

Rueda De Doble Sentido De Giro

Bonilla Juan Camilo, Galindo Juan José

{est.juanc.bonilla, est.juan.galindo6}@unimilitar.edu.co

Profesor: Ramírez Hoffman Fernando

Resumen— En el presente documento se planea mostrar el desarrollo electromecánico de una rueda con doble sentido de giro para un sistema de transporte de tres ruedas, lo cual representa una evolución de la forma en la cual se construyen modelos de robótica o sistemas enfocados al transporte de mercancías pequeñas. En base a la forma en que se ha incrementado el transporte y la necesidad de una movilidad sencilla, ágil y versátil se buscan alternativas a los diseños tradicionales de formas de automoción. Por tal razón, la búsqueda de un diseño capaz de cumplir con estos tres principios fundamentales se hace necesaria y a lo largo de los numerales que se exponen a continuación se muestra con detalle el proceso de desarrollo que se lleva a cabo.

Palabras clave—Rueda omnidireccional, Tres Ruedas, Motocarro, Tecnología, Desarrollo.

I. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, el aumento de la población y del tráfico en las ciudades ha llevado a una mayor congestión y dificultades de movilidad. Para abordar este problema, se han implementado medidas para reducir la contaminación y mejorar la movilidad urbana, como el uso de vehículos eléctricos [1]. Sin embargo, aún existen limitaciones en términos de maniobrabilidad, especialmente en espacios reducidos, lo que dificulta la movilidad en ciudades con calles estrechas y tráfico denso.

Una solución que ha sido propuesta para mejorar la maniobrabilidad de los vehículos es la creación de una rueda omnidireccional. Una rueda omnidireccional permite el movimiento en cualquier dirección sin necesidad de girar el vehículo, lo que lo hace ideal para moverse en espacios reducidos [2]. La implementación de una rueda omnidireccional en vehículos eléctricos podría mejorar la movilidad urbana en ciudades congestionadas.

En este proyecto, se desarrollará un prototipo de una rueda omnidireccional para vehículos eléctricos con el objetivo de mejorar la movilidad urbana. En lugar de construir un nuevo vehículo, se enfocará en la creación de una rueda omnidireccional que pueda ser implementada en vehículos eléctricos ya existentes, reduciendo así la necesidad de construir nuevos vehículos y disminuyendo los costos asociados [3]. El diseño y la fabricación de esta rueda incluirán la optimización de los materiales y la forma de la misma para garantizar una alta eficiencia en términos de energía y durabilidad.

Para lograr este objetivo, se llevará a cabo una investigación exhaustiva sobre los diferentes tipos de ruedas

omnidireccionales y sus aplicaciones en vehículos eléctricos. Se considerarán varios aspectos importantes, como el tamaño, peso, costo, resistencia y maniobrabilidad, para garantizar que el prototipo cumpla con los estándares requeridos [4].

La implementación de una rueda omnidireccional en vehículos eléctricos podría mejorar la maniobrabilidad en espacios reducidos, lo que podría tener un impacto positivo en la eficiencia y la seguridad en el tráfico urbano [5]. Además, este prototipo también podría tener aplicaciones en la carga y descarga de mercancía utilizando vehículos con ruedas omnidireccionales, lo que podría mejorar la eficiencia y la seguridad en las operaciones logísticas [6].

II. ESTADO DEL ARTE

Desde que el motor de combustión interna se inventó inmediatamente se buscó desarrollar vehículos para poder transportar personas y mercancías, los vehículos de tres ruedas han hecho parte de la historia desde que Karl Benz en 1886 desarrolló el Patent-Motorwagen Typ III [5], el cual era un vehículo de tres ruedas icono de la automoción en la época y base fundamental para el desarrollo de los modelos subsiguientes.

Modelos de este tipo de pueden encontrar por cantidades bastante grandes y de todos los estilos, lo destaca Paris [6] en su página web dedicada al automovilismo, se pueden observar ideas tan descabelladas como útiles de una u otra forma, por ejemplo, se destacan características como el bajo peso que poseen al igual que su bajo consumo de combustible para la potencia y velocidad que es capaz de desarrollar su motor acoplado.



Fig. 1. Modelo Campagna T-Rex. Tomado de [2]



Fig. 2. Modelo CarverOne. Tomado de [2]

En Colombia los vehículos de tres ruedas han estado presentes desde 1962 cuando las ensambladoras ROA en Pereira y Bogotá iniciaron la producción de los conocidos motocarros de tres ruedas [7], que rápidamente se introdujeron en el transporte de personas y mercancías, debido a su economía y poco desgaste mecánico, por lo que su uso es una opción atractiva desde mediados de la década del 60 hasta la actualidad.

El uso de motocarros en Colombia se mantiene hasta los días en curso, debido a su bajo consumo de combustible, bajas emisiones, baja contaminación acústica y buena oferta en cuanto a reparaciones y refacciones [8], siendo comercializadas marcas como AKT, Bajaj y TVS de manera mayoritaria en el mercado nacional para uso de transporte de mercancías tanto como de pasajeros debido a la demanda que se posee dentro del mercado de estos ejes de la economía.

Debido al gran uso que se tiene de medio de transporte de tres ruedas se vienen presentando problemas de movilidad, debido a la gran cantidad de vehículos de este tipo que circulan por las calles, por ejemplo, en Soledad Atlántico, los problemas de accidentalidad y congestión son un problema cotidiano [9], por lo que se hace necesario lograr que dichos vehículos posean una estabilidad y movimientos adecuados a la hora de circular por las vías colombianas.



Fig. 3. Modelo de motocarro con tres ruedas “Torito”.
Tomado de [14]

Para el transporte de mercancías y mensajería también se necesita mejorar el rendimiento de los vehículos de tres ruedas presentes en el mercado colombiano, a pesar de las ventajas que presentan en consumo de combustible y parqueo en espacio público, este último, se presenta como una cuestión de suma importancia en las grandes ciudades como Bogotá, debido a sus traumas en movilidad que se presentan a diario [10].

Para otra ciudad grande del país, como lo es Medellín se encuentra igualmente que el crecimiento del uso de bicicletas para entrega de mercancías en el último eslabón de la cadena de producción [13], lo que indica claramente cómo las empresas y su talento humano migran hacia nuevas tecnologías que reduzcan los costos e igualmente ayuden a solucionar los problemas de movilidad presentes e igualmente la ocupación del espacio público a la hora del parqueo.

Tal como se propone en la introducción al proyecto lo que se desea es el desarrollo de un prototipo funcional de rueda omnidireccional que ayude a que los vehículos de tres ruedas, bien sean de tracción humana como las bicicletas o de tracción mecánica como lo son los mostrados motocarros o la nueva generación de vehículos eléctricos [15].

Uno de los primeros diseños de ruedas omnidireccionales fue el Omniwheel, desarrollado por Josef F. Blumrich en la década de 1970 [16]. Este diseño ha sido ampliamente utilizado en aplicaciones robóticas y vehículos autónomos debido a su simplicidad y facilidad de implementación. Sin embargo, los diseños de ruedas omnidireccionales han evolucionado significativamente desde entonces. Actualmente, existen varios diseños de ruedas omnidireccionales, cada uno con sus propias ventajas y desventajas en términos de capacidad de carga, eficiencia y velocidad.

La investigación en el campo de las ruedas omnidireccionales se centra en mejorar la capacidad de carga y la eficiencia energética de estas ruedas, así como en su aplicación en diferentes entornos y terrenos. Por ejemplo, la investigación realizada por Chenguang Yang, Rui Yan y Qinyuan Ren en 2020 [17] se centra en optimizar la eficiencia energética de los vehículos equipados con ruedas omnidireccionales. Su investigación utiliza técnicas de optimización matemática para encontrar la configuración de ruedas óptima para un vehículo específico, maximizando la eficiencia energética.



Fig. 4. Rueda omnidireccional en un automóvil. Tomado de [18]

En cuanto a la aplicación de las ruedas omnidireccionales en la tecnología de vehículos autónomos siendo presentado un diseño y control de un robot móvil omnidireccional de cuatro ruedas, el cual presenta una alta capacidad de movimiento y una estabilidad superior en comparación con otros robots móviles convencionales [19]. Además, Kang et al en su investigación de 2016, analizan la aplicación de las ruedas omnidireccionales en la exploración de Marte, y sugieren un diseño optimizado para mejorar la movilidad de los rovers [20]. Lo mostrado anteriormente ilustra de una manera real como la investigación de las ruedas omnidireccionales con distintos tipos de aplicaciones para un prototipo como el que se desea desarrollar, lo que es una justificación a través de ejemplos puntuales en donde se ha buscado llevar el desarrollo más allá.

III. OBJETIVOS

Objetivo General:

Desarrollar un prototipo funcional de una rueda omnidireccional independiente que permita una movilidad ágil y eficiente en diferentes direcciones

Objetivos Específicos:

- Investigar y analizar las diferentes tecnologías y diseños existentes de ruedas omnidireccionales, incluyendo su rendimiento, materiales, costo, y factibilidad de integración en vehículos eléctricos para así Seleccionar los materiales y componentes adecuados para la fabricación de la rueda omnidireccional, teniendo en cuenta su peso, durabilidad, resistencia, y costo.
- Diseñar la geometría y la estructura de la rueda omnidireccional para así Fabricar el prototipo implementando un sistema de control que permita su uso y maniobrabilidad en diferentes direcciones sin afectar la estabilidad del vehículo utilizando técnicas de fabricación aditiva o sustractiva, dando validez con pruebas de resistencia y rendimiento para verificar el diseño.
- Integrar la rueda omnidireccional en un soporte para simular un vehículo y realizar pruebas de funcionamiento en diferentes entornos y condiciones de manejo y realizar una evaluación de la eficiencia energética del prototipo, analizando su capacidad de movimiento en diferentes direcciones y su impacto en la autonomía del vehículo.
- Evaluar la viabilidad comercial del prototipo de la rueda omnidireccional, incluyendo el análisis del mercado objetivo, la evaluación de la demanda potencial, la identificación de competidores, y la determinación del precio de venta para esto es importante el desarrollo en simultáneo de un plan de servicio postventa para garantizar la satisfacción del

cliente, que incluya la provisión de soporte técnico, reparaciones y mantenimiento de la rueda omnidireccional.

IV. DESCRIPCION DEL DISEÑO CONCEPTUAL

La idea detrás de la realización de este proyecto era explorar y desarrollar un sistema de movilidad poco convencional y poco explorado en el campo de la robótica y la ingeniería: una rueda omnidireccional. Como ya se mencionó las ruedas omnidireccionales son dispositivos que permiten un movimiento multidireccional, lo que significa que un objeto equipado con estas ruedas puede moverse en cualquier dirección sin necesidad de cambiar su orientación.

El desarrollo de este sistema implicó un desafío técnico emocionante, se requirió un enfoque multidisciplinario que combinara principios de ingeniería mecánica y electrónica. El diseño y la fabricación de la rueda tuvieron en cuenta factores como la resistencia, la durabilidad y la capacidad de respuesta, al tiempo que se buscaba maximizar la capacidad de maniobra y la eficiencia energética.

El potencial de aplicación de un sistema de rueda omnidireccional es amplio y diverso, en el ámbito de la robótica, estos sistemas pueden ser utilizados en robots móviles para mejorar su capacidad de navegación en entornos complejos y confinados, también pueden ser aplicados en vehículos autónomos para una movilidad más versátil y adaptable.

Además, las ruedas omnidireccionales pueden tener aplicaciones en la industria, como en transportadores y sistemas de logística, donde la capacidad de movimiento multidireccional puede agilizar y optimizar los procesos de transporte y distribución.

V. VALIDACIÓN

Diseño Conceptual:

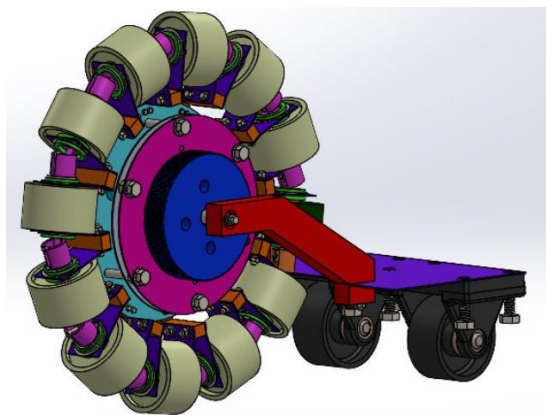


Figura 5. Ensamblaje final

El ensamblaje final de la rueda omnidireccional es una parte crucial del proceso de fabricación, ya que requiere la integración de una variedad de componentes para asegurar su correcto funcionamiento. Algunos de los componentes más importantes que se incluyen en el ensamblaje final son los ejes, piñones y uniones. Los ejes son componentes cilíndricos que se utilizan para transmitir la energía desde el motor a las ruedas. En el caso de la rueda omnidireccional, se necesitan varios ejes para permitir que la rueda gire en cualquier dirección. Estos ejes deben ser lo suficientemente fuertes para soportar la carga y el movimiento en todas las direcciones.

Los piñones son pequeñas ruedas dentadas que se utilizan para transmitir la energía desde el motor a los ejes. Los piñones están diseñados para engranar con otros piñones o en este caso con los dientes de las correas para transferir la energía de manera eficiente, en el ensamblaje final de la rueda omnidireccional, se utilizan múltiples piñones para permitir el movimiento en todas las direcciones, las uniones son componentes que se utilizan para unir diferentes partes de la rueda omnidireccional, por ejemplo, las uniones pueden ser utilizadas para unir los ejes a los piñones o para unir las ruedas a los ejes. Estas uniones deben ser lo suficientemente fuertes para soportar la carga y el movimiento en todas las direcciones. Además de estos componentes, el ensamblaje final de la rueda omnidireccional incluye otros componentes como rodamientos, sellos y cojinetes para mejorar la eficiencia y durabilidad de la rueda. Cada uno de estos componentes debe ser cuidadosamente seleccionado y probado para asegurar su calidad y durabilidad en la aplicación final.

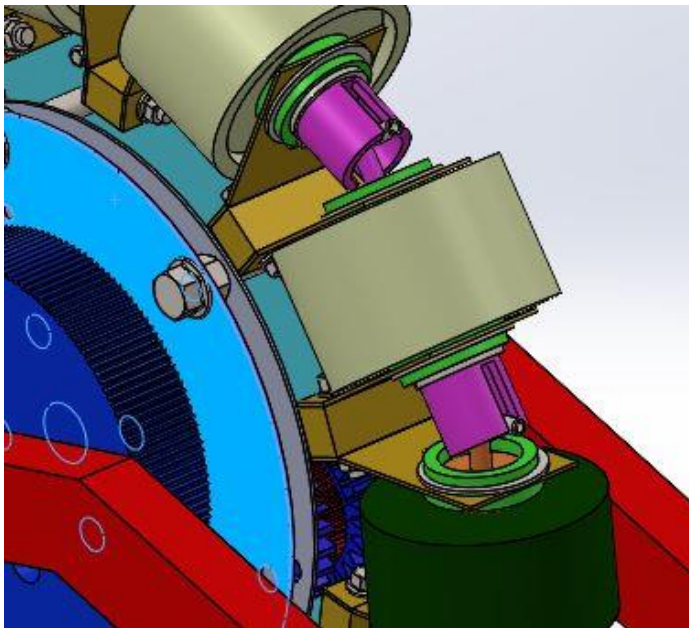


Figura 6. Pieza 1

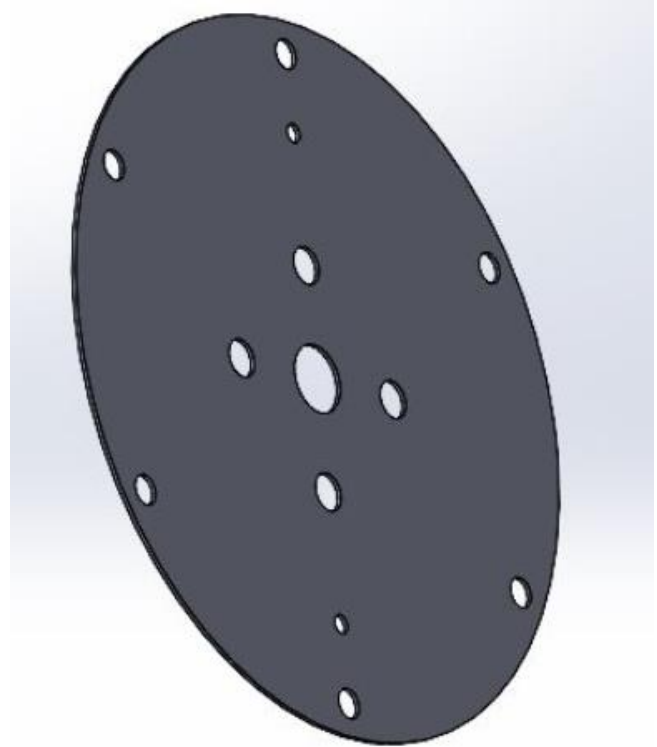


Figura 7. Detalle de la pieza 1.

la pieza 1 que funciona como una unión entre las dos caras del mecanismo y, además, proporciona soporte y sujeción a los piñones que se encuentran en su interior, estos piñones se fijan a la pieza 1 mediante tornillos o pasadores. La pieza 1, al actuar como una unión entre las dos caras del mecanismo, garantiza que todas las piezas estén alineadas correctamente y que la transmisión de potencia y movimiento se realice de manera eficiente. Además, al proporcionar soporte y sujeción a los piñones, asegura que estos no se desplacen o se salgan de su posición durante el funcionamiento del mecanismo.

La pieza 1 también dentro de este mecanismo, desempeña varias funciones. En primer lugar, actúa como una unión entre las dos caras del mismo, lo que garantiza que todas las piezas estén correctamente alineadas. Además, funciona como soporte superior de la pieza 1, proporcionando un punto de apoyo sólido para esta pieza. Otra función importante de la pieza es que sirve como base de sujeción para el piñón más grande que se encuentra en el exterior del mecanismo. El piñón más grande es el que transmite la mayor cantidad de movimiento y potencia a través del mecanismo, por lo que es fundamental que esté asegurado de manera firme y segura, la pieza en cuestión proporciona un lugar sólido para sujetar este piñón, lo que ayuda a garantizar que no se desplace ni se suelte durante el funcionamiento. Además de estas funciones principales, 2 también puede tener otras funciones secundarias, como actuar como un punto de apoyo para otras piezas o ayudar a distribuir la carga de manera uniforme a través del mecanismo.

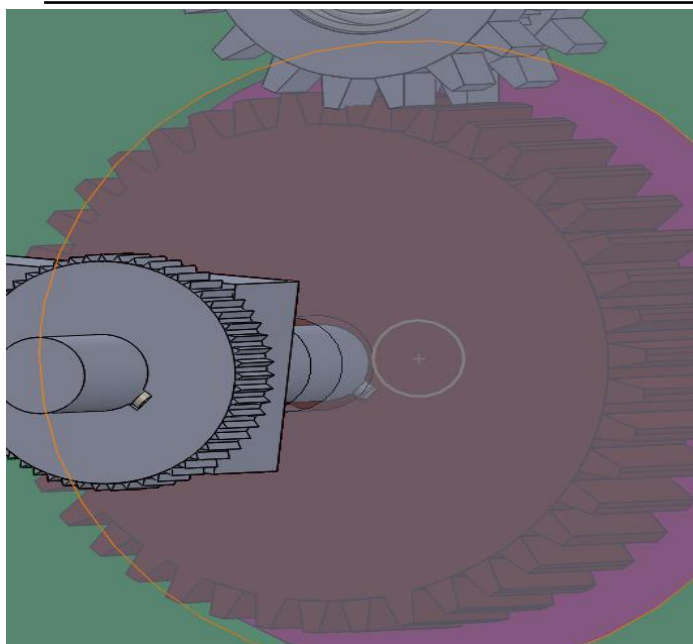


Figura 8. Pieza 6

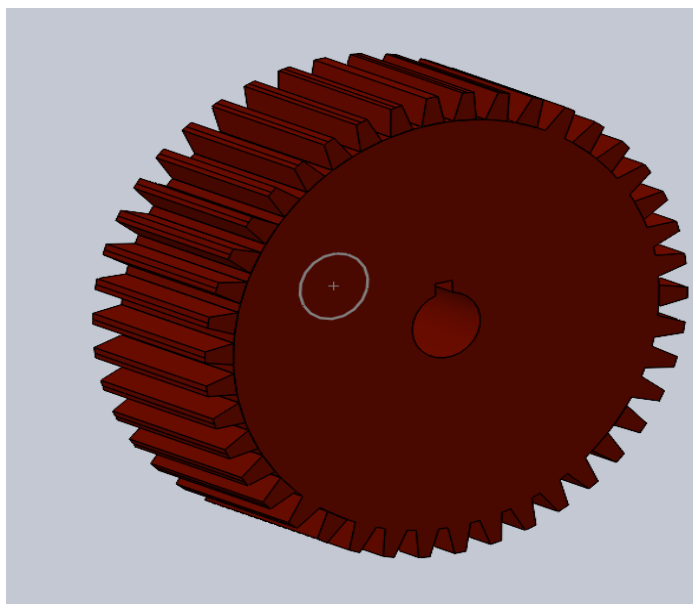


Figura 9. Detalle de pieza 3

La pieza 3 es un componente clave en el mecanismo, ya que es responsable de transmitir el movimiento a través de varios grados, esto es fundamental para garantizar que el mecanismo pueda funcionar correctamente y realizar su tarea con eficacia. Uno de los aspectos más destacados de la pieza 3 es su chavetero, que es muy útil para unir la pieza a otro componente del mecanismo, como lo es el eje de acción. El chavetero es una pequeña ranura que se encuentra en la pieza y que permite que se acople de manera segura. Esto es esencial para garantizar que el movimiento se transmita de manera efectiva y que las piezas no se deslicen o se desplacen durante el funcionamiento del mecanismo; además, la pieza 3 permite el acople de un par de piñones en su parte superior que como ya se mencionó, es

fundamental para el movimiento en distintos grados y direcciones de la rueda.

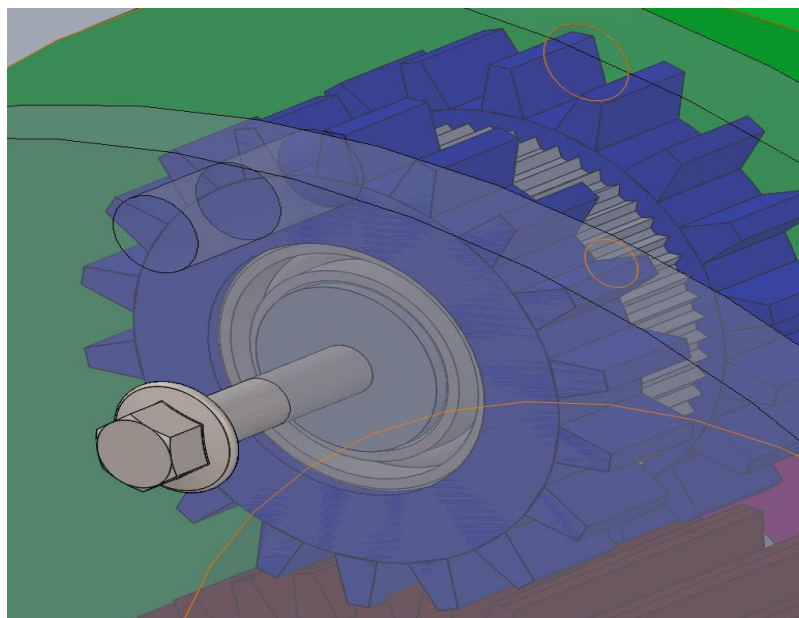


Figura 10. Pieza 4

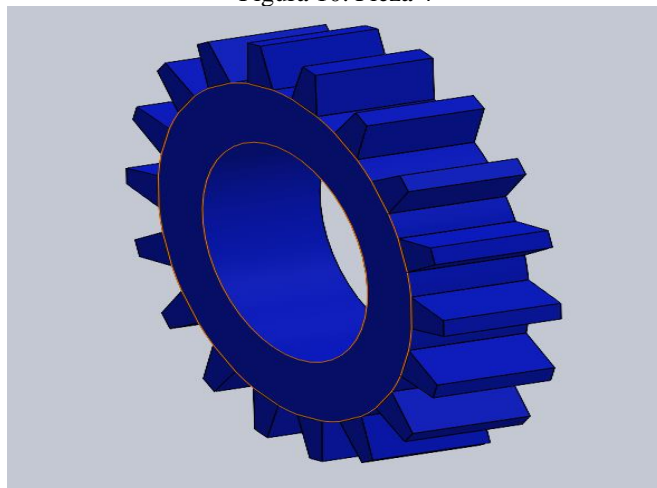


Figura 11. Detalle pieza 4

Las figuras anteriores nos muestran un componente de transmisión del mecanismo, está directamente relacionado con el engrane anterior tal como se abordaba en el párrafo anterior y su función principal es transmitir la fuerza a las ruedas que ejercen el movimiento en sentido contrario al giro. El engrane de la pieza 3, transmite el movimiento hacia la pieza 4, que a su vez se encarga de transmitirlo a las ruedas opuestas. Esto significa que la pieza 4 tiene una tarea crucial en la transmisión del movimiento en el mecanismo.

Para cumplir esta función, el par de piñones funcionan como un sistema de engranajes que se acopla con otras diferentes piezas del mecanismo. Además, es importante que la pieza 4

esté correctamente construida, para que pueda soportar la fuerza y la fricción que se generan durante el funcionamiento

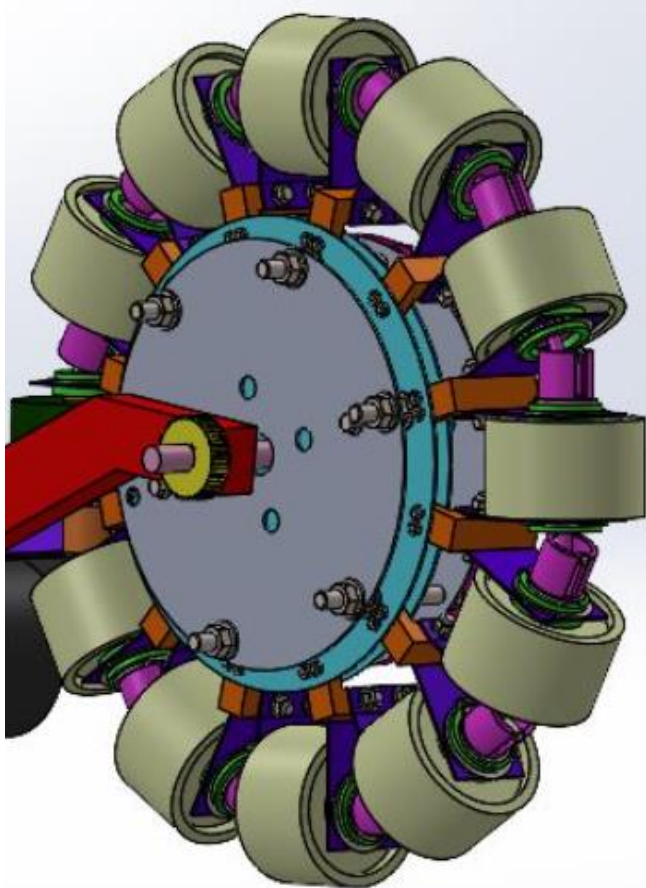


Figura 12. Pieza 5 azul ensamblada con los componentes

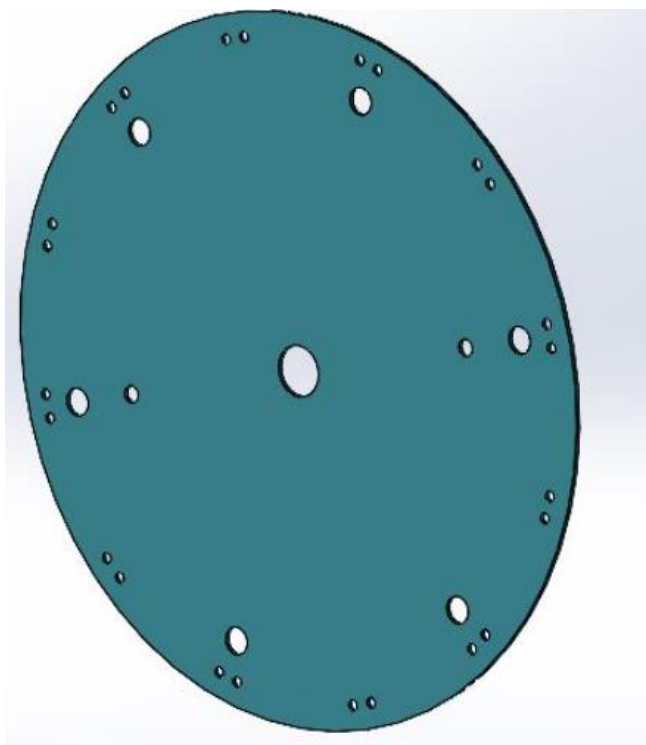


Figura 13. Detalle pieza 5

Las piezas 5 y 1 son elementos importantes del mecanismo, ya que funcionan en conjunto como parte de la base de sujeción izquierdo. Esta base de sujeción es necesaria para sostener el mecanismo en su lugar, y permite que las piezas y componentes internos trabajen juntos en armonía. Además de su función de soporte, las piezas también tienen un papel clave en la transmisión de movimiento dentro del mecanismo ya que estas piezas actúan como soporte para los engranajes ubicados en su interior, permitiendo que transmitan el movimiento y la energía de una parte del mecanismo a otra.

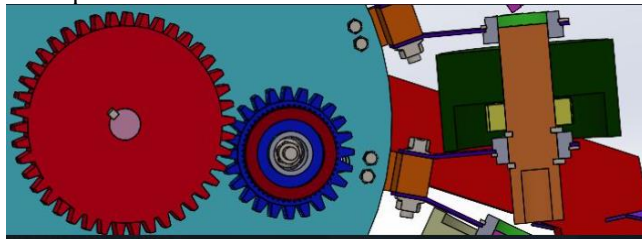


Figura 14. Engranajes en pieza 5 y al tren de movimiento superior

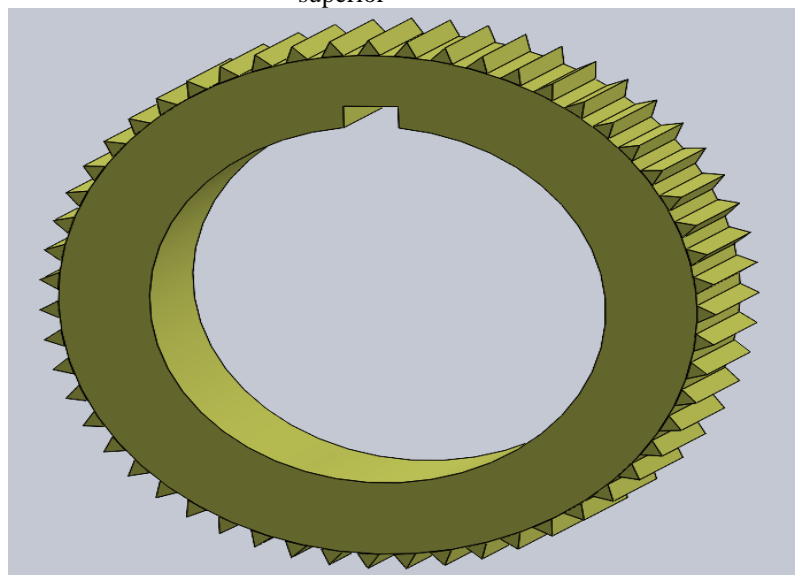


Figura 15. Detalle de la pieza 6

La pieza mostrada en las figuras inmediatamente anteriores es un componente crítico en el sistema de ruedas que produce el movimiento horizontal o en diferentes ángulos, la pieza 6, al ser un engranaje, está diseñada con un número específico de dientes, lo que permite su interacción con otros engranajes en el sistema; la relación entre el número de dientes de los engranajes en el sistema afecta la velocidad y la dirección del movimiento del sistema en su conjunto. Vale resultar que trabaja en conjunto con el engrane 4 para transmisión de potencia, ya que un número mayor de dientes en la pieza 4 transmitirá menos velocidad pero más torque, esto se debe a que los engranajes con más dientes tienen un diámetro mayor y, por lo tanto, una mayor circunferencia. Como resultado, para que los dientes de los engranajes encajen entre sí, el engranaje con menos dientes debe girar más rápido que el engranaje con más dientes.

Se muestra igualmente un chavetero para acople adecuado con el eje de las ruedas del tren superior, lo que es en extremo importante ya que una relación inadecuada de dientes o transmisión generará movimientos erráticos que supondrán un

grave problema a la hora de realizar movimientos reales de prueba para la rueda.

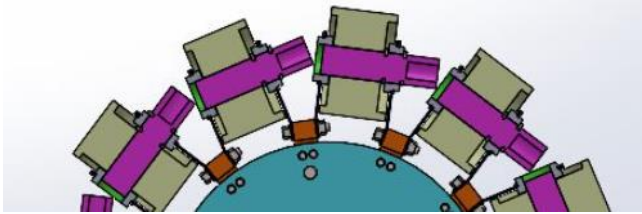


Figura 16. Tren superior de movimiento

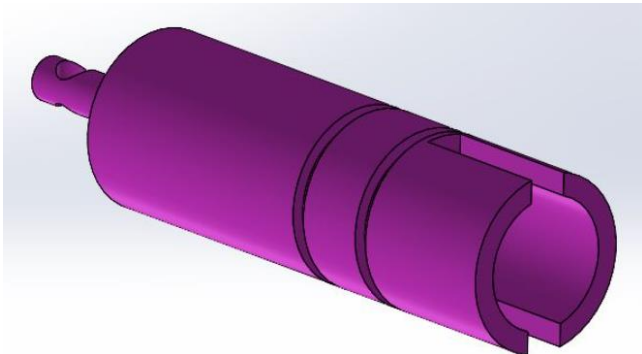


Figura 17. Detalle pieza 7

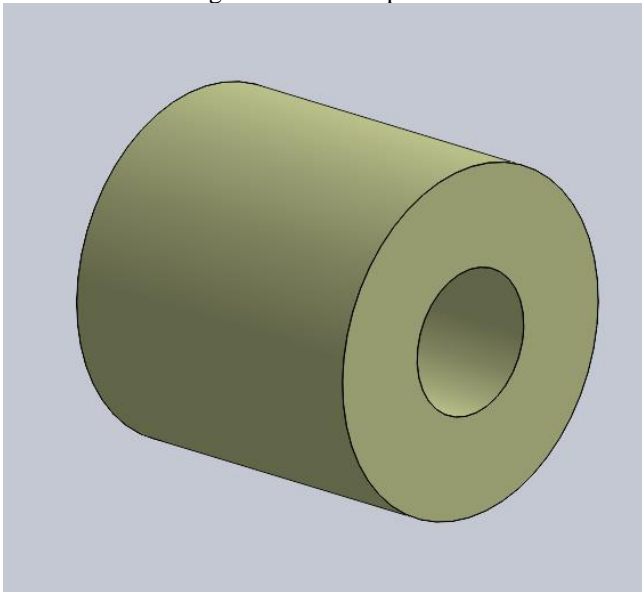


Figura 18. Detalle pieza 8

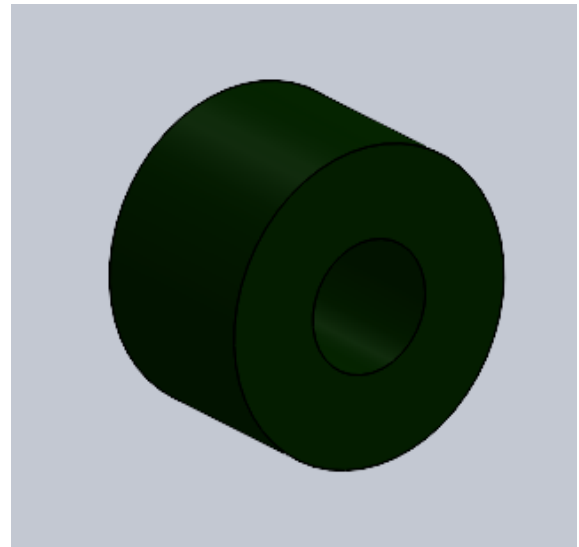


Figura 19. Detalle pieza 9

En el caso de las piezas del tren motriz superior, estas piezas están diseñadas específicamente para trabajar en conjunto para lograr una transmisión de potencia eficiente. La pieza 6, como se mencionó anteriormente, es un engranaje fundamental en el sistema de ruedas que produce el movimiento horizontal o en diferentes ángulos. Desde el engranaje mencionado la transmisión de potencia se transfiere a las juntas homocinéticas, que son las piezas 7 en este caso. Las juntas homocinéticas son componentes críticos en la transmisión de potencia, ya que permiten que el ángulo de transmisión de la potencia cambie sin comprometer la integridad del sistema. Las juntas homocinéticas son las piezas que permiten que la potencia transmitida desde la pieza 6 sea conducida de manera uniforme y sin desviación hacia las piezas 8 y 9 que son responsables directas de la tracción contra la superficie, generando suficiente agarre para permitir un movimiento adecuado y sin trabas. Se destaca el tamaño inferior de la pieza 9 respecto a las 8, esto debido a que se necesita espacio para los rodamientos y el engranaje asociado a dicha pieza.

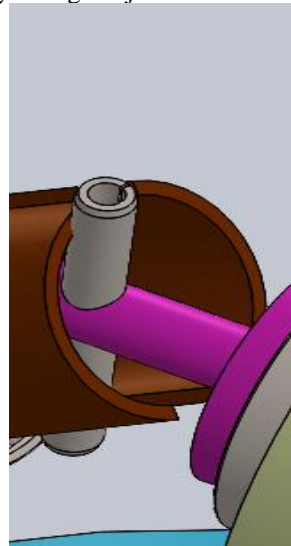


Figura 20. Pieza 19

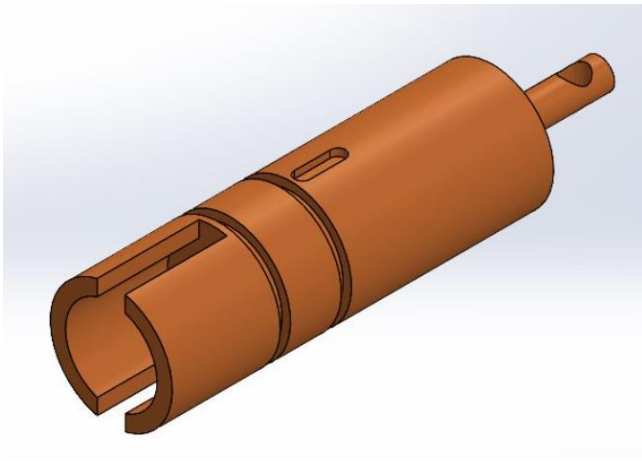


Figura 21. Detalle pieza 11

Directamente relacionada con las piezas del tren de movimiento anterior se encuentra el eje con chavetero que hace parte de la junta homocinética desarrollada en la pieza 7, siendo el transmisor directo a las demás ruedas de acuerdo al torque proporcionado por todo el mecanismo, es un componente importante dentro del mecanismo de transmisión superior.

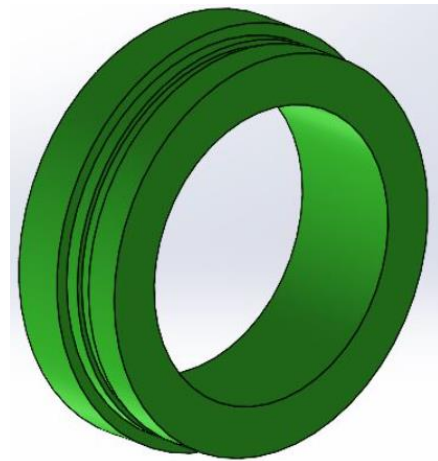


Figura 23. Detalle pieza 22

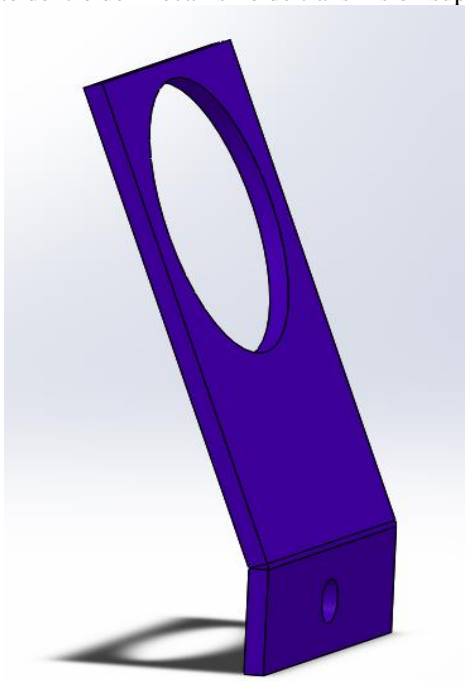


Figura 22. Detalle pieza 19

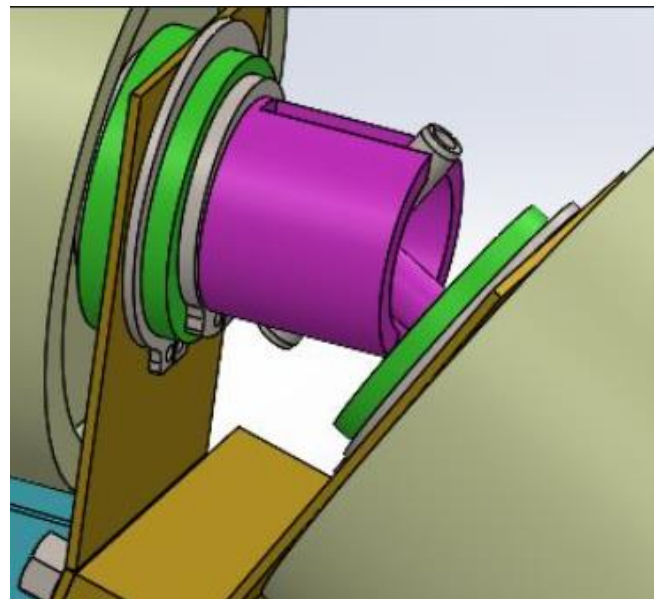


Figura 24. Acople de ejes para el tren superior de movimiento

Para hacer el acople se debe de tener en cuenta el Angulo de inclinación en el que se va a ver ubicado el eje ya que de tener un Angulo incorrecto las piezas no se van a acoplar ya que daría geometrías curvas, se realiza un pliegue a la pieza 19 (figura 22), para que dicho pliegue tenga la inclinación correcta de 70° , para realizar el acople de los ejes se hace uso de la pieza 22 (figura 23), que actúa como buje y a su vez se encarga de hacer función de rodamiento y acoplarla al resto de la rueda.

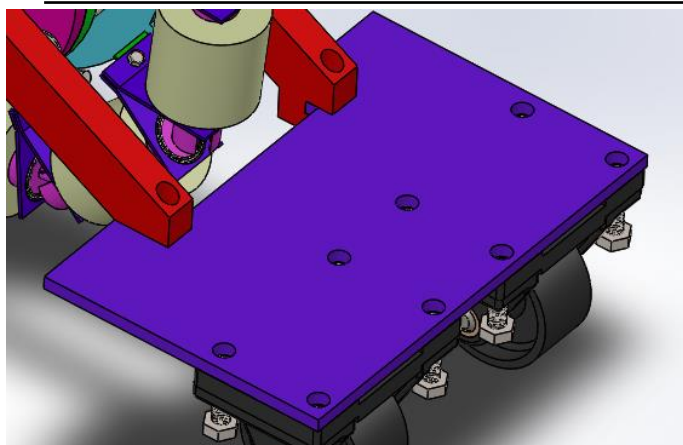


Figura 25. Pieza de chapa

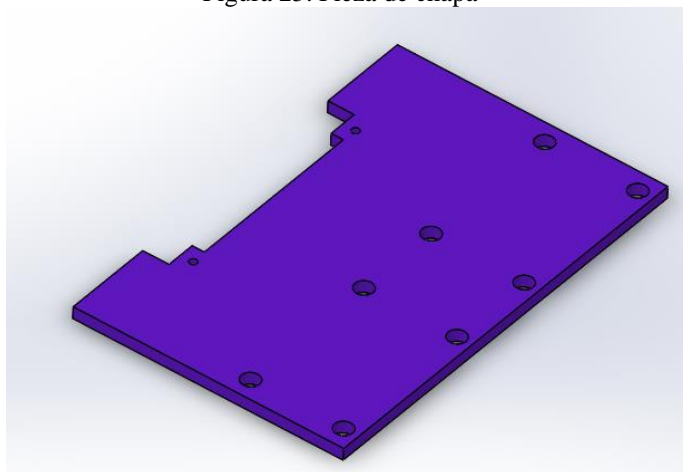


Figura 26. Detalle de pieza

Esta pieza de chapa se utiliza para proporcionar soporte a los motores y ruedas auxiliares y para garantizar que estén correctamente posicionados los motores y las ruedas son componentes críticos de movimiento mecánico. La pieza de chapa proporciona un punto de montaje estable para estos componentes, lo que asegura que estén posicionados correctamente.

Se diseña de esta forma porque se deben considerar una serie de factores para la pieza, como la carga que soportará, las vibraciones que experimentará, el ambiente en el que se utilizará y las restricciones de espacio disponibles.

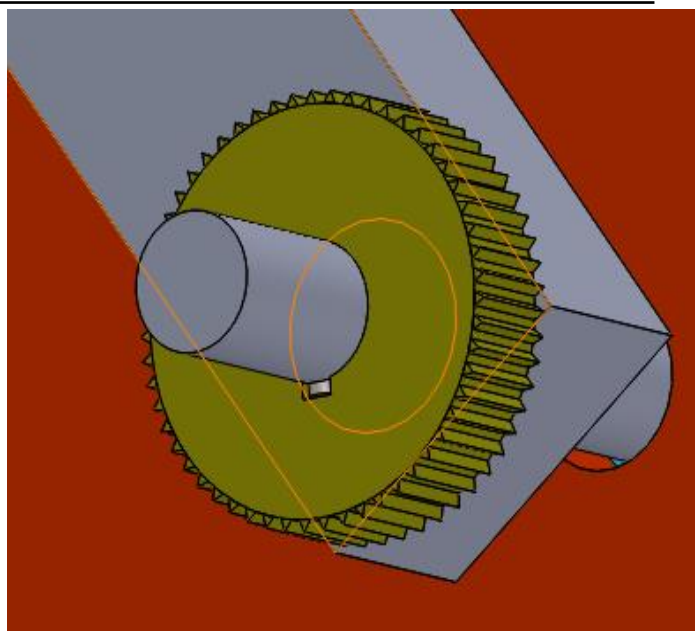


Figura 27. Engranaje 13

Este engranaje con una mayor cantidad de dientes recibe la transmisión de potencia desde el lado izquierdo del montaje, se acopla con el chavetero al eje asociado permitiendo que la rueda gire en sentido positivo, se asocia con el soporte de ancla para la chapa anterior, requiere de una correa de transmisión que como se intuye va concertada directamente al motor, ayuda al movimiento armónico y hacia adelante del dispositivo.

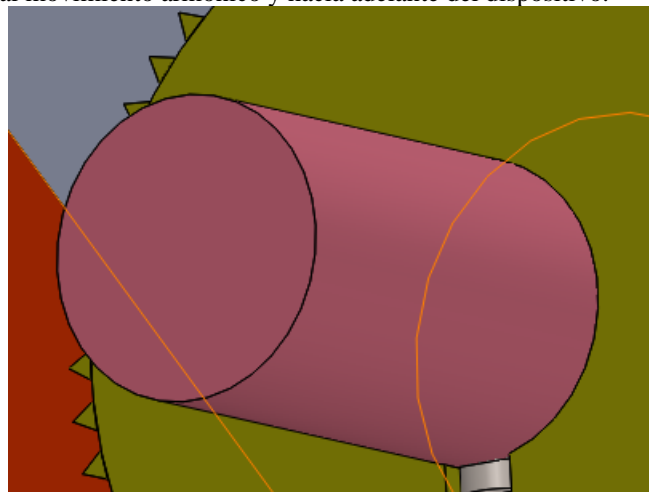


Figura 28. Eje acoplado al engrane 13

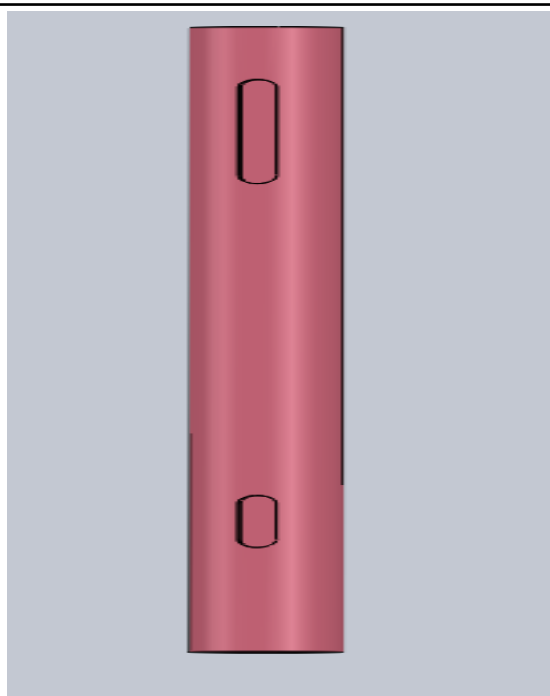


Figura 29. Detalle del eje

El eje asociado al engranaje numero 13, muestra las hendijas necesarias para los chaveteros de los piñones que le transmiten el movimiento rotacional para el movimiento hacia delante de la rueda, atraviesa todo el montaje siendo un componente de acople importante y que soporta una cantidad importante de fuerzas de torsión y axiales.

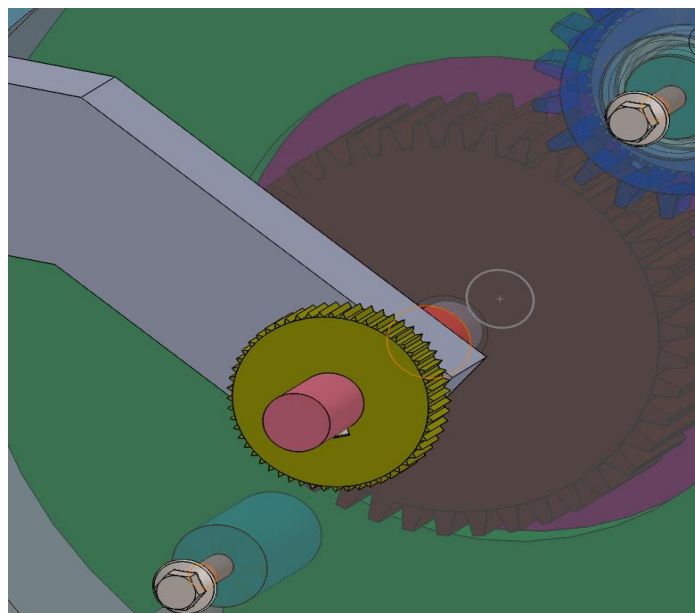


Figura 30. Pieza 16

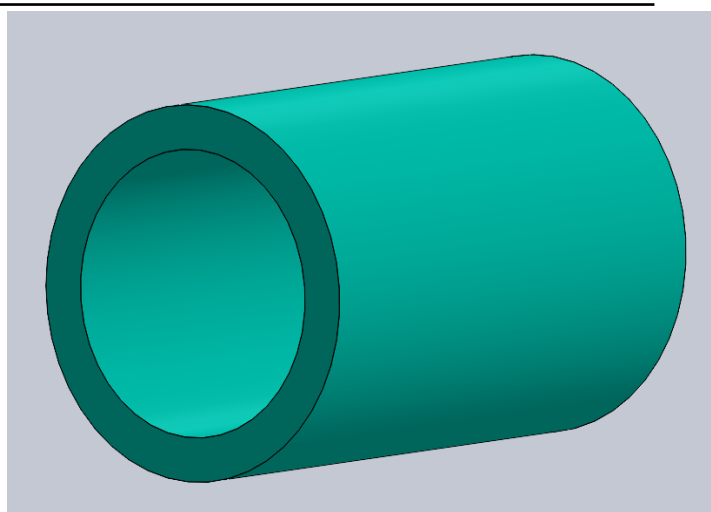


Figura 31. Detalle pieza 16.

Un acople que, aunque sencillo proporciona estabilidad dentro de la unión de todos los componentes en las caras que tiene la rueda, de igual forma, permite una sujeción adecuada para los tornillos que mantienen el sistema unido, los cojinetes del sistema de piñones de igual forma, aprovechan la presencia de este acople lo que hace que sufran un menor desgaste.

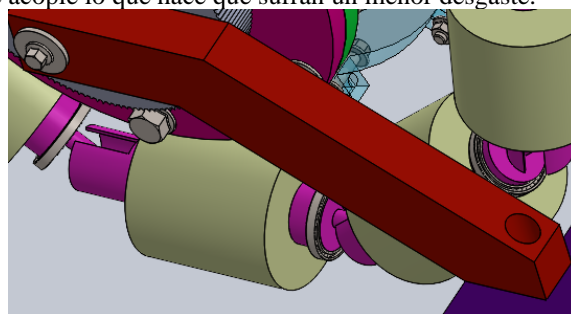


Figura 32. Pieza 17

Es el soporte que une la chapa con la rueda, cumple la función de puente entre los dos sistemas, buscando soportar la carga de sus propios componentes y los montajes que soporta la chapa, con huecos para los tornillos que van a asegurar esta unión, se requiere de un material resistente que no ceda ante vibraciones o movimientos que se puedan presentar.

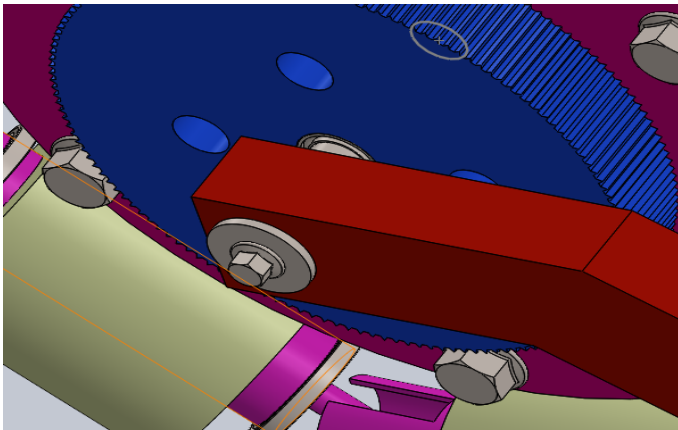


Figura 33. Pieza de engrane 18 (pieza 18).

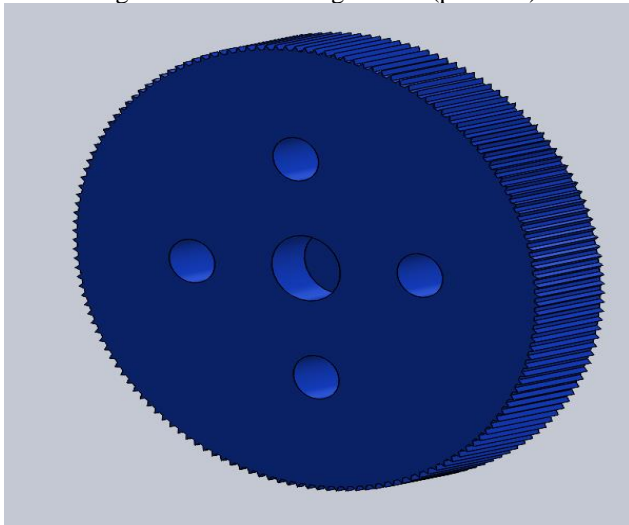


Figura 34. Detalle engrane 18 (pieza 18).

El engranaje 18 es un componente importante en el mecanismo y se utiliza para transmitir potencia de un eje a otro, la relación entre el tamaño y los dientes de este engranaje se selecciona cuidadosamente para garantizar una transmisión de potencia eficiente y fiable, el tamaño y los dientes se han seleccionado para maximizar la transmisión de potencia en el mecanismo. Dado es el principal transmisor de potencia en el mecanismo, debe ser lo suficientemente resistente para manejar la carga y la fuerza que se transmiten a través del sistema, además, se selecciona un número de dientes y un tamaño que permita una velocidad y un torque adecuados en el eje conectado. Dada su forma es importante para unir y transmitir a diferentes componentes por lo tanto el material y grosor juegan un papel importante para de esta forma tener un rendimiento adecuado a la hora de las pruebas.

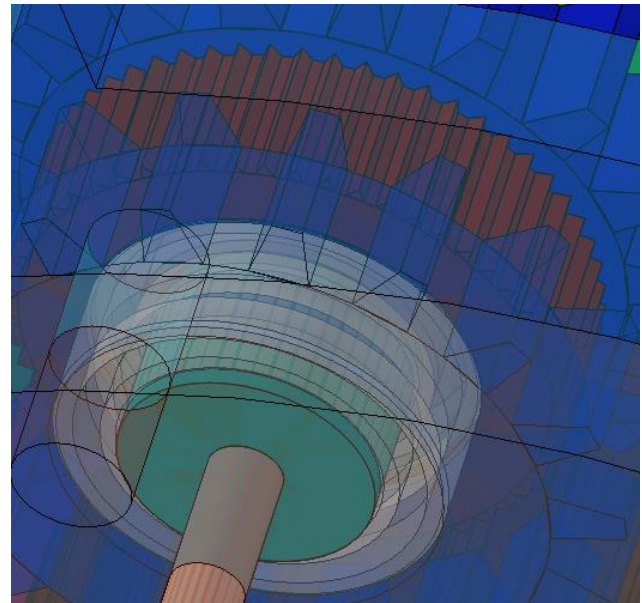


Figura 35. Piñón 20 (pieza 20) acoplado

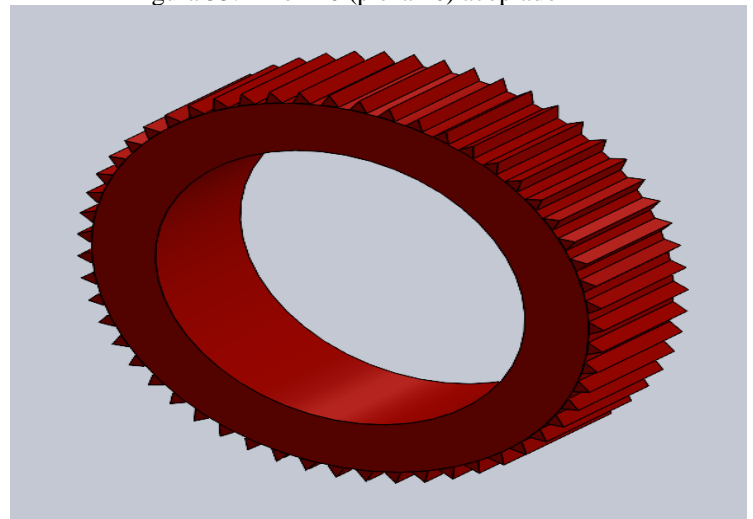


Figura 36. Detalle del piñón 20 (pieza 20)

La pieza 20 es un elemento crucial en el sistemas de transmisión mecánica, su función principal es actuar como un medio de transmisión entre la fuente de energía (motor) y el sistema que necesita ser impulsado de manera horizontal, frente a los movimientos realizados por la rueda hacia adelante, se detalla como trabaja con el par de piñones 4, que transmiten un gran torque, otra función de este piñón es compensar la falta de velocidad de los anteriores con su numero de dientes mucho mayor, habilitando una conjunción adecuada entre el tren de ruedas superior frente a la rueda principal. Su capacidad para establecer la relación de movimiento, repartir el torque y velocidad necesarios, y distribuir la energía de manera uniforme entre las diferentes partes, lo convierte en un elemento fundamental para el funcionamiento adecuado del sistema.

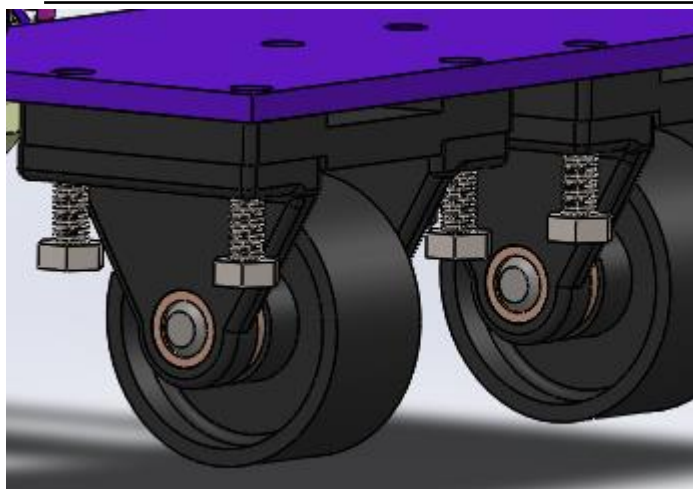


Figura 37. Ruedas comerciales, para acoplar a la rueda. Se utilizarán unas ruedas comerciales como las que se muestran en la figura anterior (figura 36) para lograr darle estabilidad a nuestra rueda y acoplarle sus respectivos motores.

Analisis de Movimiento

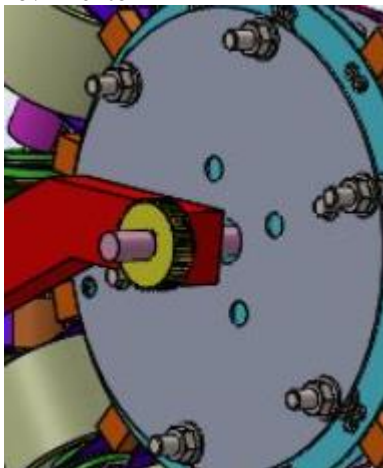


Figura 38. Referencia de análisis de movimiento para el engranaje azul

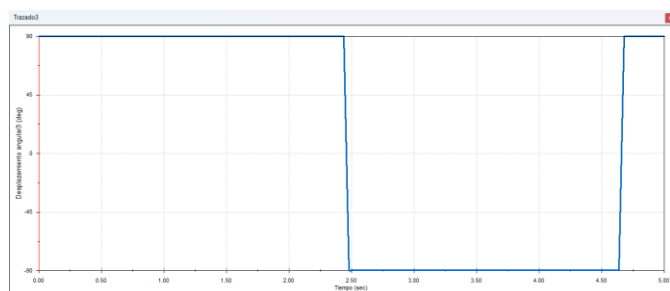


Figura 39. Grafica del desplazamiento angular para el movimiento del engranaje azul

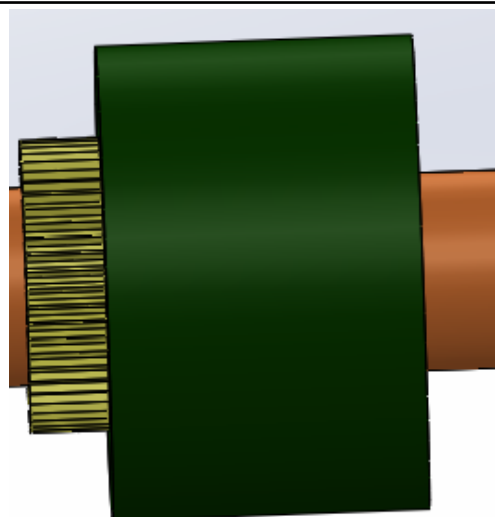


Figura 40. Referencia de análisis de movimiento para el eje naranja acoplado al engranaje amarillo encargado de dar tracción

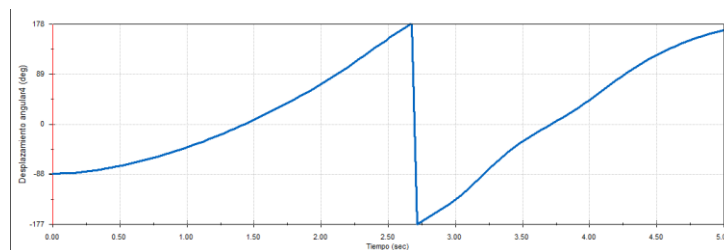


Figura 41. Grafica del desplazamiento angular de una de las nueve ruedas superiores

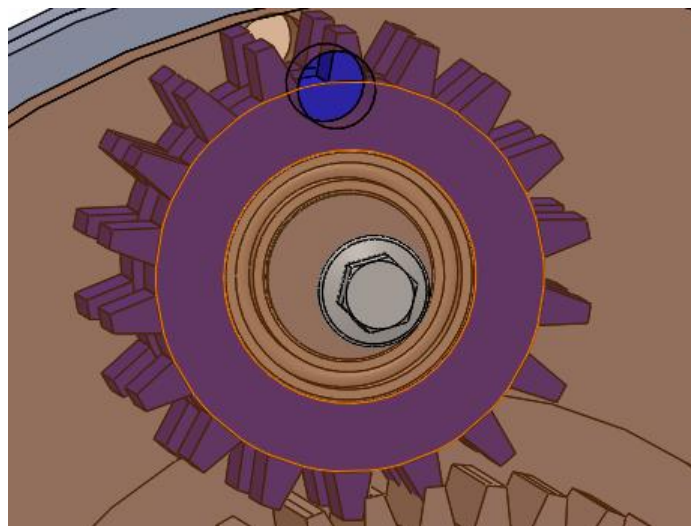


Figura 42. Referencia de análisis de movimiento para el engranaje violeta

VI. DISEÑO FINAL

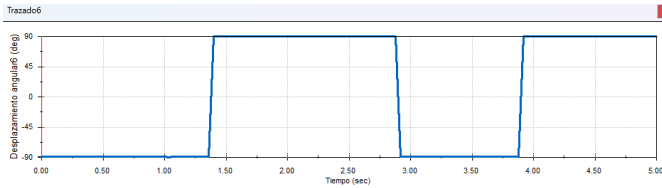


Figura 43. Grafica del desplazamiento angular para el movimiento del engranaje

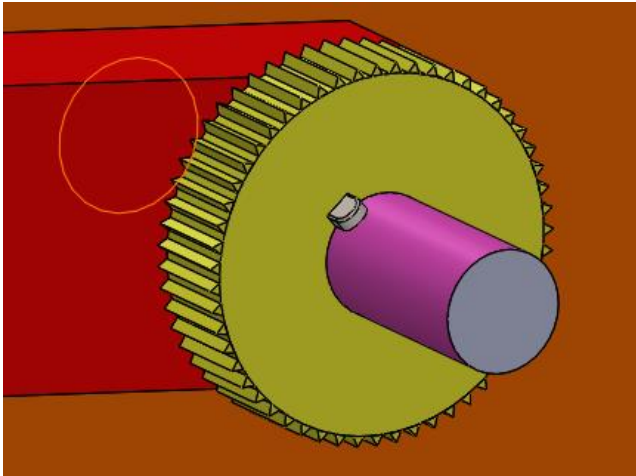


Figura 44. Referencia de análisis de movimiento para el engranaje amarillo

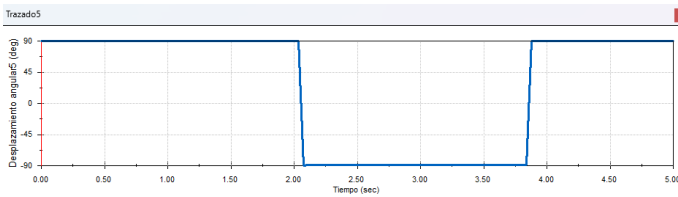


Figura 45. Grafica del desplazamiento angular para el movimiento del engranaje

Se hace estudio de El desplazamiento angular de un engranaje se ya que es importante el ángulo en el que gira un engranaje en relación con otro engranaje o una superficie fija. se calcula mediante un estudio de movimiento que tiene en cuenta la velocidad angular del engranaje, el número de dientes en el engranaje y la geometría de los dientes del engranaje. El desplazamiento angular es una medida importante en la ingeniería, ya que permite determinar cómo se transmitirá el movimiento y la fuerza entre dos o más engranajes. Cuando dos engranajes se acoplan, el desplazamiento angular de un engranaje afecta el desplazamiento angular del otro engranaje, lo que puede afectar la velocidad y el par de salida del sistema. Se hizo énfasis en el desplazamiento angular ya que también se puede utilizar para calcular la velocidad y el par de salida de un sistema de engranajes. Por ejemplo, si se conoce el desplazamiento angular y la velocidad angular de un engranaje, se puede calcular la velocidad lineal de los dientes del engranaje y, por lo tanto, la velocidad de salida del sistema. De manera similar, si se conoce el desplazamiento angular y la fuerza que actúa sobre un engranaje, se puede calcular el par de salida del sistema.

El diseño de este sistema de rueda omnidireccional se basa en el uso de juntas homocinéticas para transmitir el movimiento de manera eficiente y precisa, las juntas homocinéticas, también conocidas como juntas de velocidad constante, son dispositivos mecánicos que permiten transmitir la potencia y el movimiento entre dos ejes que se encuentran en diferentes ángulos.

En el contexto de las ruedas omnidireccionales, las juntas homocinéticas son utilizadas para permitir que el movimiento generado por el motor se transfiera a las ruedas de manera uniforme y sin pérdidas significativas de energía; estas juntas son especialmente adecuadas para este propósito, ya que mantienen una velocidad angular constante en ambos ejes a pesar de la diferencia de ángulo entre ellos.

La implementación de las juntas homocinéticas en el diseño del sistema de rueda omnidireccional implica la selección adecuada de los componentes y el ajuste preciso de los ángulos de las juntas para garantizar una transmisión de potencia eficiente y sin vibraciones indeseadas, además, se deben tener en cuenta consideraciones de resistencia y durabilidad, ya que estas juntas estarán sujetas a cargas y movimientos repetitivos.

Además del uso de juntas homocinéticas, el uso de piñonería para la transmisión de potencia es igualmente importante en el diseño del sistema de la rueda omnidireccional, la piñonería, que implica el uso de engranajes y piñones, desempeña un papel crucial en la transferencia eficiente y precisa de la potencia generada por el motor hacia las ruedas.

Los sistemas de piñonería se utilizan para multiplicar la potencia del motor y transmitirla a las ruedas, permitiendo así el movimiento deseado en todas las direcciones, los engranajes y piñones se seleccionan cuidadosamente para garantizar una transmisión de potencia suave y confiable, minimizando la pérdida de energía y maximizando la eficiencia del sistema.

El diseño de la piñonería implica consideraciones como el tamaño y la relación de engranajes adecuados, la selección de materiales resistentes y duraderos, y el cálculo preciso de los parámetros de diseño, como la relación de transmisión y la velocidad de giro; estos elementos son cruciales para lograr un funcionamiento óptimo del sistema y garantizar un rendimiento consistente a lo largo del tiempo.

Análisis estático

El análisis estático de los rodillos de la rueda y del eje que los sostiene en posición vertical es un proceso crucial para garantizar la resistencia y la durabilidad de estos componentes. A continuación, se presenta un procedimiento general para llevar a cabo este análisis.

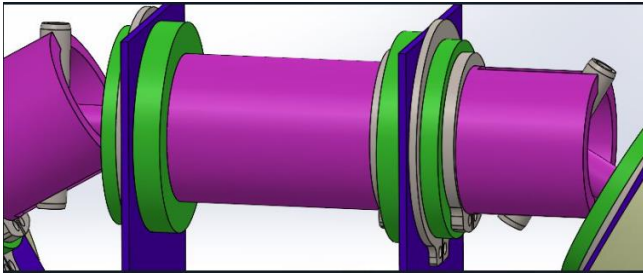


Figura 46. Tren superior de movimiento para análisis estatico

En primer lugar, se recopilan los datos relevantes, como las propiedades mecánicas de los materiales utilizados en los rodillos y el eje, que incluyen resistencia a la tracción, módulo de elasticidad y densidad. Además, es importante tener en cuenta las dimensiones y geometría de los componentes, como diámetros, longitudes y espesores.

Una vez que se han recopilado los datos necesarios, se definen las condiciones de carga que actuarán sobre los rodillos y el eje. Estas condiciones incluyen el peso de la rueda y cualquier carga adicional que se aplique durante su uso. También se deben considerar las fuerzas de contacto y las cargas concentradas, si existen.

Luego, se procede al modelado del sistema utilizando software de análisis estructural, como Finite Element Analysis (FEA). Se crea un modelo tridimensional que representa los rodillos, el eje y sus conexiones. Se aplican las condiciones de apoyo y restricciones adecuadas para simular la situación real.

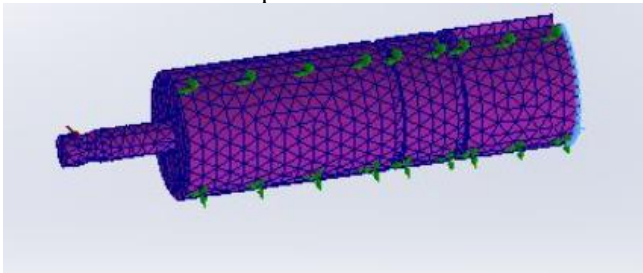


Figura 47. Enmallado del eje con sujeciones

Una vez que el modelo está completo, se aplican las cargas definidas anteriormente. Estas cargas pueden ser estáticas o dinámicas, dependiendo del tipo de análisis que se desee realizar. Es importante aplicar las cargas correctamente en los puntos de contacto entre los rodillos y la superficie de apoyo.

A continuación, se ejecuta el análisis en el software FEA para determinar las tensiones y deformaciones en los componentes. Los resultados del análisis permiten identificar las áreas de alta tensión y deformación, lo que puede indicar posibles puntos de falla o debilidad en el eje.

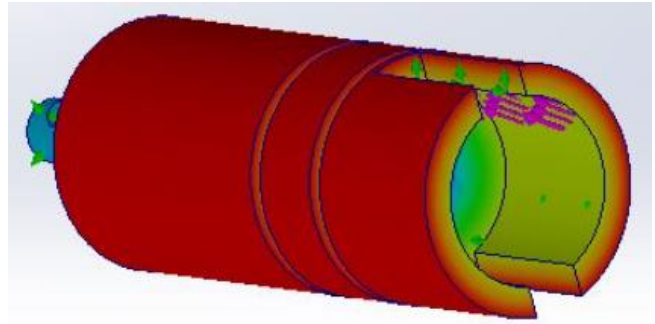


Figura 48. Desplazamiento del eje al aplicarse el esfuerzo del pin que lo hace rotar

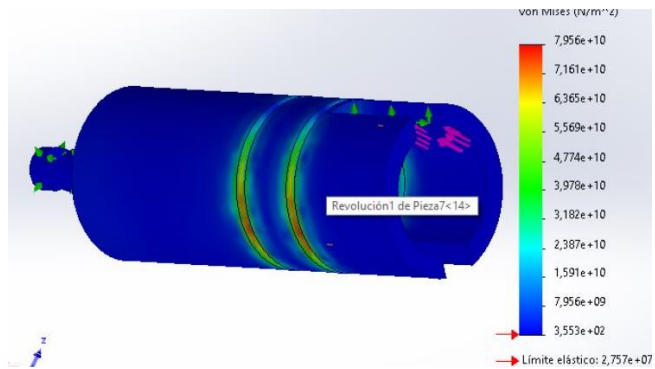


Figura 49. Esfuerzo del eje al aplicarse el esfuerzo del pin que lo hace rotar

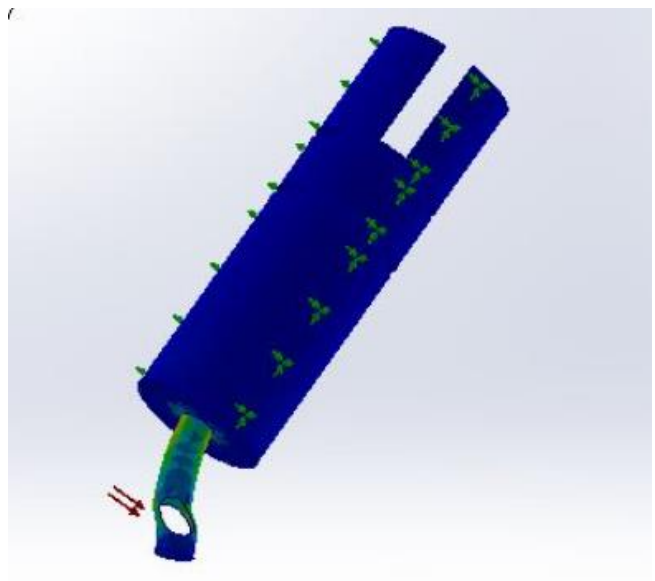


Figura 50. Esfuerzo donde va introducido el pin que hace rotar el mecanismo completo

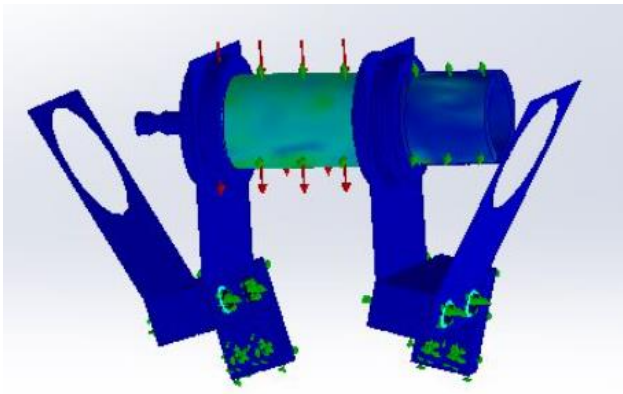


Figura 51. Análisis del Tren superior de movimiento

Se verifica si los valores de las tensiones y deformaciones obtenidos en el análisis están dentro de los límites permisibles de los materiales utilizados. Si los resultados cumplen con los límites de seguridad, los componentes se consideran adecuados en términos de resistencia y rigidez. En caso contrario, es necesario realizar ajustes en el diseño, utilizar materiales más resistentes o redistribuir las cargas para mejorar el rendimiento estructural.

Una vez que se han obtenido los resultados del análisis y se han verificado, se documentan todos los datos relevantes, incluidos los resultados, las conclusiones y las recomendaciones. Esta documentación es valiosa para futuras referencias y análisis posteriores, y también sirve como evidencia de la integridad del diseño y la seguridad del sistema.

VII. CONSTRUCCIÓN Y ENSAMBLE

La rueda omnidireccional es un dispositivo ingenioso utilizado en diversas aplicaciones, desde plataformas robóticas hasta sistemas de transporte. Esta rueda en particular está compuesta por 12 rodillos con un ángulo entre cada uno de 15 grados, que permiten una movilidad excepcional en cualquier dirección. Su construcción metalmecánica garantiza durabilidad y resistencia, lo que la convierte en una opción ideal para entornos exigentes.



Figura 52. Piezas y tornillería para realizar todo el ensamblaje

La base de esta rueda omnidireccional se encuentra en una chapa metálica de calibre 18, que proporciona la estructura y rigidez necesarias. Para empezar con la fabricación, se corta la chapa en un tamaño adecuado para el diámetro deseado de la rueda.



Figura 53. Chapas cortadas y plegadas

A cada lado del eje de acero se encuentra un buje, que cumple la función de rodamiento. Estos bujes están diseñados para permitir un giro suave y sin fricción de los rodillos superiores, están fabricados duraluminio, y se mecanizan con precisión para garantizar un ajuste perfecto con las chapas y un buen ajuste deslizante con los ejes acompañados con grasa para disminuir la fricción entre los componentes.



Figura 54. Chapas de los ejes con los bujes



Figura 55. Chapas con los bujes ensamblados



Figura 56. Chapas con el buje acoplado y el eje encajado



Figura 57. Chapas con el buje acoplado y el eje



Figura 58. Chapas con el buje acoplado, el eje y con los anillos de retención puestos

Con estos elementos ya se tiene una vista aproximada de como va a ser ensamblada la rueda

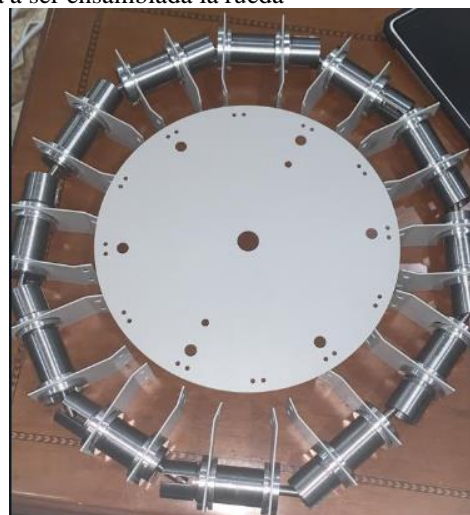


Figura 59. Croquis del ensamble la rueda

En el centro de la rueda, se inserta un eje de acero sólido. Este eje es fundamental, ya que proporciona la resistencia necesaria para soportar cargas y transferir el movimiento a los rodillos superiores.



Figura 60. Eje del centro que transmite la potencia al piñón de el tren superior



Figura 61. Mecanización del chavetero del eje

Los rodillos superiores son los elementos clave de esta rueda omnidireccional. Cada uno consta de un eje de acero en el que se acopla una rueda pequeña o un rodillo que permite el desplazamiento en cualquier dirección.



Figura 62. Ejes junto con las ruedas que conforman los rodillos



Figura 63. Parte del ensamblaje de los piñones y los rodillos del tren superior

Una vez que se han ensamblado los 12 rodillos superiores acoplados a una transmisión en conexión con el eje central, dicha transmisión consta de unos piñones y engranados prototipados en impresión 3d, se definió el módulo de los piñones y se compró una correa de transmisión del mismo módulo ($t5$) se realiza un proceso de ajuste y alineación para asegurarse de que todos los componentes estén correctamente posicionados. Esto es esencial para garantizar el rendimiento y la funcionalidad de la rueda omnidireccional.

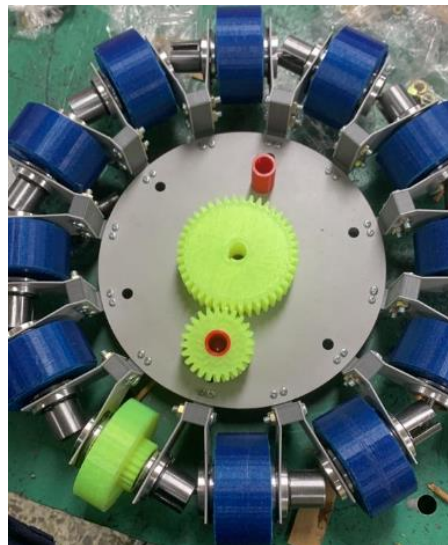


Figura 64. Rodillos ensamblados y piñones acomodados (parte interna de la rueda)



Figura 65. Correas con modulo $t5$

Se presento un inconveniente con los ejes, ya que el ajuste quedo demasiado rigido y poco deslizante por lo que se debió desarmar toda la rueda y volver a mecanizar los ejes para bajarle el diámetro y se mejorara el ajuste



Figura 66. Reducción del diámetro de los ejes

Al final se logró el ensamblaje esperado tal cual como se diseñó en el CAD



Figura 67. Ensamblaje final

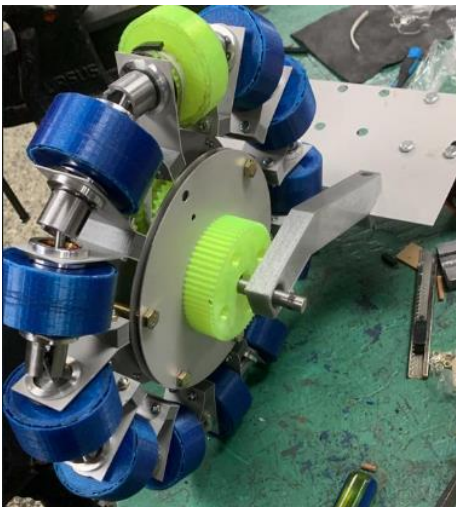


Figura 68. Ensamblaje final

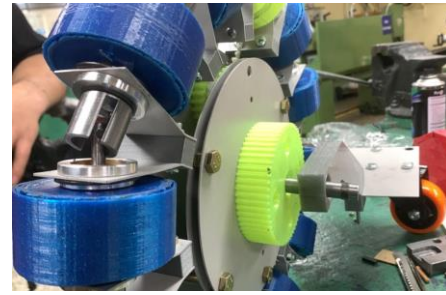


Figura 69. Ensamblaje final

VIII. CONCLUSIONES

- Al realizar el ajuste de los ejes con los bujes de soporte, es importante garantizar un ajuste deslizante suave y preciso, esto implica asegurarse de que los ejes estén bien alineados y en posición correcta con respecto a los bujes de soporte. Un desalineamiento o un ajuste demasiado ajustado puede generar fricción excesiva, lo cual dificultará el movimiento lateral fluido de las ruedas. Un ajuste deslizante adecuado permite que los ejes giren libremente dentro de los bujes de soporte, asegurando que las ruedas puedan moverse de manera eficiente y sin obstáculos en la dirección deseada. Además, un ajuste deslizante correcto también ayuda a minimizar la vibración y el desgaste prematuro de los componentes, lo que contribuye a una mayor durabilidad y vida útil del sistema.
- se concluye que el encaje entre los ejes y los bujes en la rueda omnidireccional presenta una problemática significativa. Se observó que el encaje resulta demasiado ajustado, lo que ha llevado a una reducción en el diámetro de los ejes. Esta reducción compromete la resistencia y el rendimiento del conjunto, generando preocupación sobre posibles efectos adversos a largo plazo, como un desgaste prematuro y un posible deslizamiento entre los componentes. Para garantizar un funcionamiento óptimo de la rueda, se hace hincapié en la necesidad de realizar ajustes en el diseño para permitir un encaje más adecuado. Esto implica un balance entre la tolerancia necesaria para un movimiento suave y la resistencia suficiente para soportar las cargas aplicadas. El objetivo es evitar problemas de desgaste excesivo y garantizar una unión segura y duradera entre los ejes y los bujes. Es recomendable colaborar con ingenieros y especialistas en metalurgia y diseño mecánico para encontrar soluciones adecuadas. Se pueden explorar opciones como mecanizados precisos, materiales con

propiedades superiores de resistencia o recubrimientos protectores en los ejes y los bujes. Estas medidas contribuirán a asegurar un encaje óptimo y un rendimiento satisfactorio de la rueda omnidireccional, proporcionando confiabilidad y prolongando la vida útil del conjunto.

- Después de realizar un análisis estático mediante el método de elementos finitos, se pudo concluir que los materiales utilizados en los componentes de la rueda omnidireccional, como los rodillos y el eje, son óptimos en términos de resistencia y rigidez. Los resultados del análisis demostraron que los componentes pueden soportar las cargas aplicadas sin exceder los límites permisibles de tensión y deformación. Sin embargo, se identificó un factor importante a considerar: la fricción entre los componentes. Durante el análisis, se observó que la fricción generada entre los rodillos, los ejes y los bujes requiere una mayor potencia de los motores para garantizar un movimiento fluido y eficiente de la rueda. Esta fricción adicional implica un aumento en la resistencia y una mayor demanda de energía. Por lo tanto, aunque los materiales utilizados en los componentes son adecuados, es fundamental tener en cuenta la potencia de los motores seleccionados. Se recomienda revisar los cálculos y considerar un aumento en la capacidad de los motores para compensar la fricción entre los componentes y garantizar un funcionamiento suave y eficiente de la rueda omnidireccional.
- Tras analizar los datos de simulación, se pudo concluir que los motores seleccionados para el movimiento de la rueda omnidireccional no proporcionan la potencia necesaria para un rendimiento satisfactorio. Durante las pruebas, se observó un movimiento lento y con dificultades, lo que indica una falta de impulso suficiente. Es crucial abordar esta limitación en el diseño, ya que la potencia adecuada de los motores es esencial para lograr un movimiento suave y eficiente de la rueda omnidireccional. Se recomienda revisar los requisitos de potencia del sistema y seleccionar motores más potentes que puedan proporcionar el torque necesario para superar las resistencias y permitir un desplazamiento ágil. La falta de potencia de los motores puede resultar en un rendimiento deficiente de la rueda, lo que afecta directamente la funcionalidad y la eficiencia general del sistema. Un movimiento lento o inestable puede limitar la capacidad de maniobra y afectar la precisión en las aplicaciones donde se utiliza la rueda omnidireccional. Para garantizar el correcto funcionamiento del sistema, es esencial contar con motores que se ajusten a los requisitos de potencia necesarios para superar las cargas y las resistencias presentes durante el movimiento. Además, es recomendable realizar pruebas y ajustes adicionales

para verificar y optimizar la respuesta de los motores, asegurando así un movimiento fluido y satisfactorio de la rueda omnidireccional en todas las direcciones.

- La selección de una correa de transmisión adecuada es de suma importancia en el diseño del sistema de rueda omnidireccional. Una correa inapropiada puede resultar en pérdidas significativas de potencia y afectar negativamente el rendimiento del sistema en términos de movimiento y eficiencia, la correa de transmisión es la encargada de transferir la potencia generada por el motor a las ruedas omnidireccionales; para lograr esto de manera efectiva, es fundamental elegir una correa que pueda transmitir la potencia de manera eficiente sin experimentar deslizamiento o deformación excesiva. Al seleccionar una correa de transmisión adecuada, se deben considerar factores como el material de la correa, la longitud, el ancho y la capacidad de carga., es importante evaluar las propiedades físicas del material de la correa, como la resistencia a la tracción y la flexibilidad, para garantizar que pueda soportar las demandas del sistema sin sufrir daños ni deformaciones.

REFERENCIAS

- [1] Zhang, Z., Hu, J., Li, C., & Shi, Y. (2016). *A review of electric vehicle development*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 56, 345-355. Consultado: 20 de febrero de 2023.
- [2] Kim, B., & Lee, D. (2019). Omnidirectional wheel module for mobile robots: Design and analysis. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 66(10), 7823-7833. Consultado: 20 de febrero de 2023.
- [3] Koyuncu, S., & Kazancoglu, Y. (2018). Design, analysis and manufacturing of a novel omnidirectional wheel for robotic and electric vehicle applications. Journal of Intelligent & Robotic Systems, 90(1), 153-167. Consultado: 20 de febrero de 2023.
- [4] El-Moghazy, A. Y., & Abdelkader, M. H. (2019). Design and optimization of an omnidirectional mobile robot for indoor transportation. Robotics and Autonomous Systems, 120, 30-43. Consultado: 20 de febrero de 2023.
- [5] Kwon, O. S., & Son, Y. (2015). Dynamic modeling and analysis of a vehicle with omnidirectional wheels. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, 229(2), 271-283. Consultado: 20 de febrero de 2023.
- [6] Wang, Q., Li, L., & Fan, X. (2019). A review on omnidirectional mobile robot systems. Robotics and Autonomous Systems, 111, 74-93. Consultado: 20 de febrero de 2023.
- [7] Corcobado M. *Coches de tres ruedas ¿Un futuro para la movilidad?* 2019. Disponible en:

- <https://motor.elpais.com/actualidad/coches-de-tres-ruedas-motocarro/>. Consultado: 17 de febrero de 2023.
- [8] Paris A. *Coches de Tres Ruedas*. 2019. Disponible en: <https://www.excelenciasdelmotor.com/curiosidades/coches-de-tres-ruedas>. Consultado: 17 de febrero de 2023.
- [9] Suarez S, Márquez J. *Estudio de mercado para conocer la aceptación de una cooperativa de motocarros en rio de oro cesar*. Trabajo de grado. Universidad Francisco de Paula Santander. Ocaña. 2016. Consultado: 17 de febrero de 2023.
- [10] Ortuya N. *Motocarro: Conoce los modelos que se venden en Colombia*. 2022. Disponible en: <https://www.autofact.com.co/blog/comprar-carro/mercado/motocarro>. Consultado: 19 de febrero de 2023.
- [11] El Heraldo. *Motocarros en Soledad*. 2022. Disponible en: <https://www.elheraldo.co/atlantico/motocarros-un-impacto-en-la-movilidad-del-municipio-de-soledad-903621>. Consultado: 19 de febrero de 2023.
- [12] Autos de Primera. *Ventaja de los motocarros para el transporte de última milla*. 2022. Disponible en: <https://autosdeprimera.com/ventajas-de-los-motocarros-para-el-transporte-de-ultima-milla/>. Consultado: 19 de febrero de 2023.
- [13] González Calderón C et all. *Cargo bicycles as an alternative to make sustainable last-mile deliveries in Medellin, Colombia*. Case studies on Transport Policy. Volume 10. 2022. Disponible en: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S2213624X22000815?token=3D58DC81F49EC558464B983F5A62AFC76A71FFC990409B9C595DD188E7C05D633A628E5B965F2E2BEBAAAEC39E34BF58&originRegion=us-east-1&originCreation=20230220011311>. Consultado: 19 de febrero de 2023.
- [14] Global Bajaj. *TORITO*. 2023. Disponible en: <https://colombia.globalbajaj.com/es-CO/BRANDS/Torito>. Consultado: 20 de febrero de 2023.
- [15] Jaramillo S. *Diseño de un prototipo virtual de motocicleta eléctrica de tres ruedas con cubierta que incrementa la seguridad de los ocupantes*. Trabajo de grado. Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira. 2020. Consultado: 20 de febrero de 2023.
- [16] Blumrich, J. Omnidirectional wheel U.S. Patent No. 3789947 . 05 feb. 1974. Disponible en: https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?CC=US&NR=3789947&KC=&FT=E&locale=en_EP. Consultado: 20 de febrero de 2023.
- [17] Chenguang Yang, Rui Yan, y Qinyuan Ren. *Optimal Energy Efficiency Design of Omnidirectional Mobile Robots with Four Mecanum Wheels*. IEEE Access, vol. 8, 2020. Consultado: 20 de febrero de 2023.
- [18] Matus, D. *Estas ruedas pueden hacer que tu auto se mueva en cualquier dirección*. 2016. Disponible en: <https://es.digitaltrends.com/autos/ruedas-omnidireccionales-para-automovil-william-liddiard-canada/>. Consultado: 20 de febrero de 2023.
- [19] Ke Li, et all. *Design and Control of a Four-Wheeled Omnidirectional Mobile Robot*. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics. vol. 23. 2018. Consultado: 20 de febrero de 2023.
- [20] Kang, T, et all. *Development of an Omnidirectional Wheeled Rover for Planetary Exploration*. Journal of Field Robotics, vol. 33. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/rob.21596>. Consultado: 20 de febrero de 2023.