

Evaluation of the mechanical properties of ABS and aluminum for the design of robot mechanisms

Isaí Jonathan Portillo Alvarado, Ingeniero en Mecatrónica, Luis José Ramón Pineda, Ingeniero en Mecatrónica, Jose Luis Ordoñez Fernández, Ingeniero Mecánico Industrial, Jose Luis Ordoñez Avila, Master en administración de proyectos²

Universidad Tecnológica Centroamericana UNITEC, Honduras, lordonez@unitec.edu¹, jlordonez@unitec.edu²

Abstract– For the present investigation, the development of a design of the mechanisms of a robot for irregular terrain, allowing movement and displacement. This was achieved through the established 4-stage study, in addition to the robot design methodology. A 4-wheel differential locomotion was determined for the robot, which allows a better movement of the robot in these areas. The respective analyzes of movement, stresses and stresses were carried out using the CAD software, SolidWorks, in order to determine the appropriate material for the manufacture of each robot part. It was determined that the most suitable material for the robot parts was 1060 aluminum, with the exception of the wheels, among other components shown in the investigation, ABS plastic being adequate, with this established, the respective robot was manufactured. Finally, it is concluded that movement analyzes carried out with the support of the CAD software, Solidworks, which included speed, acceleration, displacement and center of mass position tests, it was possible to determine that, with the proposed design, it should be used 1060 aluminum material, since with this material a better performance is obtained in these areas compared to the use of ABS plastic.

Keywords: robotics, mechanisms, kinematic analysis, dynamic analysis mechanical analysis.

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.426>
ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

Evaluación de las propiedades mecánicas del ABS y aluminio para el diseño de mecanismos de robots

Isaí Jonathan Portillo Alvarado, Ingeniero en Mecatrónica, Luis José Ramón Pineda, Ingeniero en Mecatrónica, Jose Luis Ordoñez Fernández, Ingeniero Mecánico Industrial, Jose Luis Ordoñez Avila, Master en administración de proyectos²

Universidad Tecnológica Centroamericana UNITEC, Honduras, lordonez@unitec.edu¹, jlordonez@unitec.edu²

Resumen— Para la presente investigación, el desarrollo de un diseño de los mecanismos de un robot para terrenos irregulares, el cual pueda desplazarse y movilizarse. Esto se logró a través de la metodología de estudio de 4 etapas establecidas, además, de la metodología de diseño de robots. Se determinó para el robot una locomoción diferencial, de 4 ruedas, que permite un mejor desplazamiento del robot en estos terrenos. Se realizaron los respectivos análisis de movimiento, tensiones y esfuerzos por medio del software CAD, SolidWorks, con el fin de determinar el material adecuado para la fabricación de cada pieza del robot. Se determinó que el material más adecuado para las piezas del robot era de aluminio 1060 a excepción de las ruedas entre otros componentes mostrados en la investigación, siendo el plástico ABS, adecuado, con esto establecido se procedió a la respectiva fabricación del robot. Finalmente se concluye que por medio de los análisis de movimiento realizados con el apoyo del software CAD, Solidworks, que incluían prueba de velocidad, aceleración, desplazamiento y centro de posición de masa, se pudo determinar que, con el diseño planteado, se debe utilizar el material aluminio 1060, ya que con este material se obtiene un mejor desempeño en estas áreas en comparación con el uso del plástico ABS.

Palabras claves— robótica, mecanismos, análisis cinemático, análisis dinámico análisis mecánico

I. INTRODUCTION

Un robot es un sistema formado por sensores y actuadores controlados por un ordenador para realizar diferentes tareas. En la actualidad, los robots comerciales e industriales se utilizan a menudo y realizan tareas de forma más exacta o más económicas a como las harían los humanos [1].

La manufactura aditiva ha crecido de forma increíble en los últimos años, las impresoras 3D están disponibles en todas las universidades del país. Lo que nos hace preguntarnos ¿podemos desarrollar robots con materiales polímeros? A continuación, se encontrará el estudio de ABS y Aluminio, para fabricar piezas para mecanismos de un robot.

El CAD es una técnica de análisis, una manera de crear un modelo del comportamiento de un producto aun antes de que se haya construido. Los dibujos en papel pueden no ser necesarios en la fase del diseño. La aplicación del software CAD en la ingeniería abarca la elaboración de cuadros sinópticos, diagramas de diversos tipos, gráficos estadísticos, representación normalizada de piezas para su diseño y fabricación, representación tridimensional de modelos dinámicos en multimedia, análisis con elementos finitos, aplicaciones en realidad virtual, robótica [2].

Por lo tanto, el uso de tecnología avanzada lograría un proceso con mayor eficiencia de manera directa. Gracias al desarrollo de alta tecnología se puede generar un sistema tecnológico e inteligente que logre esto. Con un robot móvil que sea capaz de transportarse a través de los impredecibles terrenos en donde existe fincas agrícolas, se atacaría este problema. Para que el robot móvil pueda desplazarse en este tipo de terrenos es necesario el diseño de un robot con la estructura, mecanismo y equipo físico necesario para lograr movilizarse a través de los terrenos variantes así, como en terrenos irregulares, donde suelen existir más obstáculos en el camino, además, de los animales que viven en los alrededores.

II. ANTECEDENTES

A. Robótica

Con la robótica se explota una fusión entre los sistemas mecánicos, los sistemas eléctricos y los nuevos métodos de computación e inteligencia. Mediante la combinación de lo mejor de las múltiples tecnologías existentes y las nuevas se está desarrollando y se desarrollará un abanico bastante asombroso de robots y sistemas robóticos [3].

Con un enfoque en los robots móviles, estos son robots con grandes capacidades de desplazamiento, basadas en carros o plataformas y dotadas de un sistema locomotor de tipo rodante. Siguen su camino por telemando o guiándose por la información recibida de su entorno a través de sus sensores. Estos robots aseguran el transporte de piezas de un punto a otro de una cadena de fabricación [4]. Guiados mediante pistas materializadas a través de la radiación electromagnética de circuitos empotrados en el suelo, o a través de bandas detectadas fotoeléctricamente, pueden incluso llegar a sortear obstáculos y están dotados de un nivel relativamente elevado de inteligencia.

Los robots móviles están provistos de ruedas, orugas o extremidades que les permiten desplazarse de acuerdo a la información que reciben a través de sus sistemas de sensores y a su programación [1]. Los robots móviles son un foco importante de la investigación actual y casi de cada universidad importante que tenga uno o más laboratorios que se centran en la investigación de robots móviles. Los robots móviles se encuentran también en la industria y los servicios.

Los robots móviles con ruedas se caracterizan por la solución más simple y eficiente de movilidad en terrenos suficientemente duros, en donde se pueden conseguir velocidades relativamente altas, sin embargo, puede patinar en cierto tipo de terrenos y

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.426>
ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

18th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: "Engineering, Integration, and Alliances for a Sustainable Development" "Hemispheric Cooperation for Competitiveness and Prosperity on a Knowledge-Based Economy", July 27-31, 2020, Virtual Edition.

además, el desplazamiento mediante ruedas no es eficiente en terrenos blandos o irregulares.

Un robot móvil, el cual es capaz de movilizarse a través de cualquier tipo de terreno es el RHex. El robot RHex [5] es un robot hexapedal de inspiración biológica diseñado para la locomoción en terrenos irregulares. Puede conducir sobre rocas, barro, arena, nieve y vías férreas. Puedes lanzar cualquier obstáculo frente a él. El hexapodo RHex original fue construido entre 1999 y 2001 por un consorcio financiado por DARPA que incluía la Universidad McGill y la Universidad de Michigan. De hecho, es el único robot que es capaz de realizar una variedad tan amplia de comportamientos como un solo robot autónomo. Este rendimiento se debe a la gran cantidad de inspiración del estudio de los sistemas biológicos, lo que lleva a una serie de principios subyacentes en el diseño de RHex. El proyecto se ha centrado principalmente en la autonomía de orden superior para el robot RHex.

B. Mecanismos

Los últimos avances tecnológicos han implicado el reemplazo de la mano de obra por mecanismos de robótica programables desde tareas cotidianas en el hogar hasta actividades complejas en la industria. Mecánicamente, un robot está formado por una serie de elementos o eslabones unidos mediante articulaciones que permiten un movimiento relativo entre cada dos eslabones consecutivos. Dependiendo de la aplicación que se le dará a un robot. Existen diferentes mecanismos utilizados para el diseño del robot, como ser un sistema de engranajes, un sistema de poleas y correa o inclusive trenes de mecanismos.

Para demostrar la funcionalidad de estos mecanismos es necesaria la realización de diferentes análisis mecánicos con el fin de determinar el comportamiento del mecanismo. Para el análisis de un mecanismo usualmente son necesarios conceptos como el de centro de gravedad, momento de inercia, velocidad angular, entre otros [6]. La mayoría de las veces un mecanismo puede ser analizado utilizando un enfoque bidimensional, lo que reduce el mecanismo a un plano. En mecanismos más complejos y, por lo tanto, más realistas, es necesario utilizar un análisis espacial.

El análisis de los esfuerzos internos de un mecanismo [7], usualmente se realiza una vez determinada su cinemática y dinámica, y en este período se hace necesario modelizar alguno de sus elementos como sólidos deformables, y así mediante los métodos de la resistencia de materiales y la teoría de la elasticidad se pueden determinar sus deformaciones, así como sus tensiones, y decidir si los esfuerzos a los que están sometidos los elementos del mecanismos pueden ser adecuadamente resistidos sin rotura o pérdida de la funcionalidad del mecanismo.

III. TEORÍA Y MÉTODOS

El presente proyecto fue basado en un enfoque cuantitativo. Esto debido a que se describió, estudió y analizó variables de datos numéricos que afectaron directamente el diseño del mecanismo del robot a través de diferentes procedimientos basados en la medición. Además, permite un mayor nivel de control en la investigación, haciendo posible realizar experimentos y obtener explicaciones sustentadas.

Para la evaluación del comportamiento del diseño del mecanismo del robot, fue necesario apoyarse en el software CAD SolidWorks, el cual permitió realizar un análisis de movimiento detallado.

Para responder al problema planteado se presenta esta sección, en la cual se describen los procedimientos, actividades y demás, utilizadas para responder a lo planteado anteriormente, de igual manera indicando la forma de analizar los datos obtenidos. Por esta razón, se presenta el desarrollo de la investigación de una manera esquematizada en un proceso de cuatro etapas diferentes y secuenciales que permitieron el desarrollo de la presente investigación. La etapa inicial fue la recolección de información, en esta etapa se obtuvo la información de mayor importancia referente al tema de investigación, desde los mecanismos más utilizados, hasta los diferentes análisis que se les debe de realizar al mecanismo para verificar su funcionamiento.

En la segunda etapa, se diseñó el mecanismo del robot, partiendo de toda la información recolectada anteriormente y obteniendo el mecanismo más apropiado para el diseño. Para realizar el diseño fue necesario apoyarse en el software de SolidWorks, el cual permitió la creación y modelado 3D del mecanismo del robot. Luego de que el mecanismo sea diseñado, se proseguirá a realizar un análisis del comportamiento del mecanismo diseñado y modelado en 3D. De igual forma, se hizo uso del software SolidWorks para realizar un estudio de movimiento a través de las herramientas de análisis que provee el software, tomando en cuenta las medidas reales, el tipo de material, el peso, entre otros parámetros que influyen en el comportamiento del robot con el fin de simular el comportamiento y movimientos que el mecanismo poseerá.

Presentan este diseño de sistemas robóticos [8] con el uso de herramientas informáticas de diseño mecánico avanzado (HIDMA), con el uso de diferentes softwares de diseño, ya que estos softwares permiten crear un modelo representativo del diseño conceptual e información relativa a éste, como modelos 3D o planos, además de que permiten validar y evaluar el desarrollo de la solución en forma analítica con el fin de generar una solución sin necesidad de utilizar diferentes conceptos, ya que mediante la simulación se podrá obtener una solución numérica al problema establecido.

Esta metodología, se estructura en diferentes partes, que permiten el diseño de un sistema robótico con el auxilio de softwares de diseño, iniciando con el diseño conceptual y el análisis cinemático, como se presenta en la ilustración 1.

Para el estudio y definición de cada subsistema contenido en el robot, se debe establecer una serie de tareas de diseño paralelamente (advirtiendo así, interacciones y limitaciones), a diferencia del diseño por disciplinas o secuencial, donde las tareas o acciones que deben efectuarse se llevan a cabo de forma secuencial [9].



Figura 1 Diseño de sistemas robóticos con herramientas informáticas. [1]

Para el diseño del sistema robótico se utilizó la metodología presentada en la figura 1, realizando los análisis respectivos del mecanismo diseñado para la funcionalidad apropiada del robot.

IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS

A. Diseño de la conceptual de la estructura del robot

El diseño tridimensional permitió asignar las medidas y parámetros deseados con el fin de obtener el mejor resultado. El diseño final fue toda la estructura del robot que permitiera su funcionalidad, se diseñó un ensamblaje, uniendo todas las partes necesarias para la estructura final, la cual se muestra en la figura 2.

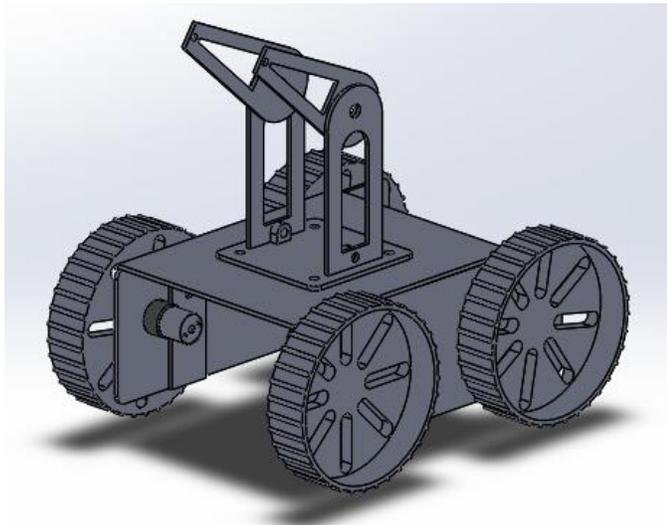


Figura 2 Diseño de la estructura final

Se puede considerar que la estructura final está compuesta por dos partes principales, las cuales son el brazo de grados de libertad y el resto de la estructura que permite la característica de movilidad del robot. El diseño del brazo es de vital importancia, debido a que en este se transportará objetos como cámaras, por lo tanto, para el diseño del brazo se consideraron diferentes aspectos, primero, se tomó en cuenta el movimiento que debe tener, debe extenderse para obtener un mejor enfoque, pero a su vez debe “escondirse” con el fin de proteger la cámara y no suceda algún accidente. Por estas razones, se determinó que el brazo debe ser capaz de moverse de manera angular, el diseño se conformó de la siguiente manera, con el diseño de diferentes partes que permiten su mejor desempeño. El resto de la estructura del robot, el cual, permite al robot movilizarse a través

del terreno previsto, así como la resistencia necesaria al ambiente encontrado dentro de estos terrenos irregulares.

El diseño de la rueda es uno de los más importantes, debido a que dependiendo del terreno objetivo, en este caso el terreno irregular fue diseñado. En el terreno, se necesita mayor tracción en las ruedas, por esta razón, se diseñó la rueda como se presenta en la figura 2. Con estos saques en la rueda, dan una mayor tracción o “agarre”, que permite una movilidad en el terreno. Las ruedas son ubicadas en el eje del motor, permitiendo desplazar el robot.

B. Análisis de cinemático de los mecanismos del robot

Fueron ejecutadas diferentes pruebas a cada parte del diseño del mecanismo presentado. Se inició con las pruebas del brazo de soporte de la cámara, para las pruebas se asignó como material específicamente el aluminio 1060.

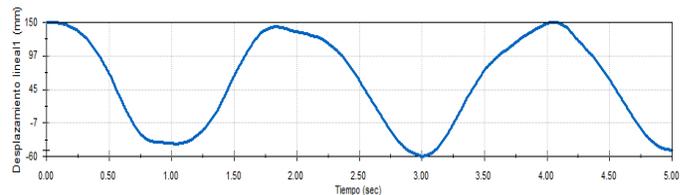


Figura 3 Desplazamiento lineal a 0.5Hz con aluminio

En la figura 3, se muestra el primer resultado realizado de la prueba de desplazamiento lineal, a una frecuencia de 0.5 Hz. Se obtuvo un desplazamiento lineal el cual osciló entre -60 a 150 mm con un periodo de tiempo alrededor de 2 segundos.

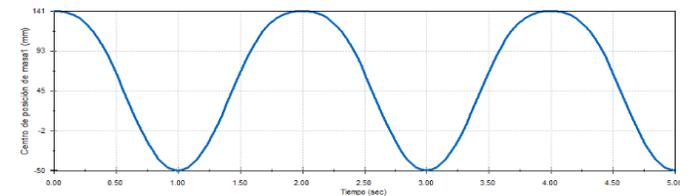


Figura 4 Centro de posición de masa 0.5Hz con aluminio

Como se presenta en la figura 4, a una frecuencia de 0.5 Hz el centro de posición de masa oscila entre los -50 a 141 milímetros, de manera cíclica, cada periodo con un lapso de tiempo de alrededor de 2 segundos.

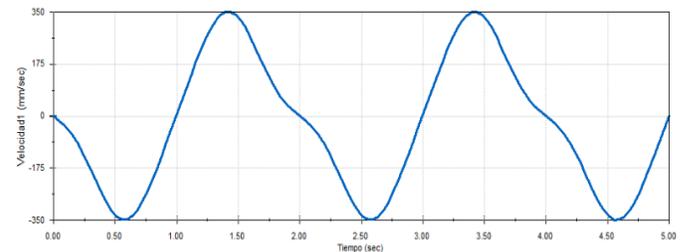


Figura 5 Velocidad lineal con aluminio

La velocidad lineal máxima obtenida del brazo como soporte de la cámara que llegó a alcanzar fue de 350 milímetros por

segundos o en su equivalente 0.35 metros por segundos como se presenta en la figura 5.

Con el fin de determinar el mejor material para la fabricación estructural del diseño, es de mucha importancia realizar las pruebas en las mismas condiciones con el uso de un material diferente, se presentan a continuación los resultados obtenidos de las pruebas del mecanismo del brazo como soporte de la cámara con el uso plástico ABS.

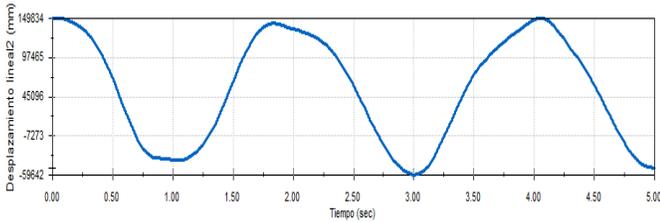


Figura 6 Desplazamiento lineal con plástico ABS

El desplazamiento lineal del mecanismo del brazo con plástico ABS, se presenta en la figura 7, a través de un estudio en un lapso de tiempo de 5 segundos con una frecuencia de 0.5 Hz, se obtuvo un comportamiento cíclico variante, muy similar al comportamiento del desplazamiento lineal con aluminio, ver figura 3, con la diferencia de la magnitud del desplazamiento, a diferencia con el de aluminio, el de plástico ABS, oscila entre los 149834 mm a -59642 mm.

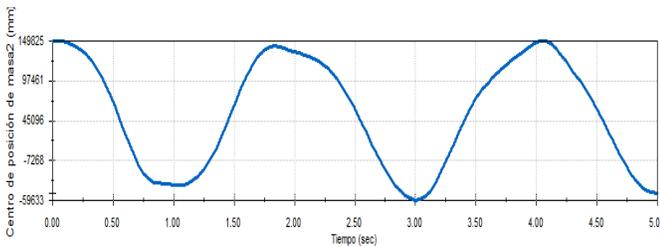


Figura 7 Centro de posición de masa con plástico ABS

En la figura 8, se muestra el comportamiento que posee el centro de posición de masa de brazo al momento de desplazarse variando desde 149825 mm hasta -59633 mm, obteniendo un comportamiento oscilador de manera no consistente, presentando perturbaciones en su oscilación. La frecuencia utilizada fue de 0.5 Hz, igualando las condiciones de las pruebas realizadas con el material de aluminio. Cabe destacar que el comportamiento del centro de posición de masa del mecanismo del brazo con el aluminio 1060, ver figura 4, presente una mejor consistencia en su comportamiento cíclico, estudiado en un tiempo total de 5 segundos.

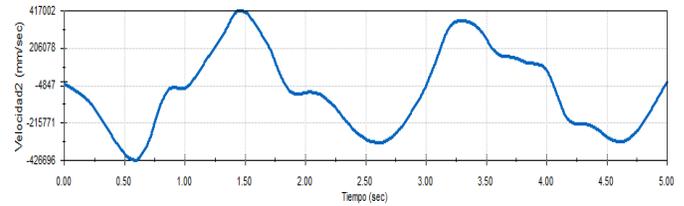


Figura 8 Velocidad lineal con plástico ABS

En la figura 9, se detalla el comportamiento de la velocidad lineal del brazo con el uso del material plástico ABS, obteniendo un comportamiento variante y con mayor variación con respecto con el uso del aluminio, como se muestra en la figura 5. La velocidad lineal del brazo posee cambios significativos en la magnitud de la velocidad lineal todo debido a las características propias del plástico ABS, como ser su menor peso en comparación al aluminio, por ello, la velocidad lineal del brazo con plástico ABS oscila entre -426696 mm/s hasta 417002 mm/s.

C. Análisis de dinámico de los mecanismos del robot

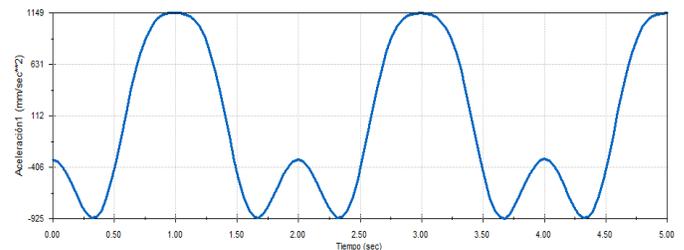


Figura 9 Aceleración lineal con aluminio

La aceleración lineal alcanzada del brazo en la prueba realizada con el material de aluminio 1060 llegó a un máximo de 1149 milímetros por segundos cuadrados o su equivalente de 1.149 metros por segundos cuadrados, como se presenta en la figura 6. La aceleración lineal oscila entre la aceleración mencionada anteriormente y -925 milímetros por segundos cuadrados, obteniendo un comportamiento cíclico.

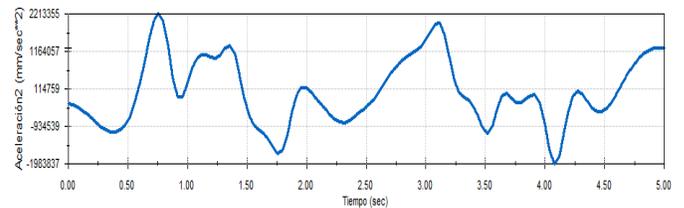


Figura 10 Aceleración lineal con plástico ABS

Los resultados obtenidos sobre el comportamiento de la aceleración lineal con plástico ABS se detallan en la figura 10. La aceleración lineal presenta un comportamiento más variante, la característica de aleatoriedad se hace mayor notoria, siendo un comportamiento menos predecible, debido a los cambios bruscos obtenidos solamente en un lapso de tiempo de estudio

de 5 segundos. En comparación al comportamiento de la aceleración lineal con aluminio, ver figura 6, el cual se muestra de manera cíclica y constante, teniendo un comportamiento más predecible para su estudio y control. Debido a las características físicas del plástico ABS, sucede este comportamiento aleatorio, por la misma razón, las magnitudes dentro de las cuales oscilaba la aceleración son de mayor tamaño.

D. Análisis mecánico de la estructura del robot

Además del respectivo análisis de movimiento establecido para el robot, detallado en la sección anterior, es necesario, analizar el comportamiento que tendrán las piezas con cada material, con el fin de determinar el material correcto, para su posterior fabricación, a continuación, se analiza las tensiones y deformaciones de las piezas diseñadas con el material de aluminio con aleación 1060 y de plástico ABS.

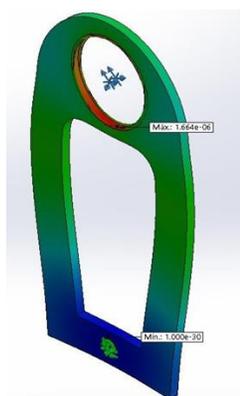


Figura 11 Brazo Lateral

Para el análisis de tensión, se utilizó el material de aluminio con una aleación de 1060, con un peso total de 0.5 libras y con una densidad de 2700 kg/m³. Los resultados obtenidos del análisis de tensión de von Mises del brazo lateral, con un valor mínimo de 0.4751 N/m² hasta un valor máximo de 1.86E04 N/m² con un límite elástico de 2.757e07. A través del análisis de desplazamientos obtenidos del brazo lateral, se llegó a obtener un máximo de 1.664e-06 milímetros, resultando un desplazamiento mínimo de la pieza a causa del esfuerzo ejercido. El factor de seguridad del brazo lateral obtenido con el material de aluminio con aleación 1060 es mayor que 3, esto se determinó debido a la coloración azul de la pieza mostrada en la ilustración 55, de lo contrario, si el factor de seguridad fuera menor que 1, la pieza sería de color rojo. Con los resultados de tensiones y esfuerzos sobre el brazo lateral, se puede determinar que esta pieza no presenta deformaciones, por lo tanto, el aluminio 1060, es adecuado para la fabricación de la pieza.

Con el fin de igualar las condiciones para las pruebas de esfuerzos y tensiones, se utilizó la misma pieza con el mismo peso de 0.5 libras, sin embargo, esta pieza a causa del material de plástico ABS, contiene una densidad de 1020 kg/m³. Se aplicó, de igual manera, una carga de 0.5 libras fuerza. Los resultados obtenidos del análisis de esfuerzo realizado, obteniendo una tensión mínima de 0.4997 N/m² hasta un máximo de 1.86e04 N/m². Obteniendo un comportamiento muy similar al de la pieza con el aluminio de aleación 1060 mostrado en la sección anterior. Los resultados de desplazamientos obtenidos a causa de la fuerza aplicada se muestran en la

ilustración 57, donde se encontró un desplazamiento máximo de 5.973e-05 milímetros en algunas partes de la pieza, existiendo una mayor diferencia en comparación del desplazamiento de la pieza con aluminio, siendo más de 5 veces más grande que con el otro material, esto debido a que el plástico ABS, cuenta con una menor densidad en comparación del aluminio. Con los resultados obtenidos de las pruebas ejecutadas, se determinó que esta pieza presenta altas deformaciones con el uso del plástico ABS, por lo tanto, este material no es adecuado para la posterior fabricación de la pieza.

Las uniones son las piezas que reciben los mayores esfuerzos, ya que estas son las que unen las diferentes partes del robot, por lo tanto, reciben directamente la carga total de la estructura del robot. Por ello, es necesario determinar el material adecuado con el cual debe ser fabricado estas uniones.

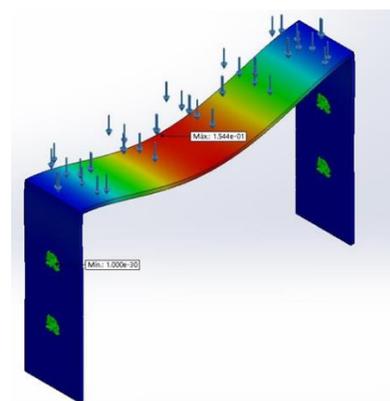


Figura 12 Uniones

Se inició aplicando el material de aluminio de aleación 1060, para el respectivo análisis de esfuerzos y tensiones sobre la pieza, se aplicó una carga total de 5.5 libras fuerza a una cara de la pieza con dirección normal a la misma. De acuerdo a los resultados obtenidos, se puede observar ciertas deformaciones, se encontró una tensión máxima de von Mises hasta de 5.48e06 N/m², siendo encontradas principalmente, en las esquinas de la cara superior de la pieza. En cambio, en la parte central de la cara superior de la pieza, se muestra una cierta deformación, sin embargo, con una magnitud mucho menor de tensión encontrada en esta área. Se encontró una mayor deformación en el área central de la cara superior de la unión estudiada, llegando a obtener un desplazamiento máximo de la pieza de 0.1544 milímetros, donde las otras partes se encontraron un desplazamiento mucho menor. Se encontró un factor de seguridad adecuado para la pieza, con un valor mayor que 3, determinado debido a coloración que se presentó en la pieza, siendo un valor de factor de seguridad de 5. Con todos los resultados obtenidos a base de estas pruebas, se determinó que la unión es apta para la fabricación con el material de aluminio con aleación 1060.

Posteriormente, se procedió a la realización de las respectivas pruebas de tensiones de la unión estudiada con el material configurado del plástico ABS, se aplicó la misma magnitud de 5.5 libras fuerza. La tensión máxima de von Mises encontrada en el análisis mostrado en la ilustración 76, es de 5.56e06 N/m², se obtuvo un comportamiento similar al encontrado con las pruebas realizadas a la pieza con aluminio.

Se encontró una deformación hasta de 5.22 milímetros, en la parte central de la cara superior de la pieza, causada solamente por la fuerza aplicada en el estudio, con esto se determinó un factor de seguridad de 0, además, se estableció que la pieza con material de plástico ABS no podrá soportar el peso y posteriormente sufriría una ruptura, por lo tanto, la pieza no puede ser fabricada con plástico ABS.

Otra pieza dentro de la estructura del robot que recibe gran cantidad de esfuerzos y tensiones son las ruedas incorporado en el diseño realizado, por lo tanto, la determinación del material adecuado para su fabricación juega un papel crucial.

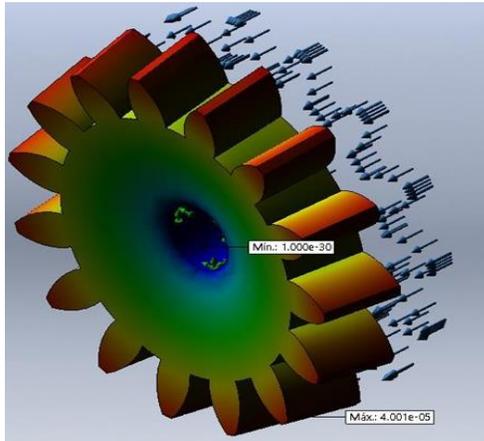


Figura 13 Rueda

Se dio inicio con el material del aluminio para las pruebas de tensión y esfuerzos del engranaje de 15 dientes, el peso del engranaje es de 0.38 N, por esto, se le aplicó una magnitud de 0.1 fuerza libra para la prueba de tensión, a una de las caras del engranaje, con dirección normal a esta cara del engranaje.

Se detallo las magnitudes de la tensión de von Mises obtenida a lo largo de todo el engranaje, donde se encontró una tensión máxima hasta de $6.37e03 \text{ N/m}^2$ en al menos de un punto del engranaje. Se encontraron mayores deformaciones o desplazamiento en el área de los dientes, llegando a encontrar hasta un máximo de $1.213e-06$ milímetros, solamente con la fuerza aplicada para la prueba de 0.1 libra. Se afirma que el factor de seguridad de la pieza con el uso del material del aluminio con aleación 1060 es mayor que 3, dando estabilidad a la pieza con el aluminio. Con los datos obtenidos, el engrane no presenta mayores deformaciones, por lo tanto, se determinó que el engrane puede ser fabricado con aluminio con aleación 1060.

Para determinar el material apropiado para la fabricación de esta pieza, se realizó la prueba de tensión y desplazamiento con los mismos parámetros de fuerza, esta pieza con plástico ABS cuenta con un peso de 0.14 N, se aplicó la misma fuerza de 0.1 libras, en la misma cara de manera normal a ella.

El comportamiento de la tensión de von Mises en el engrane de plástico presenta las mismas características y parámetros resultantes del engrane con aluminio. Los desplazamientos resultantes a causa de la fuerza aplicada en la rueda, en comparación con los desplazamiento del engrane de aluminio, aumentó hasta un máximo de $4.001e-05$ milímetros, teniendo mayor deformación. Sin embargo, con todos los resultados

obtenidos, se determinó que en engrane de plástico no presenta deformaciones significativos, por lo tanto, el engrane puede ser fabricado del material de plástico ABS. Ya que es más económico de manufacturar.

E. Simulación del prototipo en solidworks

Finalmente se desarrollan las simulaciones del ensamble donde se pudo apreciar que los mecanismos en conjunto no tendrán problemas para realizar sus funciones. Por lo que se procedió a manufacturar las piezas y realizar montaje físico.



Figura 14 Partes del robot

V. CONCLUSIONES

Se desarrolló y diseñó una estructura para el robot móvil de manera adecuada y apropiada para su movilización a través de los terrenos irregulares, el cual suele ser montañoso. Cada parte de la estructura fue diseñada con el fin de dar mayor resistencia, robustez, y firmeza al robot para los ambientes con los cuales debe tratar, incluyendo, un soporte para la cámara, el cual permite un desplazamiento gracias al mecanismo desarrollado, dando un grado de movimiento al soporte de la cámara y tener acercamiento de la cámara hacia el objeto de enfocar.

Para la movilidad del robot se utilizó un sistema convencional de 4 ruedas para el desplazamiento del robot a través de terrenos irregulares. Tomando en cuenta el terreno, se diseñó una rueda que permitiera generar mayor fuerza de tracción con el fin de lograr desplazar el robot en partes con mayor dificultad en el terreno.

Se diseñó un mecanismo para el soporte de la cámara en cual cuenta con dos eslabones, con una junta, obteniendo un grado de libertad, con un movimiento angular, permitiendo a la cámara desplazarse, para tener un mejor acercamiento y obtener una imagen de mejor calidad para el posterior análisis de esta, y a la vez la cámara podrá “escondersse” para mayor seguridad de la cámara.

Por medio de los análisis de movimiento realizados con el apoyo del software CAD, Solidworks, que incluían prueba de velocidad, aceleración, desplazamiento y centro de posición de masa, se pudo determinar que, con el diseño planteado, se debe utilizar el material aluminio 1060, ya que con este material se obtiene un mejor desempeño en estas áreas en comparación con el uso del plástico ABS. El uso de estos métodos permite el desarrollo de robots como el presentado en [10].

VI. REFERENCIAS

- [1] A. Ollero Baturone, *Robótica Manipuladores y robots móviles*. Barcelona, España: Marcombo, S. A., 2001.

- [2] O. Rojas Lazo y L. Rojas Rojas, «Diseño asistido por computador», *Ind. Data*, vol. 9, n.º 1, pp. 7-15, 2006.
- [3] M. Spong y M. Vidyasagar, *Robot dynamics and control*. Wiley & Sons, 1989.
- [4] S. Y. Nof, *Handbook of Industrial Robotics*, 2nd ed. New York, USA: John Wiley & Sons, Inc., 1999.
- [5] IEEE, «RHex - ROBOTS: Your Guide to the World of Robotics», 2019. <https://robots.ieee.org/robots/rhex/> (accedido nov. 02, 2019).
- [6] D. H. Myszka, *Máquinas y Mecanismos*, Cuarta Edición. México: Pearson Educación, 2012.
- [7] A. G. Erdman y G. N. Sandor, *Diseño de Mecanismos: Análisis y Síntesis*, Tercera Edición. México: Pearson Educación, 1998.
- [8] J. Martínez Verdú y J. M. Sabater Navarro, *Guía Docente para el Diseño de Robots de Servicio*, 1ra ed. España, 2012.
- [9] G. Zabala, *Robótica*. Buenos Aires: Gradi, 2007.
- [10] J. L. Ávila, H. Jiménez, T. Márquez, C. Muñoz, D. Nolasco, D. Miselem, M. Perdomo, M. Carrasco «Teleoperated voice picking robots prototype as a logistic solution in Honduras», IEEE, 2020, DOI: <https://doi.org/10.1109/ICCRE49379.2020.9096483>