

Development of a coupling system between a vehicle electric motor and a mechanical transmission

Desarrollo de un sistema de acople entre un motor eléctrico vehicular y una transmisión mecánica

Camila Achicanoy ^{1,*} , Gloria Timarán ² , Tito Manuel Piamba ³ 

Citación: Achicanoy, C.; Timarán, G.; Piamba, T. Desarrollo de un sistema de acople entre un motor eléctrico vehicular y una transmisión mecánica. I + T + C Investigación, Tecnología y Ciencia. Vol 1. Num. 17. 2023.

¹ Universidad Mariana. Ingeniería Mecatrónica. Pasto, Colombia; camachicanoy@umariana.edu.co

² Universidad Mariana. Ingeniería Mecatrónica. Pasto, Colombia; gltimaran@umariana.edu.co

³ Universidad Mariana. Ingeniería Mecatrónica. Pasto, Colombia; tmanuel@umariana.edu.co

*Correspondencia: camachicanoy@umariana.edu.co

Nota del editor: Sello editorial Unicomfauca se mantiene neutral con respecto a los reclamos jurisdiccionales en mapas publicados y afiliaciones institucionales.



Derechos de autor: © 2023 por los autores. Presentado para posible publicación en acceso abierto bajo los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Attribution (CC BY NC SA) (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es_ES)

Resumen: Este artículo describe cómo unir una transmisión mecánica con un motor eléctrico vehicular para convertir vehículos de combustión interna a eléctricos. Se enfatiza la importancia de planificar y ejecutar una metodología que incluya la evaluación de las características de los componentes, el diseño CAD, el mecanizado y el montaje de las piezas. El motor eléctrico utilizado se describe en detalle, incluyendo sus especificaciones y funciones. También se describe la transmisión mecánica obtenida de un vehículo Volkswagen modelo 1968. El principal desafío radica en la transmisión de movimiento entre el motor y los ejes de transmisión, para lo cual se selecciona un acoplamiento flexible tipo cruz por sus características de evitar errores cinemáticos, alta capacidad de transmisión de torque y tolerancia a desalineaciones. Además, se destaca el uso del software CAD para el diseño y posterior fabricación de las piezas, aprovechando sus capacidades de modelado tridimensional y análisis de elementos finitos. Finalmente, se menciona el proceso de fabricación, incluido el mecanizado preciso utilizando herramientas y máquinas controladas por computadora CAM.

Palabras clave: motor eléctrico; CAD/CAM; transmisión; acople mecánico

Abstract: This article describes how to pair a mechanical transmission with a vehicle electric motor to convert internal combustion vehicles to electric. The importance of planning and executing a methodology that includes the evaluation of the characteristics of the components, the CAD design, the machining and the assembly of the parts is emphasized. The electric motor used is described in detail, including its specifications and functions. The mechanical transmission obtained from a 1968 model Volkswagen vehicle is also described. The main challenge lies in the transmission of movement between the engine and the transmission shafts, for which a cross-type flexible coupling is selected for its characteristics of avoiding kinematic errors, high torque transmission capacity and misalignment tolerance. In addition, the use of CAD software for the design and subsequent manufacture of parts is highlighted, taking advantage of its three-dimensional modeling and finite element analysis capabilities. Finally, the manufacturing process is mentioned, including precise machining using CAM computer-controlled tools and machines.

Keywords: electric motor; CAD/CAM; transmission; mechanical coupling

1. Introducción

El acoplamiento de un motor eléctrico y una transmisión mecánica es parte de un proceso de adecuación de un KIT vehicular eléctrico comercial. En el ámbito de la ingeniería mecatrónica, representa la combinación de diversas disciplinas para el desarrollo de sistemas eficientes de transmisión de energía y movimiento. En este contexto, se requiere una cuidadosa planificación y ejecución de una metodología que abarque diversas fases, desde la evaluación de las características de la transmisión y el motor hasta el diseño y análisis CAD para el maquinado y montaje de las piezas.

En este proyecto, se plantea el desafío de integrar un motor eléctrico modelo Curtis 1238-7601 a una transmisión mecánica, sin embargo, la combinación de estos componentes plantea un problema de acoplamiento y sincronización que requiere una solución cuidadosamente diseñada. El motor, que opera en un rango de 72 a 108 V y puede producir hasta 71 HP y 120 lb-pie de torque [1], presenta características interesantes, como el frenado regenerativo y la función de ralentí. Estas propiedades del motor añaden una capa adicional de complejidad al desafío de garantizar una conexión eficiente y sin problemas entre el motor y la transmisión mecánica.

El desafío principal radica en la necesidad de transmitir el movimiento entre el eje del motor y la transmisión. Para ello, se requiere un acoplamiento flexible que permita una unión eficiente y confiable. En el mercado existen diferentes tipos de acoples flexibles, cada uno con sus características particulares en términos de estructura y función. Tras evaluar cuidadosamente cada opción, se optó por utilizar un acople flexible tipo cruceta debido a su capacidad para evitar errores cinemáticos, su alta capacidad de transmisión de torque y su tolerancia a desalineaciones.

2. Materiales y métodos

En esta sección se describe la metodología que se llevó a cabo para el desarrollo de un sistema de acople entre un motor eléctrico y una transmisión mecánica, para esto se llevó a cabo las siguientes fases: características transmisión - motor, diseños CAD, maquinado y montaje. En la figura 1 se muestra el diagrama explicativo del proceso realizado.

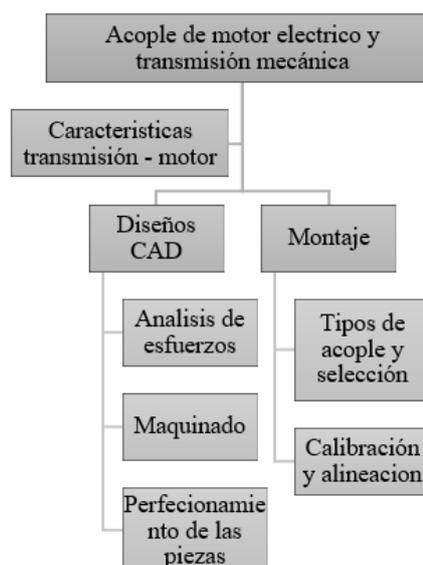


Figura 1. Diagrama de metodología para el proceso de desarrollo del acople

Se utilizaron diferentes componentes importantes para lograr una conexión y transmisión de movimiento eficiente. Estos incluyen una transmisión mecánica, un motor eléctrico, un acople flexible y piezas diseñadas específicamente para esta función.

- Transmisión mecánica

La figura 2 muestra la transmisión usada en el proyecto fue tomada del vehículo Volkswagen modelo 1968. Esta transmisión cuenta con tres velocidades hacia adelante totalmente sincronizadas cómo se evidencia en la tabla 1, está alojada en una caja de aleación de metales de tres piezas, junto con el conjunto de la impulsión final. La torsión del motor es transmitida a la transmisión de un convertidor de torsión [1].

Marcha	Relación
Primera	2.06 a 1
Segunda	1.26 a 1
Tercera	0.89 a 1
Reversa	3.07 a 1

Tabla 1. Relación de engranes Transmisión



Figura 2. Transmisión Volkswagen Beetle modelo 1968 utilizada en el proyecto

- Motor eléctrico Curtis 1238-7601

El motor eléctrico Curtis 1238-7601, es de tipo brushless, es decir, son conmutados electrónicamente y alimentados por una fuente de corriente continua por medio de un controlador externo.

Este motor es trifásico, el cual cuenta con las fases, U, V y W, un rotor con dos pares de imanes permanentes alternados, que muestran cada una de las 6 fases por las que el motor pasa durante una revolución completa y la dirección de la corriente, como se puede observar en la figura 3. [2]

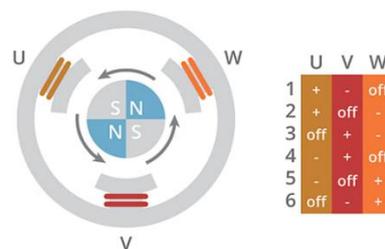


Figura 3. Patrón de seis pasos para la conmutación del motor BLDC

El motor eléctrico Curtis 1238-7601, como se puede ver en la figura 4, funciona desde 72 a 108 V, este puede consumir hasta 650A produciendo 71 HP y 120 lb-pie de torque.

Según las especificaciones de la tabla 2, tiene un buen rendimiento en vehículos medianos y livianos, cuenta con frenado que permite reducir la velocidad del vehículo transformando parte de su energía cinética en energía eléctrica y función de ralentí, es decir, el nivel mínimo de revoluciones del motor. [3].

Característica	Valor
Diámetro del motor	8.980"
Caja del motor Longitud	13.798"
Longitud del eje del motor	17.5"
Tipo de motor	Inducción CA
Escobillas	No
Interpolos	No
Peso	52 Kg
Entrada de voltaje máx	130
Tamaño del perno terminal	3/8"
Par nominal del codificador	120 lb.Pies
Potencia nominal	71 HP
RPM continuas	5.000
RPM máx	10.000
RPM Sensor	No
Eje del extremo de transmisión	1 1/8"
Eje final del conmutador	7/8"
Eficiencia máxima	88%
Refrigeración térmica	Interna
Temperatura máxima	180°C

Tabla 2 Especificaciones del motor Curtis 1238-7601



Figura 4. Motor eléctrico Curtis 1238-7601

- Tipos de acoples flexibles

Para realizar el ensamblaje entre el motor eléctrico y la transmisión, surge la dificultad de transmitir el movimiento entre los ejes, por lo cual se ve la necesidad de utilizar un acople flexible, que permita unir los extremos de estos ejes. El ensamble y la alineación de estos componentes es crucial tanto para el funcionamiento adecuado del sistema como para su durabilidad.

Existen en el comercio diferentes tipos de acoples flexibles, cada uno de estos con unas características particulares de acuerdo a su estructura y a su función. Al evaluar cada tipo de acople se optó por usar el acople flexible tipo cruceta, el cual no produce errores cinemáticos en la transmisión, tiene un disco recambiable, elevado par de transmisión y admite pocas desalineaciones. En la figura 5 se puede observar el tipo de acople seleccionado. [4]

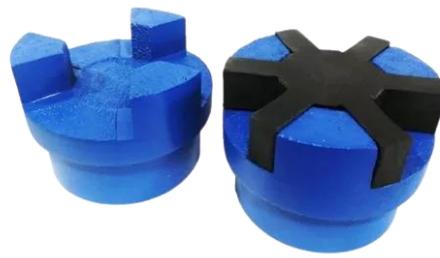


Figura 5. Acople flexible cruceta

Diseños CAD

El uso del software CAD (Computer-Aided Design, Diseño Asistido por Computadora) en el diseño y fabricación de piezas permite crear modelos digitales tridimensionales precisos, lo que facilita enormemente el proceso de diseño, validación y producción.

Como se puede observar en la figura 6, para el diseño del acople entre el motor y la transmisión, es importante lograr una conexión precisa que garantice la transferencia eficiente de energía y torque. El software CAD cuenta con las herramientas necesarias para modelar y analizar piezas, lo que permitió explorar diferentes configuraciones y evaluar su funcionalidad antes de pasar al proceso de maquinado.

Uno de los beneficios clave del software CAD es la capacidad de realizar el análisis de elementos finitos, el cual proporciona información sobre los esfuerzos a los que están sometidos las piezas, su factor de seguridad y el rendimiento. Esto ayuda a identificar posibles problemas o fallas en el diseño, lo que ahorra tiempo y dinero al evitar posteriores modificaciones.

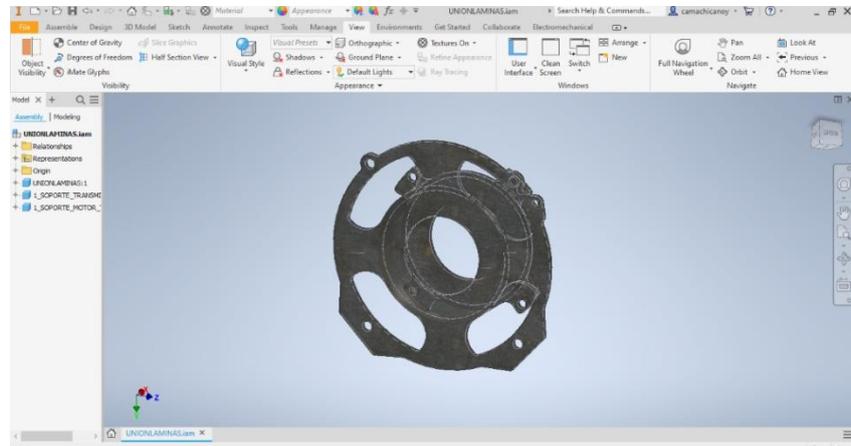


Figura 6. Software CAD Inventor – Modelado de acople entre la transmisión y el motor.

El proceso de diseño comenzó tomando como referencia algunos montajes, posteriormente se realizan las respectivas mediciones y posibles puntos de sujeción. Una vez que se ha completado el diseño de las piezas, el software CAD también desempeña un papel fundamental en su fabricación. Las herramientas de maquinado asistido por computadora (CAM) integradas en el software CAD permiten generar automáticamente instrucciones detalladas para las máquinas herramienta, como tornos, fresadoras y maquinaria para el corte CNC (Control Numérico por Computadora). Estas instrucciones indican los movimientos y operaciones necesarios para fabricar las piezas de manera precisa y eficiente. En la figura 7 se puede observar la interfaz del Software CAM, y el programa que se generó para hacer la elaboración de una de las piezas del acople.

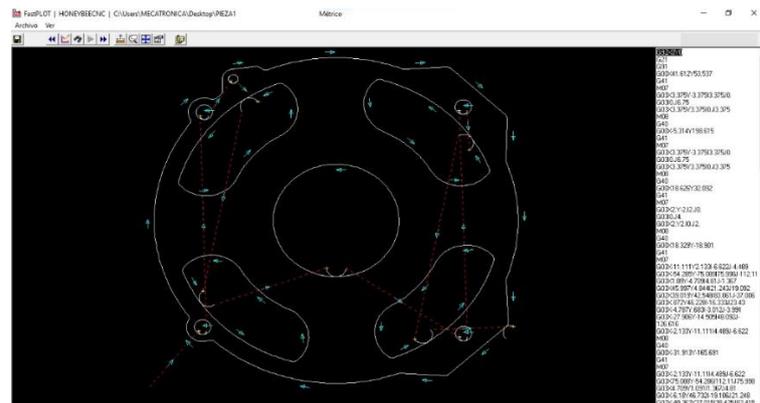


Figura 7. Software CAM – Instrucciones para el corte de lámina de acero

En la figura 8 se observa la campana de la transmisión (a) y cara frontal del motor (b) en la cual se ubica el eje, a su vez se realiza el análisis de elementos finitos lo cual se evidencia en la sección de resultados.

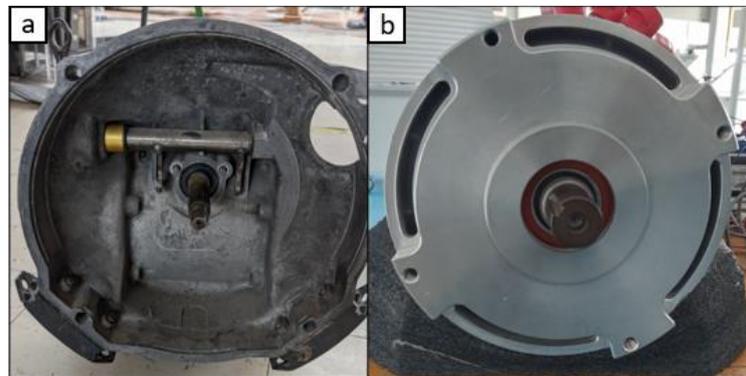


Figura 8. Vista frontal transmisión – motor

Maquinado

El proceso de maquinado de las piezas para el acople del motor y la transmisión sigue una serie de pasos que garantizan la precisión y la calidad de dichas piezas.

En primer lugar, se realiza la perforación del acople flexible en un torno CNC utilizando los diámetros adecuados para los ejes tanto de la transmisión como del motor. Esta operación se lleva a cabo con herramientas de corte específicas que permiten crear agujeros precisos en las piezas. El torno CNC proporciona un control preciso de las velocidades de corte y las trayectorias, lo que asegura que los agujeros sean dimensionados correctamente y estén alineados adecuadamente para un ajuste perfecto. [5]

A continuación, se procede a la perforación de y elaboración de las roscas en los laterales del acople flexible. Estas roscas permiten introducir tornillos prisioneros, los cuales se encargarán de fijar de forma segura y estable los ejes del motor y la transmisión. La elaboración de la rosca se realiza utilizando herramientas específicas que cortan las estrías de la rosca con precisión, proceso que se puede observar en la figura 9.

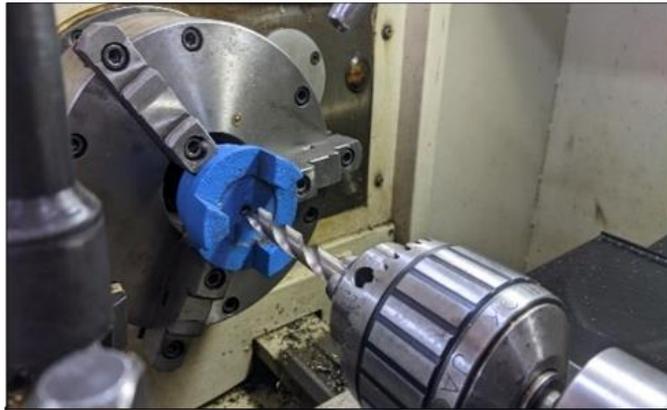


Figura 9. Proceso de adaptación del acople flexible

Otro paso importante en el proceso de fabricación es el corte plasma de las piezas destinadas a la sujeción de la transmisión y al anclaje del motor. El corte plasma es un proceso en el que se utiliza un chorro de plasma caliente y concentrado para cortar el metal con precisión y velocidad. Este proceso permite obtener formas y contornos complejos con bordes limpios y suaves. En la figura 10 se puede observar el proceso de corte de las piezas, las cuales son cortadas por plasma y están diseñadas para adaptarse específicamente a la transmisión y al motor, proporcionando una sujeción sólida y segura.



Figura 10 Proceso corte a plasma

Además, se realiza un corte adicional de un tubo que proporcionará la estructura principal del acople y permitirá la conexión entre el motor y la transmisión. Este corte se lleva a cabo utilizando herramientas de corte especializadas, como sierras o cortadoras, para obtener una sección de tubo con las dimensiones adecuadas.

Por último, se realiza la soldadura de las piezas cortadas por plasma a los extremos del tubo. La soldadura se lleva a cabo utilizando técnicas de soldadura adecuadas, como la soldadura por arco eléctrico (MIG), asegurando una unión sólida y duradera. La soldadura garantiza que las piezas de sujeción y anclaje estén firmemente unidas al tubo, brindando estabilidad y resistencia al conjunto del acople.

3. Resultados

Análisis de esfuerzos y resistencia

Una vez elaborados los diseños de las piezas estos deben ser evaluados en términos de su resistencia y esfuerzos. Esto implica asegurar que las piezas sean lo suficientemente sólidas y resistentes para soportar las cargas y esfuerzos a los que estarán sometidas durante el funcionamiento del motor y la transmisión. El uso de materiales adecuados y técnicas de fabricación apropiadas, como la soldadura de alta calidad, contribuye a lograr la resistencia y durabilidad necesarias. En la figura 11 se puede observar el resultado de los análisis de esfuerzos aplicados a las piezas, en las figuras 11(a) y 11(b) se pueden apreciar los valores de esfuerzo de Von Mises en los cuales se evidencian que las piezas

soportan las diferentes cargas a las cuales serán sometidas y en las figuras 11 (c)(d) se representa el factor de seguridad, luego de este análisis es posible continuar con la etapa de maquinado.

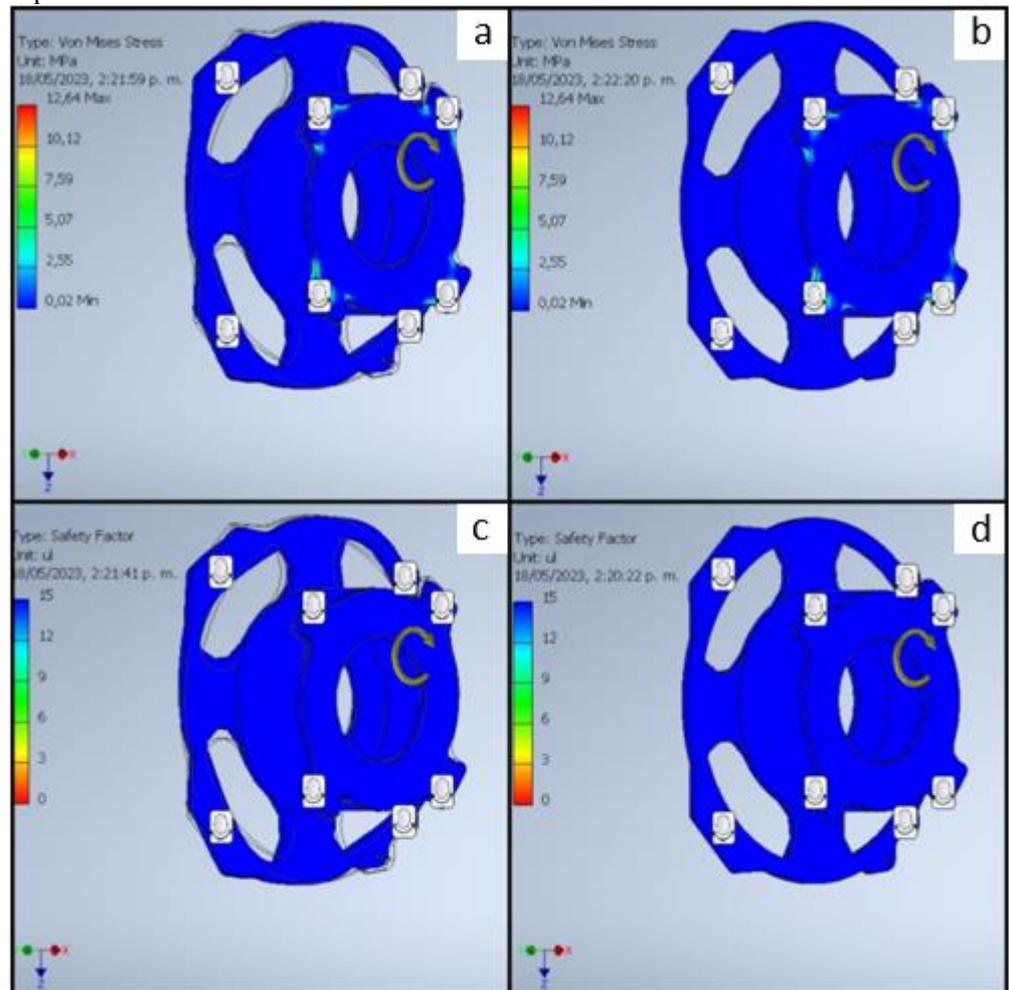


Figura 11. Análisis de esfuerzos del acople

Eficiencia de fabricación

Después de haber realizado el diseño y análisis de las piezas se procede a su fabricación de manera efectiva, utilizando los procesos y las técnicas disponibles. El uso del software CAD y las herramientas de maquinado asistido por computadora (CAM) contribuye a optimizar la eficiencia de fabricación al generar instrucciones precisas para las máquinas herramienta y reducir el tiempo. En la figura 12 se puede observar las piezas después del corte a plasma (b), además se comprueba la silueta y si los orificios tanto de la lámina como de la transmisión (a) y el motor (c) coinciden.



Figura 12. Piezas elaboradas en el proceso de maquinado

Montaje, alineación y calibración

El montaje, ensamble, alineación y calibración de las diferentes piezas para la unión del motor y la transmisión es una etapa crítica en el proceso de integración de estos componentes. A continuación, se describirán los pasos involucrados en cada una de estas actividades y en la Figura 13 se evidenciará su montaje:

Montaje:

El montaje implica reunir todas las piezas necesarias para la unión del motor y la transmisión. Esto incluye los componentes principales, como el acople y las piezas de sujeción y anclaje, así como también los tornillos u otros elementos de fijación. Durante esta etapa, es fundamental seguir las instrucciones del fabricante y garantizar que todas las piezas estén limpias y en buenas condiciones.

Ensamble:

El ensamble se refiere a la unión física de las piezas. Comienza colocando el acople en el motor y la transmisión de acuerdo con las especificaciones y recomendaciones del fabricante. Luego, se aseguran las piezas de sujeción y anclaje a sus respectivas ubicaciones utilizando los tornillos o elementos de fijación adecuados. Durante este proceso, es esencial seguir el orden y la secuencia de ensamble recomendados para evitar problemas de alineación posteriormente.

Alineación:

La alineación es un paso crítico para garantizar un funcionamiento suave y eficiente del sistema. Consiste en ajustar y alinear correctamente las piezas para que estén en posición óptima y trabajen en armonía. Esto incluye verificar y ajustar la alineación axial y radial del acople, así como también asegurarse de que los ejes del motor y la transmisión estén alineados correctamente. Se pueden utilizar herramientas y equipos de medición, como indicadores de alineación, para lograr una alineación precisa.

Calibración:

Una vez que las piezas están correctamente alineadas, se procede a la calibración del sistema. Esto implica ajustar y configurar parámetros específicos para asegurar un rendimiento óptimo. Por ejemplo, se pueden ajustar los puntos de cambio de marchas, la tensión de la correa de transmisión o la sincronización del encendido. Estos ajustes y configuraciones deben seguir las especificaciones y recomendaciones del fabricante y se pueden realizar utilizando herramientas y equipos de diagnóstico adecuados.



Figura 13. Acople motor – transmisión

4. Discusión

El proyecto finaliza de manera satisfactoria. El acople una sin correcciones y de manera deseada entre la transmisión y el motor eléctrico. Se debe validar el correcto funcionamiento en pista, es decir, que el monoplaza recorra ciertas distancias y validar el desgaste sufrido por el acople, transmisión y el motor

5. Conclusiones

El uso del software CAD en el diseño y fabricación de piezas para el acople de un motor y una transmisión proporciona una serie de beneficios significativos. Desde la creación de modelos virtuales precisos hasta la realización de simulaciones y el maquinado de alta precisión. En este caso, para el diseño de un acople mecánico usado en la transformación de vehículos de combustión a eléctricos. Para ello, se realizó una investigación sobre la conversión de vehículos eléctricos, necesidades, tipo de acoplamiento entre otros.

El acople diseñado fue evaluado mediante simulaciones y usos de elementos finitos, con el fin que garantice que soporte de fuerzas mecánicas ejercidas por el movimiento del eje del motor y mecanismos de la transmisión. Se tuvo en cuenta el tipo de material, en este caso láminas de 1/4 de acero 1020 y tubo de acero al carbón.

Al tener un diseño final y validado mediante simulaciones de esfuerzos, inicia el proceso de fabricación de las piezas para el acople del motor eléctrico y una transmisión mecánica involucra diversas operaciones mediante máquinas herramientas CNC.

Fondos: Esta investigación no recibió financiamiento externo.

Conflictos de interés: Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Referencias

1. SCIENTIFIC PUBLICATIONS, L. P. Manuales Taller Cecs Volkswagen. <https://julioestrepo.files.wordpress.com/2013/08/manuales-taller-cecsa-volkswagen.pdf> (Consultado el 22 de octubre, 2023).
2. Mar, T., & Mart, F. Banco de Pruebas para Motores Sin Escobillas. Test Stand for Brushless Motors. 2021, 3, 154-196.
3. Ewest. Curtis 1238-7601 HPEVS AC-50 Brushless AC Motor Kit - 96 Volt. https://www.ewest.com/catalog/product_info.php?cPath=8&products_id=83 (Consultado el 22 de octubre, 2023).
4. DISAI. Acoplamientos Flexibles. https://www.disai.net/wp-content/uploads/catalogos_pdf/Acoplamientos.pdf (Consultado el 22 de octubre, 2023).