte de la empresa. Donde también implementó uso de normativas para su diseño, una vez planteado el diseño a elegir por parte de la empresa, lo realizó por medio de un software CAD y lo validó mediante el método de elementos finitos.

Como se puede observar, las soluciones presentadas se enfocan principalmente en la utilización de métodos de simulación y análisis estático para optimizar el diseño y garantizar la seguridad y eficiencia de los sistemas. Esto denota la relevancia de un análisis estático en el caso del chasis de un ATV que será empleado para la aspersión de agroquímicos automatizada, asegurando su desempeño óptimo en condiciones reales de operación.

1.3 Modelo conceptual del sistema de aspersión de agroquímicos

Considerando que se realiza el análisis estático de un ATV para la aspersión automatizada de agroquímicos en el contexto de la horticultura ornamental, a continuación, como parte del alcance de

este artículo, se presenta la propuesta del modelo conceptual de un sistema integrado para llevar a cabo este proceso. En éste se propone reutilizar como parte del ATV un chasis de cuatrimoto, adaptándolo para que sea un sistema terrestre y contenga un sistema de control para automatizar el proceso de aplicación de agroquímicos. Se eligió el lenguaje de programación Python para la programación del sistema debido a su versatilidad y alto nivel de abstracción, lo que lo hace ideal para una amplia gama de aplicaciones de desarrollo.

La infraestructura tecnológica incluye una tarjeta programable ESP32, una microcomputadora de bajo costo que satisface las necesidades del proyecto. El sistema de aspersión integra bombas, boquillas y sensores, además de un tanque para el almacenamiento de los agroquímicos. La Figura 1 muestra el modelo conceptual del sistema, el cual será adaptado al chasis del vehículo autónomo terrestre.

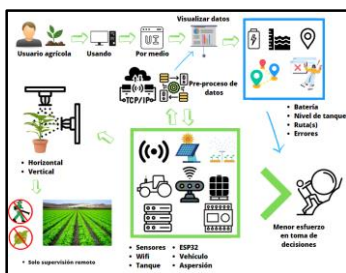


Figura 1. Modelo conceptual del sistema integrado.

Como se observa en la Figura 1, el ATV es un elemento clave para el desarrollo de la solución propuesta a la problemática presentada, siendo la base sobre la cual se integrará el sistema de aspersión de agroquímicos. Por lo tanto, de acuerdo con el alcance de este artículo, como parte de la fase de diseño, se presenta el análisis estático del ATV utilizado para la implementación del sistema de aspersión de agroquímicos.

2. Metodología

El análisis estático del chasis ATV es crucial para garantizar su integridad estructural y su rendimiento bajo diferentes condiciones de carga. Este análisis se lleva a cabo utilizando software de simulación como SolidWorks, que permite modelar y analizar detalladamente las respuestas del chasis a diversas fuerzas y momentos. Las métricas clave empleadas en este análisis incluyen la tensión de von Mises, el desplazamiento y la deformación unitaria.

2.1 Análisis de tensión de von Mises

El análisis de tensión de von Mises se utilizó para evaluar la resistencia del material del chasis ante las cargas aplicadas. Esta métrica proporciona una medida unificada de la tensión efectiva en el material, considerando las tensiones principales en todas las

direcciones. La tensión de von Mises se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}}$$

donde $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ son las tensiones principales en el material [17]. Este análisis permitió identificar las zonas críticas del chasis donde la tensión alcanza valores cercanos al límite elástico del material, indicando posibles puntos de falla.

2.2 Análisis de desplazamiento

El análisis de desplazamiento se centró en determinar cómo se deforma el chasis bajo las cargas aplicadas. Esta evaluación es fundamental para garantizar que los desplazamientos no comprometan la funcionalidad y estabilidad del vehículo. Los desplazamientos se midieron en términos de desplazamiento total y componentes en las direcciones X, Y y Z. La precisión de este análisis depende de la malla utilizada en la simulación, asegurando un balance entre detalle y eficiencia computacional [18].

2.3 Análisis de deformación unitaria

El análisis de deformación unitaria evaluó las deformaciones específicas en diferentes partes del chasis. La deformación unitaria, también conocida como strain, se mide como el cambio relativo en la longitud del material bajo carga:

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

donde ΔL es el cambio de longitud y L_0 es la longitud original [19]. Este análisis permite identificar áreas con altas deformaciones que podrían llevar a deformaciones plásticas o fallos prematuros del chasis.

3. Análisis estático

El diseño de un sistema automatizado de aspersión tiene el beneficio de mejorar la eficiencia en la aplicación de agroquímicos en viveros ornamentales. Esto no solo incrementa la productividad al reducir el tiempo y la mano de obra requeridos, sino que también podría llevar a una notable reducción de los costos operativos, mejorando así la rentabilidad del negocio en el sector de viveros ornamentales.

Por tanto, como se mencionó anteriormente, en este trabajo se llevará a cabo un análisis estático en un chasis ATV usado, con el objetivo de evaluar su capacidad para soportar las cargas aplicadas durante el proceso de aspersión de agroquímicos en viveros ornamentales. Este análisis permitirá determinar la idoneidad del chasis para adaptarse al sistema automatizado de aspersión. El chasis de ATV utilizado (ver Figura 2) presenta las siguientes dimensiones generales: longitud: 1250 mm, ancho: 660 mm, altura máxima: 420 mm.

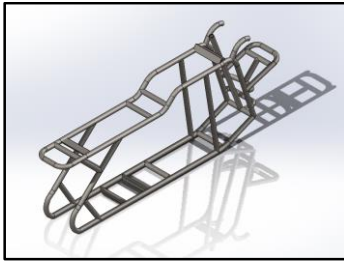


Figura 2. Geometría del chasis ATV.

Como se puede observar, este chasis está construido con acero aleado, un material que destaca por su excelente resistencia a la tracción y a la fatiga. Las propiedades del acero aleado varían según los elementos específicos utilizados en la aleación, pero generalmente incluyen una combinación de cromo, níquel, molibdeno y vanadio, lo que le confiere una alta dureza, durabilidad y resistencia al desgaste. Gracias a estas propiedades, el acero aleado se utiliza ampliamente en aplicaciones aeroespaciales, automotrices y en la fabricación de componentes de maquinaria pesada, donde es esencial soportar altas tensiones y ofrecer una notable resistencia a la fatiga [20]. La carga aplicada se distribuye en la parte superior del chasis. En la Tabla 1 se muestra el tipo de material utilizado con su respectivo módulo elástico, coeficiente de Poisson, módulo cortante, densidad, límite de tracción y límite elástico.

Tabla 1. Propiedades del material acero aleado.

Material	Acero aleado
Módulo Elástico [MPa]	210,000
Coeficiente de Poisson	0.30
Módulo cortante [MPa]	80,000
Densidad [Kg/m ³]	7,850
Límite de tracción [MPa]	800
Límite elástico [Mpa]	600

3.1 Carga aplicada

El modelo se somete a una simulación con una carga estática distribuida a lo largo de dos tubulares donde se ubica el tanque del agroquímico. El tubular tiene una longitud de 420 mm y un diámetro de 21.3 mm. El área de superficie externa se determina de la siguiente manera:

$$A_{\text{externa}} = 2\pi \times r_{\text{externo}} \times h$$

$$A_{\text{externa}} = 2(3.1416) \times (10.65 \text{ mm}) \times (420 \text{ mm})$$

$$A_{\text{externa}} \approx 28,104.75 \text{ mm}^2$$

La carga se supone como una presión uniforme obtenida del máximo peso cargado, dividida por el total de área de contacto de superficie del chasis. Su magnitud es determinada de la siguiente manera [21]:

$$\rho = \frac{F}{A} = \frac{255 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2}{0.02810475 \text{ m}^2} \approx 89,008.08 \text{ N/m}^2$$

donde:

ρ = presión (N/m²)

F = fuerza (kg x m/s²)

A = Área total de contacto (m²)

El valor 9.81 es la constante gravitacional.

El resultado obtenido de la presión es de 89,008.08 N/m², este valor es menor que el límite elástico del acero aleado, que es de 600,000 N/m². Asegurando que el material no sufrirá deformación plástica bajo estas condiciones de carga, incluso aplicando un factor de seguridad de 2.

Para la simulación, se aplicó una carga externa de 2500 N (equivalente a 254.92 kgf, lo que representa una estimación máxima) sobre el ATV. Además, se instalaron cuatro puntos de sujeción fija en las ubicaciones del eje delantero y trasero del vehículo. Estas sujeciones son críticas, ya que constituyen la base estructural sobre la cual se evaluará la resistencia y estabilidad del chasis en condiciones estáticas. Los puntos de sujeción aseguran una referencia sólida para el análisis de las cargas y tensiones que actúan sobre el chasis, permitiendo una evaluación precisa de su desempeño en diversas situaciones de carga y terreno.

Posteriormente, utilizando el software Solidworks, se generó un mallado detallado del chasis, teniendo en cuenta la geometría y las propiedades materiales como se muestra en la Figura 3. Se definen los elementos finitos y se establecen las condiciones de contorno necesarias para simular el comportamiento del chasis bajo la carga especificada. Una vez completado el proceso de mallado, se procedió a ejecutar el estudio estático para analizar las deformaciones, tensiones y factores de seguridad del chasis en respuesta a la carga aplicada.

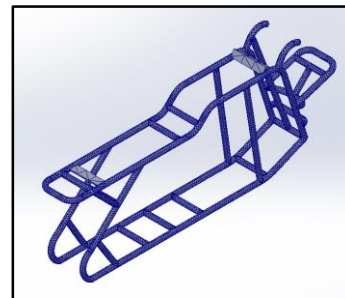


Figura 3. Malla generada del chasis en SolidWorks.

4. Resultados del análisis estático

A continuación, se presentan los resultados del análisis estático, considerando: análisis de tensión de von Mises, análisis de desplazamiento y análisis de deformación unitaria.

4.1 Resultados del análisis de tensión de von Mises

El análisis de tensión de von Mises proporciona una visión detallada de la distribución de tensiones en el modelo del chasis. Los resultados revelaron que la tensión máxima se concentra en el área superior al eje trasero, como se muestra en la Figura 4. La máxima de la tensión de von Mises registrada fue de aproximadamente 107.5 MPa, que está dentro del rango seguro en comparación con el límite de resistencia del material (600 MPa para el acero aleado utilizado en el chasis).

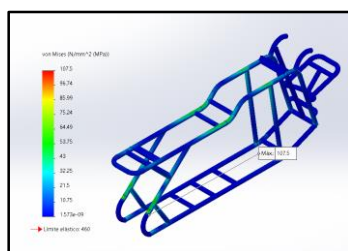


Figura 4. Análisis de von Mises del chasis.

4.2 Resultados del análisis de desplazamiento

El análisis de desplazamiento reveló los movimientos relativos de los nodos del modelo bajo las cargas aplicadas. Los desplazamientos máximos se observaron en las zonas de carga máxima. El desplazamiento máximo registrado fue de aproximadamente 0.87 mm, como se muestra en la Figura 5. Este valor de desplazamiento es aceptable y no indica un compromiso significativo en la integridad estructural del chasis.

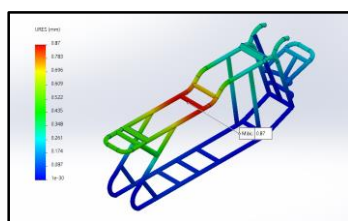


Figura 5. Análisis de desplazamiento del chasis.

4.3 Resultados del análisis de deformación unitaria

El análisis de deformación unitaria proporcionó información sobre la magnitud y distribución de las deformaciones en el modelo. Las deformaciones máximas se observaron en las regiones del eje trasero, como se muestra en la Figura 6. La magnitud máxima de la deformación unitaria fue de aproximadamente 0.000316, lo que indica que las deformaciones son relativamente pequeñas y no comprometen la funcionalidad del chasis.

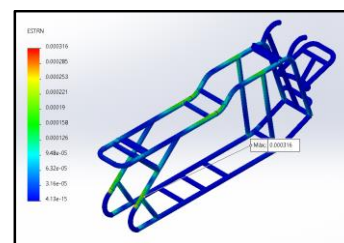


Figura 6. Análisis de deformaciones del chasis.

Los resultados del análisis estático en SolidWorks indican que el diseño del chasis de la cuatrimoto es adecuado para su adaptación, este puede resistir las cargas y las fuerzas esperadas durante su operación normal. Las tensiones, desplazamientos y deformaciones registradas están dentro de los límites permisibles y sugieren que el chasis es seguro y funcional bajo las condiciones de carga evaluadas.

5. Conclusión

La horticultura ornamental, clave para embellecer espacios urbanos, enfrenta desafíos en la gestión eficiente de cultivos. La automatización de procesos, especialmente en la aplicación de agroquímicos, surge como una solución viable para reducir el impacto ambiental y mejorar la seguridad laboral. Este trabajo propone un modelo conceptual de un sistema de aspersión de agroquímicos y realiza un análisis estático del chasis de un ATV, demostrando que puede soportar cargas y tensiones dentro de límites seguros, lo que confirma su adecuación para su adaptación a sistemas de aspersión automatizados.

Los resultados del análisis estático del chasis del ATV muestran que el diseño cumple y supera los requisitos de seguridad, con un factor de seguridad por encima de los umbrales críticos. Esto confirma la robustez y fiabilidad del chasis bajo condiciones de carga y tensión, validando su adecuación para sistemas de aspersión automatizados. Los hallazgos aseguran tanto la integridad estructural del vehículo como su eficiencia y seguridad operativa en horticultura ornamental. Además, resaltan la capacidad del ATV para soportar las exigencias operativas, contribuyendo a la sostenibilidad y automatización en procesos agrícolas.

El diseño y desarrollo de un sistema de aspersión basado en un vehículo autónomo terrestre, utilizando tecnologías como la ESP32 y programación en Python, evidencian la viabilidad de soluciones tecnológicas eficientes y sostenibles en la industria de viveros ornamentales. Los resultados sugieren que este sistema no sólo optimizará la producción, sino que también mejorará la sostenibilidad ambiental y las condiciones de seguridad laboral. En trabajos futuros, la implementación a corto plazo de estas tecnologías será un paso crucial hacia una horticultura ornamental más eficiente y responsable, alineada con las necesidades actuales de producción y conservación ambiental.

Como posible limitación es la adaptación del chasis para su funcionalidad dentro de la propuesta. Esto puede requerir modificaciones adicionales no contempladas en el análisis inicial. Al enfrentar las condiciones del mundo real, se pueden presentar variaciones en el terreno, cargas dinámicas inesperadas y desgaste material a largo plazo, que podrían afectar la integridad del chasis. Además, la adopción de nuevas tecnologías puede enfrentar resistencia por parte de los operarios acostumbrados a métodos tradicionales, afectando la eficiencia del proceso de implementación.

De igual manera, se recomienda optimizar el diseño del chasis mediante simulaciones más avanzadas que incluyan análisis dinámicos y de fatiga, evaluando su comportamiento bajo condiciones operativas variables y a largo plazo. Además, investigar y probar nuevos materiales ligeros y resistentes puede mejorar la durabilidad y reducir el peso del chasis sin comprometer su integridad estructural.

Referencias.

- [1] M. Guzmán, M. F. Quintero, El reto de la horticultura moderna en la calidad de vida, (2021).
- [2] Food and Agriculture Organization of the United Nations , Revised guidelines on environmental criteria for the registration of pesticides, (2009).
- [3] C. Martínez-Valenzuela, S. Gómez-Arroyo, Riesgo genotóxico por exposición a plaguicidas en trabajadores agrícolas, (2007).
- [4] R. Melo, S. Daniel. “Diseño del tren motriz de un vehículo híbrido todoterreno.” (2011).
- [5] M. Ravi Chandra, S. Sreenivasulu, S. A. Hussain. Modeling and Structural analysis of heavy vehicle chassis made of polymeric composite material by three different cross sections , (2012).
- [6] W Aryadi. Kriswanto, A Roziqin, J Jamari. Static Structural Analysis of the sport utility vehicles patriot chassis, (2020).
- [7] Behrens, BA. Finite Element Analysis (2019).
- [8] Um, D. Finite Element Modeling and Analysis: Introduction, (2018).
- [9] V. A. Erazo Arteaga, Computer-aided design, manufacturing, and analysis (CAD/CAM/CAE) and other digital manufacturing product development techniques in Latin America, (2022).
- [10] E. Lima Calvo. Aplicación del CAE en ingeniería estructural. (2002).
- [11] C. Rodríguez Vidal, J. López Maroño, Diseño mecánico con SolidWorks 2015, (2016).
- [12] A. F. Bustamante Robles, C. D. Ludeña Suarez, H. Viteri. Análisis de cargas que soportan los elementos del sistema de suspensión de un vehículo eléctrico biplaza, (2021).
- [13] A. Villa Salazar, E. González Montoya, A. Romero Maya. Diseño del chasis de un vehículo eléctrico para la II Competencia Nacional de Vehículos de Tracción Eléctrica, (2023).
- [14] W. Contreras, P. Quezada, L Ortiz. Propuesta metodológica para el diseño del chasis de un kart tipo KF4, (2018).
- [15] P. A. Hormazabal, B. Garcia, C. Dominguez, G. Franco, W. Giordano. R. Paz. Análisis estructural de tanque cisterna semirremolque fabricado en aleación de aluminio para transporte de combustibles líquidos (s.f.).
- [16] C. I. Castro Vergaray, Diseño de un pulverizador para la aplicación fitosanitaria en los cultivos de uva de la empresa Full Maquinarias S.A., (2020).
- [17] A. Pons Estruch. Vehículo de competición Fórmula SAE: Diseño y optimización del chasis. (2016).
- [18] Z, Olgierd Cecil. El método de los elementos finitos. Reverté. (2010).
- [19] L, Juan Tomás Celigüeta. Método de los elementos finitos para análisis estructural. JT Celigüeta, (2000).
- [20] S.Y. Liang, Z. Pan. Process and Microstructure in Materials-Affected Manufacturing. (2017).
- [21] G. Franck, S. Gennaro, B. Lonardi. Análisis dinámico de un chasis de semirremolque de servicio pesado. (2009).