

Análisis del Comportamiento de un Motor Eléctrico, Adaptado a una Motocicleta, Bajo
Características de Torque, Potencia y Velocidad

Nota de Autor

Andrés Javier Valencia Rodríguez, Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad
Internacional SEK; Director Ingeniero Gustavo Moreno.

Cualquier correspondencia concerniente a este trabajo puede dirigirse a:

andresvalen_14@hotmail.com

Declaración Juramentada

Yo, ANDRÉS JAVIER VALENCIA RODRÍGUEZ con número de cédula de identidad 180351818-0, declaro bajo juramento que el trabajo desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que todo lo que se ha consultado tiene sus referencias bibliográficas respectivas que incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

ANDRÉS JAVIER VALENCIA RODRÍGUEZ

C.I.: 180351818-0

Agradecimiento

Agradezco a Dios por darme sabiduría y fuerzas necesarias para seguir adelante en mi día a día, a mis padres por su infinito amor, apoyo y ejemplo que muestran siempre, a mi hermano, tíos, abuela y familiares por su apoyo y preocupación, finalmente a mis profesores que me impartieron sus conocimientos, que son las bases del aprendizaje para formarme en mi carrera de Ingeniería Mecánica.

Dedicatoria

A Dios por protegerme y ser mi guía durante toda mi carrera, a mi padre porque siempre estuvo ahí alentándome y dándome la fortaleza para seguir adelante en el proyecto, aun en los momentos más difíciles, y por darme a conocer que la vida no es fácil, y que si una persona se cae se debe volver a levantar, no importa las veces que sean necesarias, a mi madre por ser mi confidente incondicional, por su presión y preocupación para seguir adelante.

De manera muy especial a mis tíos y abuela que me apoyaron en todo sentido y me mostraron su preocupación desde el comienzo de toda mi carrera, hasta el final, a mi hermano David Esteban, aunque no nos vemos muy seguido, nos apoyamos mutuamente, y seguir siendo un ejemplo.

Contenido

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Contenido | 5 |
| Índice de figuras | 8 |
| Índice de tablas | 11 |
| Resumen | 12 |
| Abstract | 13 |
| Introducción | 14 |
| Marco Teórico | 14 |
| Consumo y contaminación ambiental en Quito. | 15 |
| Iniciativas científicas sobre el uso de energía eléctrica..... | 17 |
| Uso de las motocicletas eléctricas. | 18 |
| Motocicletas eléctricas a nivel mundial. | 18 |
| Motocicletas eléctricas en el Ecuador. | 24 |
| Motores eléctricos. | 27 |
| Controladores. | 33 |
| Baterías..... | 36 |
| Tipos de baterías..... | 36 |
| Alternativas | 41 |
| Método | 50 |
| Selección e implementación de los componentes para la motocicleta eléctrica | 50 |
| Cálculo de la potencia torque necesario para la elección del motor eléctrico..... | 50 |
| Cálculo para el torque necesario. | 51 |
| Cálculo para el torque final. | 52 |
| Cálculo de la potencia requerida. | 53 |
| Cálculo de la velocidad angular. | 53 |
| Parámetros de selección del motor eléctrico | 54 |
| Geometría. | 54 |
| Potencia y torque..... | 54 |
| Resistencia a agentes externos. | 55 |
| Peso. | 55 |
| Eficiencia..... | 56 |
| Costo..... | 56 |
| Información. | 56 |

| | |
|-----------------------------------------------------------|----|
| Selección del motor eléctrico | 56 |
| Cálculo de torque motor – piñón motriz. | 59 |
| Cálculo de fuerza piñón motriz – catalina conducida. | 60 |
| Cálculo de diámetro catalina conducida..... | 60 |
| Cálculo de velocidad angular catalina conducida. | 61 |
| Cálculo de torque catalina conducida..... | 61 |
| Cálculo de potencia en catalina conducida. | 61 |
| Cálculo de fuerza neumático posterior..... | 62 |
| Parámetros de selección del sistema de control | 63 |
| Compatibilidad con el motor..... | 63 |
| Dimensiones..... | 63 |
| Peso. | 63 |
| Selección del controlador | 64 |
| Parámetros de selección de baterías | 66 |
| Tensión y corriente eléctrica. | 66 |
| Selección de baterías | 67 |
| Diseño mecánico | 67 |
| Diseño del soporte del motor eléctrico..... | 67 |
| Diseño del soporte del controlador..... | 73 |
| Selección de cadena y catalinas | 76 |
| Selección de cadena | 76 |
| Selección de la catalina | 78 |
| Construcción del prototipo | 79 |
| Condición inicial. | 80 |
| Desmontaje final. | 81 |
| Construcción de soporte motor. | 82 |
| Construcción del soporte del controlador..... | 84 |
| Adaptación y maquinado de catalinas. | 84 |
| Prototipo finalizado. | 85 |
| Experimento 1, funcionamiento del motor eléctrico..... | 86 |
| Experimento 2, potencia del motor. | 87 |
| Experimento 3, prueba final en el dinamómetro. | 88 |
| Análisis económico | 91 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----|
| Resultados | 93 |
| Ubicación y comprobación de los soportes del motor al chasis..... | 93 |
| Ubicación y comprobación del soporte del controlador al chasis..... | 95 |
| Diámetro de la catalina conductora..... | 96 |
| Motocicleta eléctrica terminada..... | 97 |
| Resultados experimento 1..... | 97 |
| Prueba de funcionamiento del motor eléctrico..... | 97 |
| Resultados experimento 2..... | 98 |
| Prueba de comprobación de fuerza..... | 98 |
| Resultados experimento 3..... | 99 |
| Prueba final de torque, potencia, y velocidad en el dinamómetro..... | 99 |
| Mediciones de voltaje y amperaje tomadas en la prueba final..... | 100 |
| Diagramas de resultados de torque y potencia vs. RPM..... | 101 |
| Discusión..... | 104 |
| Comprobación de los soportes del motor y controlador al chasis..... | 104 |
| Diámetro de la catalina conductora..... | 104 |
| Experimento 1, funcionamiento del motor eléctrico..... | 104 |
| Experimento 2, comprobación de potencia..... | 104 |
| Experimento 3, torque, potencia y velocidad en el dinamómetro Dynamite..... | 105 |
| Conclusiones y Recomendaciones | 106 |
| Conclusiones | 106 |
| Recomendaciones..... | 107 |
| Referencias | 108 |
| Anexo 1 | 112 |
| Especificaciones de las cadenas marca D.I.D..... | 112 |
| Anexo 2 | 112 |
| Cadenas según Normas ANSI STANDARD CHAIN..... | 112 |
| Anexo 3 | 113 |
| Catálogo de Cadenas Marca KANA..... | 113 |
| Anexo 4 | 113 |
| Valores normalizados cables A.W.G..... | 113 |
| Anexo 5 | 114 |
| Diagrama de conexión del motor eléctrico y su controlador..... | 114 |

Índice de figuras

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Nivel de contaminación vehicular en Quito. | 15 |
| Figura 2. Contaminación en Quito. | 16 |
| Figura 3. Gases contaminantes en la ciudad de Quito..... | 16 |
| Figura 4. Motos eléctricas en España. | 18 |
| Figura 5. Harley-Davidson Livewire 2014. | 19 |
| Figura 6. BMW C Evolution. | 21 |
| Figura 7. Honda Ev-Neo. | 22 |
| Figura 8. KTM Freeride E..... | 23 |
| Figura 9. Monopatín eléctrico marca Eride..... | 25 |
| Figura 10. Monopatín eléctrico en venta Mercado Libre Ecuador. | 26 |
| Figura 11. Motocicleta a gasolina convertida en eléctrica. | 27 |
| Figura 12. Tipos de motores DC. | 28 |
| Figura 13. Comparación entre motores de combustión interna y eléctrica..... | 28 |
| Figura 14. Advanced DC BL-4001 series motor..... | 29 |
| Figura 15. Motor Shunt tipo estándar horizontal. | 30 |
| Figura 16. Motor de tipo Compound..... | 31 |
| Figura 17. Sección de un motor de imanes permanentes. | 31 |
| Figura 18. Principio de funcionamiento del motor Brushless..... | 32 |
| Figura 19. Sistema Multiswitching. | 34 |
| Figura 20. Controlador de estado sólido. | 35 |
| Figura 21. Controlador Programable..... | 36 |
| Figura 22. Batería de Plomo-Ácido..... | 37 |
| Figura 23. Batería de Níquel Cadmio..... | 38 |
| Figura 24. Baterías de Ni-MH..... | 38 |
| Figura 25. Batería de Ni-Zn. | 39 |
| Figura 26. Baterías Zebra | 40 |
| Figura 27. Batería de Ion-Litio..... | 40 |
| Figura 28. Batería de Litio Polímero..... | 41 |
| Figura 29. Motor DC tipo Shunt modelo SD1S..... | 42 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 30. Motor DC Imán permanente modelo PM90. | 43 |
| Figura 31. Motor tipo Brushless BLDC modelo PBL86..... | 43 |
| Figura 32. Controlador tipo Multi-switching modelo PWR400L..... | 45 |
| Figura 33. Controlador tipo Estado Sólido modelo SSR-50DA. | 45 |
| Figura 34. Controlador tipo PMW modelo HPC300..... | 46 |
| Figura 35. Batería de Plomo marca BOSCH..... | 47 |
| Figura 36. Batería de Ion-Litio marca Golden Motor. | 48 |
| Figura 37. Alineación de catalinas entre caja de cambios y rueda posterior. | 54 |
| Figura 38. Motor 4 tiempos original Tundra..... | 55 |
| Figura 39. Motor tipo BLDC modelo HPM3000B. | 57 |
| Figura 40. Motor tipo BLDC modelo HPM5000B. | 58 |
| Figura 41. Motor tipo BLDC modelo Mars 0708. | 58 |
| Figura 42. Motor HPM5000B – Cables de conexión..... | 63 |
| Figura 43. Controlador modelo HPC500H. | 65 |
| Figura 44. Controlador modelo VEC300. | 65 |
| Figura 45. Controlador modelo VEC500. | 65 |
| Figura 46. A) Esquema eléctrico de baterías – B) Conexión de baterías físico..... | 66 |
| Figura 47. Especificación geométrica del fabricante Golden Motor. | 68 |
| Figura 48. Los puntos que marcan 1, muestran las ubicaciones donde va estar acoplado el soporte delantero del motor..... | 69 |
| Figura 49. Los puntos que marcan 2, muestran las ubicaciones donde va estar acoplado el soporte posterior del motor. | 69 |
| Figura 50. Diseño geométrico soporte delantero del motor – Inventor. | 70 |
| Figura 51. Diseño geométrico soporte posterior del motor – Inventor. | 70 |
| Figura 52. Aplicación de cargas en Inventor..... | 71 |
| Figura 53. Análisis Von Mises..... | 72 |
| Figura 54. Los puntos que marcan 3, muestran las ubicaciones donde va estar acoplado el soporte del controlador..... | 74 |
| Figura 55. Diseño geométrico soportes del controlador – Inventor..... | 74 |
| Figura 56. Aplicación de carga en Inventor. | 75 |
| Figura 57. Análisis de Von Mises. | 75 |
| Figura 58. Diámetros iniciales - Catalina conductora 16 dientes..... | 79 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 59. Catalina conducida 42 dientes. | 79 |
| Figura 60. Prototipo de motocicleta Tundra GRX200. | 81 |
| Figura 61. Desmontaje total de la motocicleta Tundra. | 81 |
| Figura 62. Soporte del Motor delantero. | 82 |
| Figura 63. Soporte del Motor posterior. | 82 |
| Figura 64. Torneado de placa – Soporte del motor delantero. | 83 |
| Figura 65. Perforación de esquinas placa del motor – soportes en el chasis. | 83 |
| Figura 66. Soportes del controlador. | 84 |
| Figura 67. Maquinado de catalina conductora. | 85 |
| Figura 68. Adaptación de la catalina conductora. | 85 |
| Figura 69. Prototipo listo para realizar pruebas. | 86 |
| Figura 70. Acelerador electrónico marca ElectroBike. | 86 |
| Figura 71. Esquema eléctrico de cuatro baterías en serie. | 87 |
| Figura 72. Conexión de cuatro baterías físico. | 87 |
| Figura 73. Conexión de 6 baterías serie y paralelo, para el experimento de potencia. | 88 |
| Figura 74. Multímetro Digital marca FLUKE serie 115. | 88 |
| Figura 75. A) Diagrama eléctrico del experimento 3 – B) Conexión de baterías, multímetro y pinza amperimétrica físico. | 89 |
| Figura 76. Pinza amperimétrica utilizada - 3000A-HP-860N. | 89 |
| Figura 77. Tensor de cadena de motocicleta serie MOD-1156104296. | 90 |
| Figura 78. Dinamómetro modelo 3000-Lite. | 91 |
| Figura 79. Ubicación del soporte delantero del motor eléctrico. | 93 |
| Figura 80. Ubicación del soporte posterior del motor eléctrico. | 93 |
| Figura 81. Comprobación geométrica del motor eléctrico – Soporte delantero. | 94 |
| Figura 82. Comprobación geométrica del motor eléctrico – Soporte posterior. | 94 |
| Figura 83. Ubicación del soporte del controlador. | 95 |
| Figura 84. Comprobación geométrica del controlador. | 95 |
| Figura 85. Medidas del motor y del eje. | 96 |
| Figura 86. Diámetro alojamiento del eje final - Catalina conductora 16 dientes. | 96 |
| Figura 87. Prototipo finalizado. | 97 |
| Figura 88. Primeras pruebas realizadas en la motocicleta. | 98 |
| Figura 89. Prueba de fuerza en dinamómetro. | 99 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 90. Prueba Final de la Motocicleta eléctrica en el dinamómetro..... | 100 |
| Figura 91. Mediciones de la primera prueba..... | 100 |
| Figura 92. Mediciones de la segunda prueba..... | 101 |
| Figura 93. Diagrama de resultados de la primera prueba..... | 102 |
| Figura 94. Diagrama de resultados de la segunda prueba..... | 103 |

Índice de tablas

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 1 Ficha técnica Harley-Davidson Livewire..... | 20 |
| Tabla 2 Ficha técnica BMW C Evolution | 21 |
| Tabla 3 Ficha técnica Honda Ev-Neo | 22 |
| Tabla 4 Ficha técnica KTM Freeride E..... | 24 |
| Tabla 5 Cuadro de alternativas de motores eléctricos analizados para el prototipo | 41 |
| Tabla 6 Ponderación para la selección del motor eléctrico para el prototipo | 44 |
| Tabla 7 Cuadro de alternativas de controladores analizados para el prototipo..... | 44 |
| Tabla 8 Ponderación para la selección del controlador para el prototipo | 46 |
| Tabla 9 Cuadro de alternativas de las baterías analizadas para el prototipo | 47 |
| Tabla 10 Ponderación para la selección de baterías para el prototipo | 48 |
| Tabla 11 Peso estipulado de la motocicleta Tundra..... | 51 |
| Tabla 12 Información técnica de los motores eléctricos..... | 56 |
| Tabla 13 Información técnica de los controladores | 64 |
| Tabla 14 Propiedades del acero ASTM..... | 72 |
| Tabla 15 Factor de servicio | 76 |
| Tabla 16 Ficha técnica, motocicleta Tundra GXR200..... | 80 |
| Tabla 17 Especificaciones técnicas del Dinamómetro empleado para el experimento final ... | 90 |
| Tabla 18 Desglose de materiales para la conversión..... | 91 |
| Tabla 19 Mediciones tomadas de la primera prueba..... | 101 |
| Tabla 20 Mediciones tomadas de la segunda prueba | 101 |

Resumen

El presente proyecto tiene como objetivo construir un sistema de tracción eléctrico, adaptado a una motocicleta, con la idea de tener otro método para reducir la contaminación de la ciudad de Quito. Se seleccionó el motor eléctrico modelo BLDC Brushless de 5[kW] de potencia, y el controlador modelo VEC300 de tipo BLDC 5[kW], de igual manera se realizó un estudio mecánico. El prototipo de motocicleta a utilizar es modelo Tundra Gxr200, año de fabricación 2012.

Al realizar las pruebas en el dinamómetro se obtuvieron los diagramas de resultados torque y potencia vs. rpm, en donde su desempeño no fue del todo eficiente, debido al uso de baterías de plomo viejas, dando medidas de torque y potencia pico no muy altas, y distintos resultados de voltaje y amperaje, no hubo estabilidad, este es el primer avance del proyecto, posteriormente se tiene previsto implementar una fuente distinta de energía, mejorando el desempeño de la motocicleta eléctrica.

Abstract

The objective of this project is to build an electric traction system, adapted to a motorcycle, with the idea of having another method to reduce pollution in the city of Quito. The electric motor model BLDC Brushless of 5 [kW] of power was selected, and the model controller VEC300 of type BLDC 5 [kW], in the same way a mechanical study was carried out. The motorcycle prototype to be used is the Tundra Gxr200 model, year of manufacture 2012.

When performing the tests on the dynamometer, the torque and power vs. rpm, where its performance was not entirely efficient, due to the use of old lead batteries, giving not very high torque and peak power measurements, and different voltage and amperage results, there was no stability, this is the first advance of the project, later it is planned to implement a different source of energy, improving the performance of the electric motorcycle.

Introducción

En la actualidad se busca disminuir al máximo la contaminación ambiental, gran parte de esta contaminación se debe a la industria automotriz, concretamente a los vehículos, este tipo de transporte emite gases contaminantes en su salida. La motocicleta al igual que el automóvil posee un motor de combustión interna, el cual contamina y perjudica al entorno, afectando al medio ambiente. (Sorgato, 2016)

A partir de esta problemática, se resalta la importancia del estudio de los motores eléctricos adaptados a motocicletas, y aunque actualmente existen varios coches eléctricos en el país, sin contar con la extensa cantidad de automóviles híbridos y bicicletas eléctricas, no existen muchos estudios que abarque el diseño y adaptación de prototipos en forma local.

El objetivo de la presente investigación es analizar el comportamiento del motor eléctrico Brushless, adaptado a una motocicleta, por el problema de los gases contaminantes que emiten los carros a combustión, con el propósito de disminuir parte de la contaminación ambiental en la ciudad de Quito.

De esta forma, la solución es optar por la adaptación de motocicletas con sistemas eléctricos de propulsión, este medio de transporte no contamina y no emite ruidos.

Marco Teórico

Se piensa que los buses y en general el transporte pesado que utiliza el diesel como combustible, son la principal fuente de contaminación. Sin embargo la CORPAIRE, institución encargada de la calidad del aire en Quito, informa que los vehículos a gasolina sorprendentemente son los más contaminantes como se muestra en la *figura 1*, este informe fue realizado por (Araujo , 2015)

Por otra parte, en el año 2015 se realizó un informe sobre la contaminación ambiental en Quito, habla que el 80% de la contaminación atmosférica pertenece a 240.000 vehículos, y el 20% restante proviene de los sectores industrial, comercial y minero.

El estudio que realizó el diario (ElTelégrafo, 2017), referente a emisiones de gases como CO_2 , el 52% está vinculado con la combustión del vehículo de gasolina y diesel, 35% consumo de energía por parte de la industria, y 13% descomposición de residuos sólidos.

“El Ecuador ha experimentado un crecimiento del parque automotor, lo que agrava el problema, son aquellos que llevan motores dos tiempos, son los más nocivos para el ambiente, una motocicleta de dos tiempos expulsa más partículas contaminantes que 50 automóviles.” (Isch, 2011)

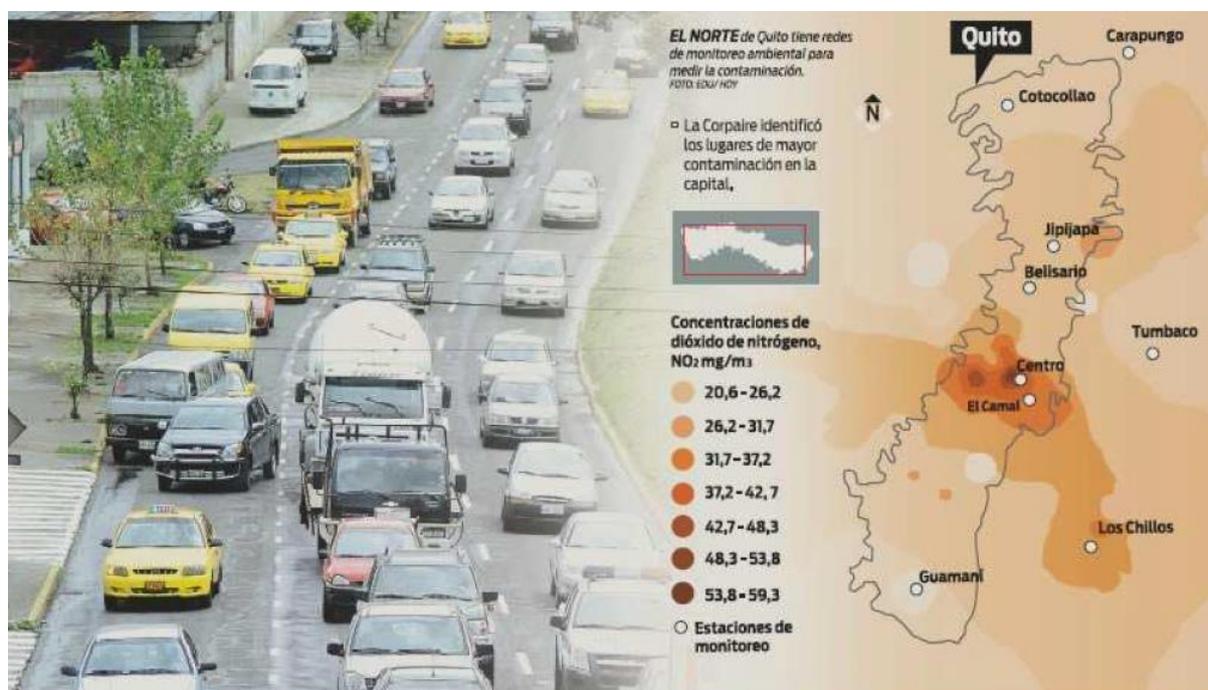


Figura 1. Nivel de contaminación vehicular en Quito. (Abatta & Moya, 2013, pág. 23)

Consumo y contaminación ambiental en Quito.

El consumo promedio anual en galones de gasolina es de 150 millones, y diesel de 80 millones, proyectando los siguientes resultados de contaminación ambiental en Quito:

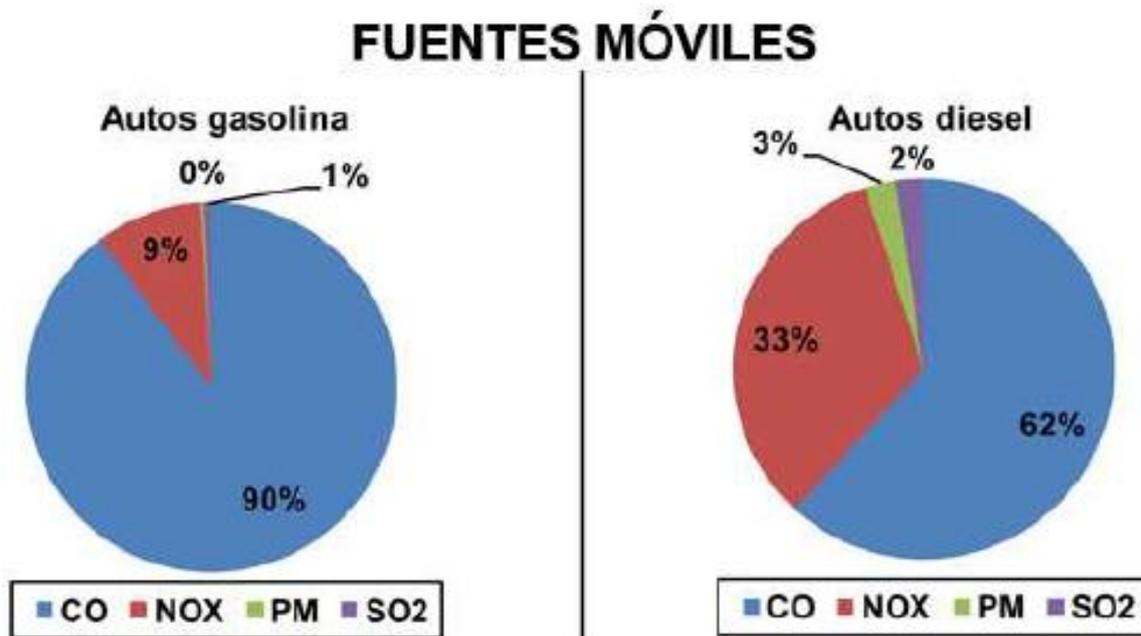


Figura 2. Contaminación en Quito. (Abatta & Moya, 2013, pág. 17)

Datos de la contaminación en Quito:

- El 90% de la contaminación es emitida por autos a gasolina, pertenece al Monóxido de Carbono, el 9% es Óxido de Nitrógeno y el 1% restante, es material particulado.
- El 62% de la contaminación emitida por autos a diesel, pertenece al Monóxido de Carbono, el 33% es Óxido de Nitrógeno, con el 2% está el Dióxido de Azufre y el 3% restante, corresponde a material particulado. Como se puede observar en la *figura 2*.



Figura 3. Gases contaminantes en la ciudad de Quito. (Bastidas & Cabrera, 2014, pág. 22)

Iniciativas científicas sobre el uso de energía eléctrica.

A principios del siglo XX, surgió la popularidad los vehículos eléctricos, debido al incremento de costo de los combustibles fósiles como, gas natural, petróleo y carbón. (Wikipedia, 2018)

Los vehículos de combustión interna son catalogados como fuente principal de contaminación del aire. En el año 2013 el diario (ElComercio, 2013) publicó un estudio que, sitúan a Quito como una de las ciudades con los más altos índices de contaminación en Suramérica.

Utilizar vehículos eléctricos es una opción para combatir el problema de la contaminación ambiental. En países como Suiza, Alemania, Francia, España e Italia, existe una red de energía solar llamada “Park & Charge”, se utiliza estaciones públicas para cargar los vehículos eléctricos.

“En los países con mayor índice de transporte colectivo como trenes, tranvías, trolebuses y subterráneos, fueron los primeros en hacer la transformación de motor de combustión a eléctrico de forma masiva, esto gracias a que toda la energía eléctrica que usan estos transportes es mucho más barata y no tienen impacto en el ambiente.” (Abatta & Moya, 2013, pág. 22)

Entre las ventajas que surgen de un motor eléctrico a un motor de combustión son las siguientes:

- Contaminación nula, gracias a que no genera gases en su salida de escape.
- Sistema mecánico simple.
- Torque constante.
- Ruido nulo.
- No necesita mantenimiento y su costo de operación es bajo.
- Se pueden acoplar varias fuentes de energía renovable.

Uso de las motocicletas eléctricas.

La mayor cantidad de motocicletas eléctricas utilizadas a nivel mundial se debe en gran parte a la tecnología que crean ciertos países desarrollados, otro uso es por el nivel de contaminación ambiental. Estados Unidos de Norteamérica, Europa, Asia, y una parte de América Latina, disponen de motocicletas eléctricas.

Alrededor del 60% de personas de estas ciudades, se desplazan aproximadamente 60 km diarios a su lugar de trabajo, en vehículos de combustión a gasolina, consumiendo un monto importante de combustibles fósiles y emitiendo sustancias contaminantes al ambiente, según comenta (Abatta & Moya, 2013, pág. 23)

Por ejemplo, en el año 2013 en España, se matricularon alrededor de 171 motocicletas eléctricas, como se muestra en la *figura 4*, este país está tratando de reducir la contaminación atmosférica y al mismo tiempo, reducir el nivel de congestión vehicular.



Figura 4. Motos eléctricas en España. (Abatta & Moya, 2013, pág. 23)

Motocicletas eléctricas a nivel mundial.

La evolución de las motocicletas eléctricas ha sido rápida en los últimos años, han mejorado la tecnología de los motores eléctricos y controles de velocidad, hoy en día existen bastantes productoras, que han puesto el interés en fabricar este tipo de transportes como

coches, motos y bicicletas eléctricas, así mismo de distribuir accesorios eléctricos como la empresa Golden Motor de China.

La motocicleta eléctrica tiene un limitante como todos los vehículos eléctricos, que es la autonomía, porque se disponen aún de baterías de baja densidad energética, como lo comentan (Abatta & Moya, 2013, pág. 11) en su proyecto.

Actualmente las motocicletas eléctricas más populares son: Harley-Davidson, BMW, Honda y KTM, que son algunas de las grandes compañías que se han enfocado a la revolución del transporte eléctrico.

Harley-Davidson Livewire.

“En el año 2014 Harley-Davidson lanza al mercado la Project Livewire, su motocicleta eléctrica más reciente, como se observa en la *figura 5.*” (Zorrilla, 2015)

“La potencia de su motor trifásico es aproximadamente 55[kW], lo que equivale a unos 75 caballos. La aceleración es de menos de cuatro segundos hasta los 100 [Km/h] con una velocidad limitada de 150 [Km/h]” (Díaz Sánchez, 2017)

Se estima que para el año 2021 su precio estará entre los 20.000 y 30.000 euros aproximadamente.



Figura 5. Harley-Davidson Livewire 2014. (HarleyDavidson, 2014)

Tabla 1

Ficha técnica Harley-Davidson Livewire

| | |
|-----------------------------|--------------------------------------------------|
| Motor eléctrico | De imanes permanentes y refrigerado por líquido. |
| Tipo de corriente | DC |
| Potencia máxima CV | 74 CV |
| Potencia máxima kW | 55 kW |
| Par máximo | 71 Nm |
| Velocidad máxima | 150 km/h |
| Autonomía ciudad | 85 km |
| Batería tipo | Ion-Litio |
| Tipo de carga / tiempo 100% | 3:5 horas y media |
| Peso total | 210 kg |

Nota: Características técnicas de la motocicleta Harley-Davidson Livewire. (HarleyDavidson, 2014)

BMW C Evolution.

La BMW C Evolution (*figura 6*), es la primera moto eléctrica de la marca Alemana BMW. Este scooter modelo BMW, tiene una potencia máxima de 48 [CV] y 72 [Nm] de par máximo, cuenta con una aceleración de 0 a 50 [km/h] en 2,7 segundos, suficiente para dejar atrás a motos del doble de cilindrada de combustión.

Salió a la venta en mayo del 2014, y su precio de venta al mercado europeo es de €14.250 unos USD 17.120 aproximadamente.



Figura 6. BMW C Evolution. (BMW Motorrad, 2017)

Tabla 2

Ficha técnica BMW C Evolution

| | |
|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Motor eléctrico | Motor sincronizado de imanes permanentes. |
| Potencia máxima CV | 48 CV |
| Potencia máxima kW/rpm | 35 a 4.650 kW/rpm |
| Par máximo | 72 a 0-4.500 Nm/rpm |
| Velocidad máxima | 120 km/h |
| Autonomía ciudad | 100 km |
| Batería tipo | Ion-Litio con refrigeración por aire. |
| Capacidad | 8 kW/h |
| Extraíble (S/N) | No |
| Tipo de cargador (Conector o enchufe) | Conector de carga tipo 1 en el salpicadero; Cable de carga con el conector de acuerdo a las especificaciones de cada país. |
| Tipo de carga / tiempo 100% | 4 horas |
| Tipo de carga / tiempo 80% | 2:45 horas y media |
| Peso total | 180 kg |

Nota: Características técnicas de la motocicleta BMW C Evolution. (BMW Motorrad, 2017)

Honda Ev-Neo.

El EV-Neo (*figura 7*), es el primer ciclomotor eléctrico fabricado por Honda, la comercialización comenzó en Japón en abril de 2011. Tiene una velocidad máxima de 45 [km/h], cuenta con una batería Ion-Litio, capacidad de 0.87 [kW/h]. El precio base es aproximadamente 4.000 euros, unos 5.440 USD, para el mercado europeo.



Figura 7. Honda Ev-Neo. (Honda Motor, 2011)

Tabla 3

Ficha técnica Honda Ev-Neo

| | |
|------------------------|------------------------------------------------------------------|
| Motor eléctrico | Motor sincronizado AC AF71M Sin escobillas de imanes permanentes |
| Tipo de corriente | DC |
| Potencia máxima CV | 1 CV |
| Potencia máxima kW/rpm | 0.58 a 5000 kW/rpm |
| Par máximo | 11 a 2000 Nm/rpm |
| Velocidad máxima | 45 km/h |

| | |
|---------------------------------------|--------------------------------------|
| Autonomía ciudad | 34 km |
| Batería tipo | Ion-Litio 72V, 6Ah |
| Capacidad | 0.87 kW/h |
| Extraíble (S/N) | Si |
| Tipo de cargador (Conector o enchufe) | 100V/200V – 330VA/2.900VA – 50/60 Hz |
| Tipo de carga / tiempo 100% | 3 horas y media |
| Tipo de carga / tiempo 80% | 1 hora |
| Vida/Ciclos de carga hasta 80% | 1000 ciclos |
| Peso total | 106 kg |

Nota: Características técnicas de la motocicleta Honda Ev-Neo. (Honda Motor, 2011)

KTM Freeride E.

Freeride E (*figura 8*), es la primera moto marca KTM completamente eléctrica, con una potencia de 11 [kW] nominales y 16 [kW] pico. La Freeride E proporciona una velocidad máxima entre los 70 y 90[km/h], perfecta para circuitos, ya está disponible en el mercado europeo, su precio está alrededor de USD 12.629, en el mercado europeo.



Figura 8. KTM Freeride E. (Barker, 2017)

Tabla 4

Ficha técnica KTM Freeride E

| Motor eléctrico | Motor sincronizado de imanes permanentes de discos. |
|---------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Potencia máxima CV | 22 CV |
| Potencia máxima kW/rpm | 16 kW/rpm |
| Par máximo | 42 Nm/rpm |
| Velocidad máxima | 90 km/h |
| Autonomía ciudad | 110 km |
| Batería tipo | Ion-Litio KTM PowerPack |
| Capacidad | 2.6 kW/h |
| Extraíble (S/N) | Si |
| Tipo de cargador (Conector o enchufe) | 230V / 10 o 13 [A] (carga rápida) |
| Tipo de carga / tiempo 100% | 80 minutos |
| Tipo de carga / tiempo 80% | 50 minutos |
| Peso total | 108 kg |

Nota: Características técnicas de la motocicleta KTM Freeride E. (Barker, 2017)

Motocicletas eléctricas en el Ecuador.

En Ecuador no se utiliza aún motocicletas eléctricas, lo más cercano que existe, son monopatinés eléctricos, dentro de esta categoría se destaca la empresa Eride, quienes utilizan el 60% de sus partes que son fabricadas y ensambladas en el Ecuador, este tipo de moto (*figura 9*), es catalogado por la Agencia Nacional de Tránsito (ANT) como bicicletas, según el diario (ElTelégrafo, 2018). Este monopatín eléctrico no necesita licencia de manejo ni matriculación. Puede circular en las ciclovías, parques, veredas, etc.

Características técnicas:

- Motor: Brushless (no tiene escobillas).
- Potencia: 1000[W].
- Velocidad máxima: 30 [km/h].
- Autonomía: hasta 70 km.

- Batería: Polímeros de Litio (LiPo) de 25 Ah.
- Tiempo de recarga: 5 horas.
- Número de recargas: 1500 recargas.
- Tensión cargador: 110 V / 60Hz.
- Precio: 2.499 USD (dólares).



Figura 9. Monopatín eléctrico marca Eride. (Eride, 2017)

Como también, se halla un monopatín eléctrico (*figura 10*), de venta en Mercado Libre Ecuador, no tiene marca, lleva diferentes características técnicas, el chasis es similar al monopatín eléctrico Eride.



Figura 10. Monopatín eléctrico en venta Mercado Libre Ecuador. (PaúlMercadolibre, 2017)

Características técnicas:

- Motor: 800[W]
- Batería: 60V/12Ah/Litio (desmontable).
- Velocidad máxima: 50 [km/h]
- Carga máxima: 200 [kg]
- Autonomía: 50 [km]
- Tiempo de la carga: 6-8 horas.
- Número de pasajeros: 2
- Velocidades: 3
- Tipo de freno: disco hidráulico (14 cm) en las 2 llantas.
- Dimensiones del producto: 176 x 38 x 87[cm]
- Sistema de amortiguación: no
- Precio: 1000 USD (dólares).

Así mismo, existe una motocicleta eléctrica fabricado por estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE), esta motocicleta fue convertida de gasolina a

eléctrica, la marca de la motocicleta es Suzuki Ax100 de 100cc, fue elaborado por Luis Abatta y Paúl Moya en el año 2013 como proyecto de tesis de pregrado (*figura 11*).



Figura 11. Motocicleta a gasolina convertida en eléctrica. (Abatta & Moya, 2013, pág. 138)

Características Técnicas:

- Motor: Brushless (sin escobillas) refrigerado por líquido.
- Potencia: 5 [kW]
- Torque nominal: 14 [Nm]
- Torque máximo: 40 [Nm]
- Corriente de fase: 122 [A]
- Corriente máxima de fase: 400 [A]
- Peso: 11[kg]
- Eficiencia: 91%
- Baterías: Plomo(x4).

Motores eléctricos.

Los motores eléctricos son mecanismos que transforman la energía eléctrica en mecánica, mediante campos electromagnéticos, varios motores eléctricos son reversibles, actúan como generadores, transforman la energía mecánica en eléctrica.

Existen varios tipos de motores eléctricos de corriente continua (*figura 12*), cambian su potencia y tamaño, los más importantes son:

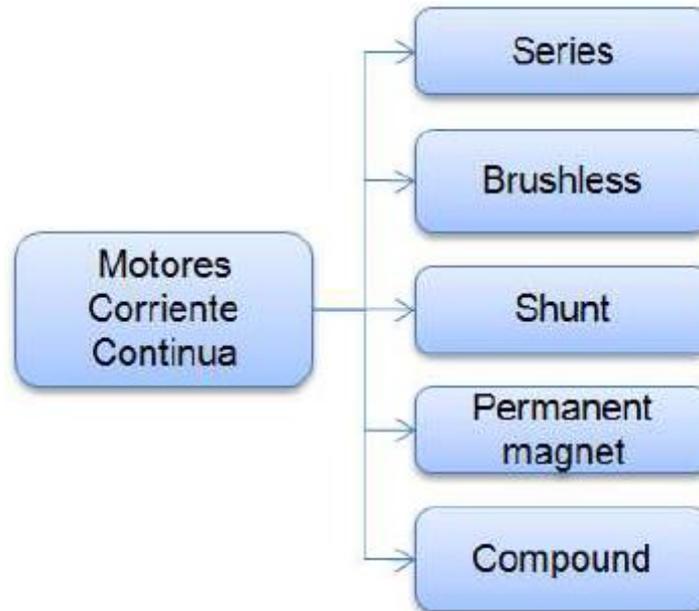


Figura 12. Tipos de motores DC. (Abatta & Moya, 2013, pág. 27)

Estos tipos de motores eléctricos de corriente continua, son los más utilizados en motocicletas eléctricas, este motor desarrolla un alto torque a bajas revoluciones (*figura 13*).

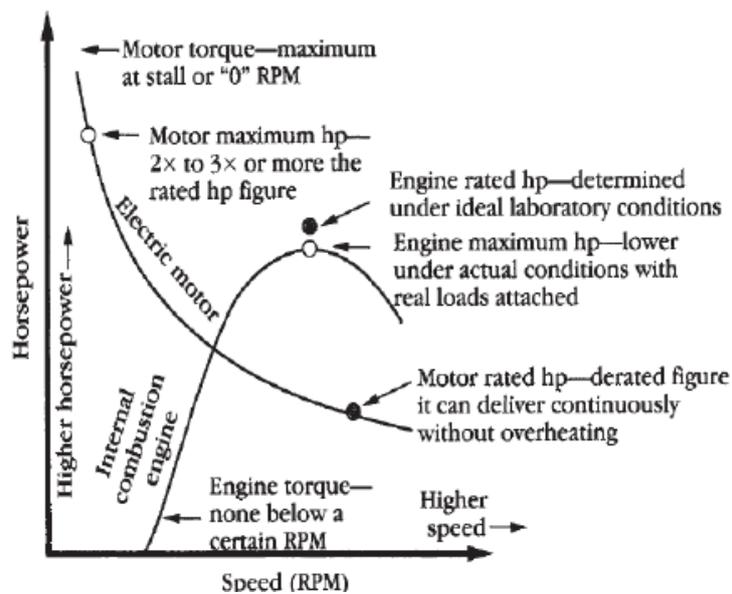


Figura 13. Comparación entre motores de combustión interna y eléctrica. (Abatta & Moya, 2013, pág. 28)

Motor de excitación en serie.

Se llama motor de excitación en serie (*figura 14*), porque lleva conectado el devanado del estator con el devanado del rotor en serie, es un motor eléctrico de corriente continua. La corriente del estator es igual a la corriente del rotor.



Figura 14. Advanced DC BL-4001 series motor. (Abatta & Moya, 2013, pág. 29)

Los motores de excitación en serie, se emplean cuando se requiere un gran par de arranque, como los trenes, tranvías, ferrocarril suburbano, ascensores, etc.

Las principales características de este motor son:

- La potencia es casi constante a cualquier velocidad.
- Le afectan poco las variaciones bruscas de la tensión de alimentación, porque un aumento de esta provoca un aumento de la intensidad.

Motor Shunt o paralelo.

El motor Shunt (*figura 15*), lleva conectado el devanado del estator con el devanado del rotor en paralelo, el funcionamiento de los motores Shunt son diferentes a los motores de excitación en serie.



Figura 15. Motor Shunt tipo estándar horizontal. (Abatta & Moya, 2013, pág. 30)

Este motor, posee alta resistencia eléctrica, razón por la que no puede manejar una gran cantidad de corriente de excitación, lo que significa que el motor desarrolla un bajo torque.

Ventajas del motor Shunt:

- Puede funcionar como generador.
- Puede invertir la dirección de rotación, al cambiar la polaridad de cualquier bobina.

Motor compound.

El motor Compound es un motor eléctrico de corriente continua (*figura 16*), que utiliza una combinación de ambos motores, excitación en serie y Shunt, obteniendo una característica híbrida, lleva un mayor torque que el motor Shunt.



Figura 16. Motor de tipo Compound. (Parera, 1990)

Este motor, tiene una velocidad constante, debido al devanado de campo en derivación. La ventaja del motor Compound es que puede invertir el sentido de giro, cambiando la polaridad del devanado del rotor.

Motores de imán permanente.

Los motores de imán permanente (figura 17), son motores eléctricos que utilizan la combinación de campos magnéticos de los imanes y campos magnéticos del estator, donde el imán permanente produce un flujo magnético con una pequeña masa.

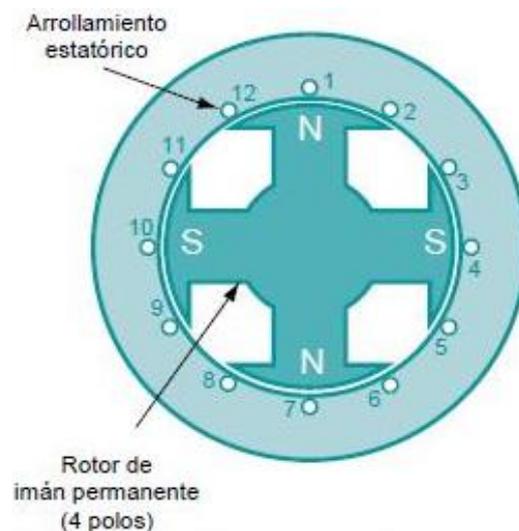


Figura 17. Sección de un motor de imanes permanentes. (Abatta & Moya, 2013, pág. 32)

Los imanes permanentes son materiales, que poseen gran capacidad de almacenamiento de energía magnética, gracias al avance tecnológico estos materiales, han mejorado, son hechos de Samario (Sm) y Neodimio (Nd).

Estos motores han llegado a ser similares al motor tipo Shunt, en su velocidad, torque y frenado regenerativo.

Motor Brushless.

El motor Brushless (*figura 18*), también es conocido como: motor eléctrico sin escobillas, motor trifásico síncrono etc. El término síncrono es cuando la velocidad de giro del motor es igual a la velocidad del campo magnético del estator.

El motor Brushless contiene el estator que es la parte fija, donde se encuentra el bobinado, el rotor es la parte móvil, donde están los imanes permanentes, y el sensor Hall, que da lectura de la posición del rotor.

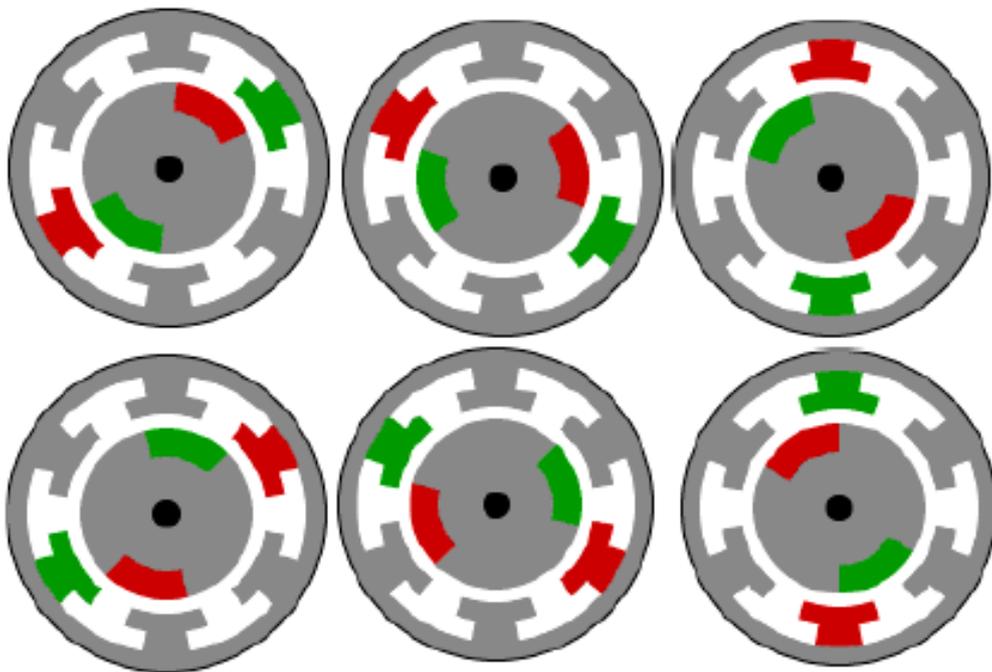


Figura 18. Principio de funcionamiento del motor Brushless. (Abatta & Moya, 2013, pág. 32)

Este motor “Brushless” no tiene escobillas, la corriente pasa directamente por las bobinas del estator, creando un campo magnético producido por los imanes permanentes,

haciendo que aparezca una fuerza que hace girar al rotor, y por lo tanto al eje del motor, este motor no opera directamente con corriente continua sino alterna, debido a que necesitan administración electrónica para funcionar.

Los imanes permanentes que contiene el rotor, están hechos de materiales como Samario-Cobalto (Sm-Co) y Neodimio-Hierro-Boro (Nd-Fe-B), estos son los más potentes.

El motor BLDC tipo Brushless, al ser más pequeño y liviano que un motor de escobilla y con la misma salida de potencia, es ideal para aplicaciones donde el espacio es reducido. El precio de este motor es mayor que los anteriores, gracias a su tecnología, estos son la mejor opción para transformar un vehículo de combustión a eléctrica, el precio también aumenta, porque llevan un controlador que es programable, y su funcionamiento es electrónico.

Controladores.

El controlador, es el encargado de enviar la energía necesaria al motor. Alimenta al motor por medio de pulsos, el controlador suele ser específico para cada tipo de motor.

El controlador, es otro de los competentes principales de la motocicleta eléctrica, aparte del motor eléctrico y baterías.

Las funciones del controlador son:

- Regulación de velocidad.
- Regulación de par.

“Adicionalmente, los controladores más avanzados, cuentan con sistemas anti-derrape para evitar que la rueda gire bruscamente al avanzar la marcha.” (Terán Muñoz, 2014, pág. 64)

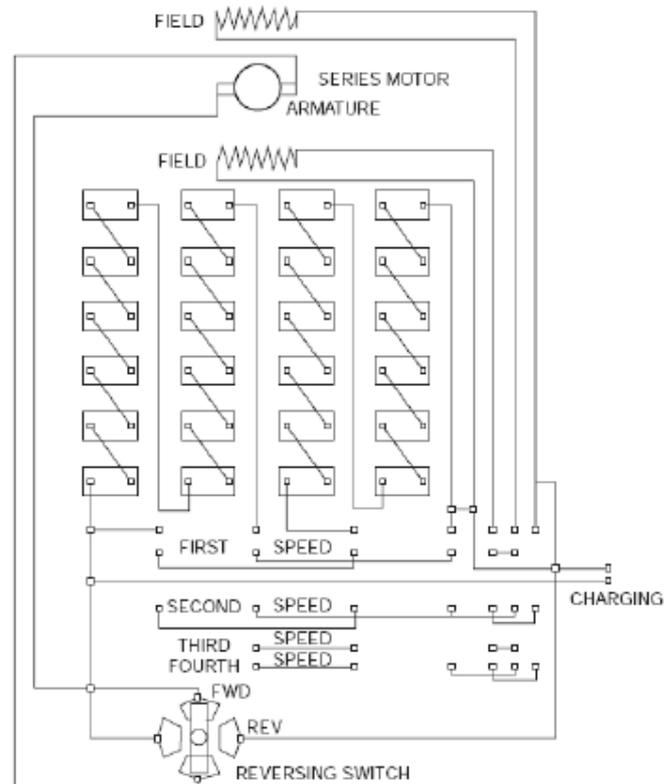
Controlador multiswitching.

Figura 19. Sistema Multiswitching. (Bastidas & Cabrera, 2014, pág. 30)

“Los controladores usan filas de baterías separadas por paquetes que suministran diversas tensiones. Por ejemplo, si se tiene un paquete con un total de 120 V, este puede ser separado en cuatro secciones, cada sección daría una tensión independiente de 30 V, en un inicio, una sección de baterías está activada, dando 30 V, lo que limita la tensión y la corriente en el comienzo.” (Bastidas & Cabrera, 2014, pág. 29)

Este controlador es el más simple en limitación de velocidad, “a medida que el vehículo comienza a desplazarse, otra sección de baterías se conecta añadiendo 30 V, este paquete de cuatro secciones indica que el controlador tiene 4 velocidades.” (Abatta & Moya, 2013, pág. 39)

Controladores de estado sólido.



Figura 20. Controlador de estado sólido. (Bastidas & Cabrera, 2014, pág. 31)

Está compuesto por dispositivos sólidos (transistores de tipo MOSFET), controlan la tensión que alimenta al motor, la tensión aumenta en forma progresiva evitando el cambio brusco de par. Mediante este tipo de arranque se logra controlar las características de trabajo durante la etapa de arranque y parada.

Estos controladores se usan para motores de inducción trifásicos estándar o en estrella-triángulo, el arranque se controla por medio de un microcontrolador.

“La frecuencia de conmutación más alta, crea una operación suave del motor. Esto hace que sean silenciosos, generalmente incluyen algún tipo de limitador de corriente para proteger el motor contra daños.” (Abatta & Moya, 2013, pág. 40)

Las ventajas de este controlador de estado sólido son:

- Protección contra fugas.
- Baja generación de calor.
- Ausencia de ruido.

Controladores electrónicos modernos.



Figura 21. Controlador Programable. (Abatta & Moya, 2013, pág. 40)

Es un controlador PWM (modulación por ancho de pulso), actualmente es el más usado en vehículos eléctricos, “se trata de un dispositivo sólido que utiliza un modulador de ancho de pulso que envía corto ráfagas de corriente al motor en pulsos a una tasa de 15 kHz.” (Abatta & Moya, 2013, págs. 40, 41)

Este controlador es uno de los más actuales, y su precio es elevado en comparación de los otros tipos controladores, la ventaja que lleva es que puede encender y apagar el motor a velocidades muy altas, controlando la velocidad con la que se desea trabajar.

Baterías.

La batería es uno de los componentes principales de la motocicleta eléctrica, porque son las que dan la energía a todo el sistema, las baterías son un dispositivo electroquímico que transforma la energía química en eléctrica. El proceso de transformación de las baterías es reversible, puede ser cargada y descargada repetidas veces.

Tipos de baterías.

Se pueden emplear distintos tipos de baterías en las motocicletas eléctricas, como se las detalla a continuación:

- Plomo.
- Níquel Cadmio.
- Níquel Metal Hidruro.
- Níquel Metal-Zinc.
- Zebra (cloruro de sodio).
- Litio Ion.
- Litio Polímero.

Baterías de plomo.



Figura 22. Batería de Plomo-Ácido. (Bastidas & Cabrera, 2014, pág. 30)

El funcionamiento de estas baterías, está basado en la pila electroquímica. Existen dos bornes, uno positivo y otro negativo, que al conectarlos forman un circuito cerrado, que generan una corriente eléctrica. Existen de diferentes tipos como:

Plomo-Ácido: Es actualmente la batería más utilizada y comercial más exitosa, debido su bajo costo y rápida disponibilidad.

Plomo-Gel: Esta batería se utiliza mucho en coches eléctricos, son de precio elevado, esta batería tiene la mejor durabilidad del ciclo profundo.

Baterías de Níquel Cadmio.



Figura 23. Batería de Níquel Cadmio. (Abatta & Moya, 2013, pág. 35)

Las baterías Níquel Cadmio (*figura 23*), proporcionan almacenamiento de energía en diversos campos de aplicación, aunque se prohibió a causa de la nocividad del cadmio para el medio ambiente, su mayor virtud es su durabilidad, así ofrece un buen ciclo de vida útil de 1500 cargas aproximadamente, se utilizaron en coches como Citroën, Renault, marcas europeas.

Baterías de Níquel Metal Hidruro.



Figura 24. Baterías de Ni-MH. (Abatta & Moya, 2013, pág. 35)

La batería Ni-MH (*figura 24*), son conocidas como pilas recargables modernas, la durabilidad en ciclos de estas pilas oscilan entre las 500 y 2000 cargas aproximadamente.

“Fue la segunda opción que apareció en el mercado, aunque no llegó a desbancar a las baterías de plomo.” (Valvermont, 2015)

Las ventajas de este tipo de pilas recargables son, la ausencia de Cadmio, así llega a disminuir bastante su precio, tienen mayor capacidad que las Ni-Cd.

La desventaja de esta batería es que su mantenimiento es muy controlado. Sufren el denominado efecto de memoria.

Baterías de Níquel Metal-Zinc.



Figura 25. Batería de Ni-Zn. (Abatta & Moya, 2013, pág. 36)

La batería Ni-Zn (*figura 25*), “proporciona un rendimiento similar al que ofrecen las de iones de litio, con la ventaja de que el componente resultante es más seguro y barato de producir.” (Arteaga, 2017)

Estas baterías de Níquel Zinc ofrecen el doble de densidad energética que la batería de plomo, su principal ventaja es que no es contaminante.

Baterías Zebra.



Figura 26. Baterías Zebra (Batería de cloruro de sodio). (Abatta & Moya, 2013, pág. 36)

Las baterías de Zebra (*figura 26*), son ideales para vehículos, autobuses incluso camiones, debido a que operan voltajes altos (600V), estas baterías pueden almacenar grandes cantidades de energía. Operan a una temperatura aproximadamente de 300°C, lo que requiere que la batería esté encapsulada por una caja de protección térmica.

Baterías de Ion-Litio.



Figura 27. Batería de Ion-Litio. (Abatta & Moya, 2013, pág. 37)

Es una batería que ofrece una densidad de energía tres veces mayor a la batería plomo-ácido, y cuenta con la mayor cantidad de voltaje por cada celda de 3.5V, lo que reduce su costo de manufactura. Su uso se ha manifestado en laptops, teléfonos móviles, y automóviles eléctricos.

“Estas baterías son las más ecológicas de todas, a la vez que cuentan con un tamaño mucho más reducido, apenas pesan.” (Valvermont, 2015)

Baterías Litio-Polímero.



Figura 28. Batería de Litio Polímero (Li-Po). (Abatta & Moya, 2013, pág. 37)

Es una batería de litio con un polímero sólido como electrolítico, tiene una densidad de energía de 5 a 12 veces mayor al Ni-Cd y Ni-MH, su precio es uno de los más elevados. La desventaja de estas baterías es que son frágiles.

Alternativas

Para el análisis de alternativas se consideró lo referente al marco teórico, se inicia con tres ítems sumamente importantes, a partir de estos ítems se puede realizar el proyecto satisfactoriamente:

- Selección del motor eléctrico, con su respectivo controlador.
- Selección de las baterías.
- Selección de motocicleta, la cual se va hacer la conversión de gasolina a eléctrica.

Tabla 5

Cuadro de alternativas de motores eléctricos analizados para el prototipo

| Motor | Excitación en paralelo Shunt DC | Imán permanente DC | Brushless BLDC |
|------------------|---------------------------------|--------------------|----------------|
| Modelo | SD1S | PM90 | PBL86 |
| Potencia nominal | 50 W | 225 W | 346 W |

| | | | |
|---------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Torque nominal | 0.28 [Nm] | 0.7 [Nm] | 1.1 [Nm] |
| Torque pico | 2.3 [Nm] | 1.3 [Nm] | 3.3 [Nm] |
| Peso | 1.6 [kg] | 3.51 [kg] | 3.2 [kg] |
| Velocidad | 960 [rpm] | 3000 [rpm] | 4000 [rpm] |
| Eficiencia | 70% | 83% | 91% |
| Resistencia agentes externos | Su cubierta de aluminio | Su cubierta de aluminio | Su cubierta de aluminio |
| Longitud | 174 [mm] | 170 [mm] | 118 [mm] |
| Diámetro | 80 [mm] | 90 [mm] | 86 [mm] |
| Precio | \$350 | \$450 | \$550 |

Nota: Tabla de comparación de tipos motores de corriente continua. (Parvalux, 2017)



Figura 29. Motor DC tipo Shunt modelo SD1S. (Parvalux, 2017)



Figura 30. Motor DC Imán permanente modelo PM90. (Parvalux, 2017)



Figura 31. Motor tipo Brushless BLDC modelo PBL86. (Parvalux, 2017)

Tabla 6

Ponderación para la selección del motor eléctrico para el prototipo

| Tipos de Motores DC | Motor excitación en paralelo Shunt DC | Motor Imán permanente DC | Motor Brushless BLDC |
|--------------------------|---------------------------------------|--------------------------|----------------------|
| Geometría | 8 | 8 | 9 |
| Potencia | 5 | 7 | 9 |
| Torque | 8 | 7 | 9 |
| Resistencia Agentes Ext. | 9 | 9 | 9 |
| Peso | 8 | 5 | 6 |
| Precio | 9 | 8 | 7 |
| Eficiencia | 7 | 8 | 9 |
| Promedio | 7,71 | 7,42 | 8,28 |

Nota: Criterio de evaluación 0-2 malo, 3-5 regular, 6-8 bueno y 9-10 excelente.

El motor eléctrico seleccionado es de tipo Brushless BLDC, con una puntuación de 8,28/10 (Tabla 6).

Tabla 7

Cuadro de alternativas de controladores analizados para el prototipo

| Controlador | Multi-switching | Estado solido | PMW |
|-------------------|-----------------|---------------|---------|
| Modelo | PWR400L | SSR-50DA | HPC300 |
| Voltaje | 80 [v] | 24 [v] | 48 [v] |
| Corriente de fase | 25 [A] | 50 [A] | 180 [A] |
| Corriente máxima | 40 [A] | 550 [A] | 360 [A] |
| Eficiencia | 70% | 65% | 98% |

| | | | |
|----------|----------|------------|------------|
| Peso | 5 [kg] | 0.125 [kg] | 2.2 [kg] |
| Longitud | 275 [mm] | 60 [mm] | 146.5 [mm] |
| Precio | \$220 | \$119.5 | \$395 |

Nota: Tabla de comparación de tipos de controladores. (Cordero, Artavia, Cordero, 2017), (GoldenMotor, 2017)



Figura 32. Controlador tipo Multi-switching modelo PWR400L. (Cordero, Artavia, Cordero, 2017)



Figura 33. Controlador tipo Estado Sólido modelo SSR-50DA. (Cordero, Artavia, Cordero, 2017)



Figura 34. Controlador tipo PMW modelo HPC300. (GoldenMotor, 2017)

Tabla 8

Ponderación para la selección del controlador para el prototipo

| Tipos de controladores | Controlador Multi-switching | Controlador Estado Solido | Controlador PMW |
|------------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------|
| Geometría | 6 | 8 | 7 |
| Voltaje | 10 | 8 | 9 |
| Amperaje nominal | 9 | 8 | 7 |
| Amperaje pico | 9 | 6 | 8 |
| Peso | 4 | 9 | 8 |
| Precio | 7 | 8 | 6 |
| Eficiencia | 7 | 6 | 10 |
| Promedio | 7,42 | 7,57 | 7,85 |

Nota: Criterio de evaluación 0-2 malo, 3-5 regular, 6-8 bueno y 9-10 excelente.

El controlador seleccionado es de tipo PMW, son controladores electrónicos modernos, con una puntuación de 7,85/10 (Tabla 8).

Tabla 9

Cuadro de alternativas de las baterías analizadas para el prototipo

| Batería | Plomo BOSCH | Ion-Litio Golden Motor |
|------------------|-----------------|------------------------|
| Modelo | High Power | EP-4815P |
| Voltaje | 12 [V] | 48 [V] |
| Amperaje nominal | 70 [Ah] | 15 [Ah] |
| Descarga | 120 [A] | 45 [A] |
| Medio Ambiente | No | Si |
| Peso | 17.9 [kg] | 8.5 [kg] |
| Potencia/Peso | 46.51 [Whr/kg] | 120[Whr/kg] |
| Longitud | 255 [mm] | 250 [mm] |
| Precio | 125\$(x4 \$500) | \$568 |

Nota: Tabla de comparación de tipos de baterías. (GoldenMotor, 2017), (BOSCH, 2017)



Figura 35. Batería de Plomo marca BOSCH. (BOSCH, 2017)



Figura 36. Batería de Ion-Litio marca Golden Motor. (GoldenMotor, 2017)

Tabla 10

Ponderación para la selección de baterías para el prototipo

| Tipos de baterías | Batería/Plomo | |
|---------------------|----------------------|-------------------|
| | BOSCH 42 full equipo | Batería/Ion-Litio |
| Geometría | 7 | 8 |
| Voltaje | 6 | 9 |
| Amperaje nominal | 8 | 5 |
| Descarga máxima | 7 | 10 |
| Tecnología | 5 | 9 |
| Densidad energética | 7 | 10 |
| Peso | 6 | 9 |
| Precio | 6 | 5 |
| Promedio | 6,5 | 8,13 |

Nota: Criterio de evaluación 0-2 malo, 3-5 regular, 6-8 bueno y 9-10 excelente.

Aunque las baterías seleccionadas son de plomo, no son la mejor alternativa, estas fueron usadas por su bajo costo y facilidad de adquisición en el mercado local, por lo cual se excluyó del prototipo final el diseño de la fuente de poder del sistema. Dicho sistema deberá ser implementado como parte del alcance en un nuevo proyecto.

Método

El alcance del proyecto es la adaptación de una motocicleta modelo Tundra GXR200 a tracción eléctrica, realizando las pruebas de torque, potencia y rpm en un dinamómetro, es el primer proyecto a realizarse de un vehículo eléctrico de la Facultad de Arquitectura e Ingenierías de la Universidad Internacional SEK.

Se limitó al sistema de propulsión, excluyendo la fuente de poder, debido a limitaciones económicas. Se proyecta continuar complementando el prototipo con el diseño de chasis y de un sistema para el almacenamiento de energía con baterías de Ion-Litio.

Selección e implementación de los componentes para la motocicleta eléctrica

Para la selección de los componentes que se incorporarán a la motocicleta eléctrica, se deben considerar los siguientes pasos:

- Identificar las características de los equipos, para su implementación.
- Determinar qué tipo de componentes se va a utilizar.
- Seleccionar el dispositivo.

Posteriormente se realizó el montaje de los elementos necesarios para la conversión.

Cálculo de la potencia torque necesario para la elección del motor eléctrico.

Para calcular la potencia necesaria del motor, se tiene que tomar en cuenta el torque que se requiere y así seleccionar el motor.

Para ello, se utilizaron las siguientes ecuaciones (Becerril Sandoval, 2014, pág. 34):

$$F = C_{rr} \cdot Nf \quad (1)$$

$$Nf = m \cdot g \quad (2)$$

Dónde:

- F = Fuerza para mover la motocicleta del reposo.

- C_{rr} = Coeficiente de resistencia a la rodadura (0.03 para una llanta sobre asfalto) (Wikipedia, 2017).
- N_f = Fuerza normal, que para este caso esta fuerza es igual al peso.
- m = Masa del objeto a mover.
- g = Gravedad (9.81m/s^2).

Para los cálculos de los parámetros requeridos del motor, se necesitan datos como el peso de cada uno de los componentes de la motocicleta Tundra.

Datos iniciales:

Tabla 11

Pesos estipulados para el montaje en la motocicleta

| Descripción | Peso |
|---------------------------|------------------|
| Chasis | 77 kg |
| Motor eléctrico Brushless | 11 kg |
| Controlador y accesorios | 3.5 kg |
| Batería (4 x 12V – 60 Ah) | 56.76 kg |
| Persona promedio | 70 kg |
| TOTAL | 218.26 kg |

Nota: Tabla de desglose de pesos de elementos montados en la motocicleta.

Sustituyendo los datos obtenidos en la ecuación 1, en donde el peso estipulado se muestra en la Tabla 11, se obtiene:

$$F = (0.03) (218.26\text{kg}) (9.81 \text{ m/s}^2)$$

$$F = 64.23 \text{ [N]}$$

Cálculo para el torque necesario.

Para calcular el torque necesario, se depende del radio de las ruedas y de la fuerza de empuje: (Becerril Sandoval, 2014, pág. 34)

$$T_n = r \cdot F \quad (3)$$

Dónde:

- T_n = Torque llanta posterior necesario.
- r = Radio del neumático.
- F = Fuerza de empuje.

Utiliza el neumático posterior un diámetro de 15 in, es decir, $r=0.1905\text{m}$

$$T_n = (0.1905\text{m}) (64.23\text{N})$$

$$\mathbf{T_n = 12.24[Nm]}$$

Cálculo para el torque final.

El torque final corresponde al torque máximo del motor eléctrico, para esto se debe de llevar a cabo una relación de transmisión entre las catalinas conductora y conducida, para multiplicar por el torque necesario anteriormente calculado.

$$T_{\text{final}} = R \cdot T_n \quad (4)$$

$$R = \frac{Z_2}{Z_1} \quad (5)$$

Dónde:

- R = relación de transmisión.
- Z_1 = dientes de la catalina conductora (16 dientes).
- Z_2 = dientes de la catalina conducida (42 dientes).

$$R = \frac{42}{16} = 2.625 : 1$$

$$T_{\text{final}} = (2.625) (12.24\text{Nm})$$

$$\mathbf{T_{\text{final}} = 32.13[Nm]}$$

Cálculo de la potencia requerida.

Para llegar a la velocidad máxima deseada, se calcula el valor de la potencia requerida, tomando en cuenta la velocidad máxima de la motocicleta Tundra, es de 110 Km/h, es decir 30.55 m/s: (Becerril Sandoval, 2014, pág. 35)

$$P_{v_{\max}} = F \cdot V_{\max} \quad (6)$$

Dónde:

- $P_{v_{\max}}$ = Potencia requerida.
- F = Fuerza de empuje.
- V_{\max} = Velocidad máxima.

Sustituyendo los valores, se obtiene:

$$P_{v_{\max}} = (64.23\text{N}) (30.55 \text{ m/s})$$

$$P_{v_{\max}} = 1962.23\text{W} = 1.9[\text{kW}]$$

Cálculo de la velocidad angular.

Para calcular la velocidad angular a velocidad máxima, se utiliza la siguiente expresión: (Becerril Sandoval, 2014, pág. 35)

$$\omega = V_{\max} / r \quad (7)$$

Dónde:

- ω = Velocidad angular.
- r = Radio del neumático.

Sustituyendo los valores, se obtiene:

$$\omega = \frac{30.55 \text{ m/s}}{0.1905\text{m}}$$

$$\omega = 160.37[\text{rad/s}]$$

Debido a que la velocidad angular está dada en rpm, en las especificaciones de los motores, es conveniente realizar la siguiente conversión:

$$W_{\text{RPM}} = \frac{\omega(60)}{2\pi}$$

$$W_{\text{RPM}} = 1531.42 \text{ rpm}$$

Parámetros de selección del motor eléctrico

El proceso de selección del motor debe cumplir con los siguientes parámetros:

Geometría.

La geometría cuenta como un parámetro importante del nuevo motor, de tal manera que al instalarlo mantenga una alineación entre catalinas similar a la original (*figura 37*), con el propósito que la cadena no afecte partes mecánicas o al chasis.



Figura 37. Alineación de catalinas entre caja de cambios y rueda posterior.

Potencia y torque.

Para la potencia y torque del motor, se tomarán en cuenta con los datos obtenidos anteriormente, aproximadamente deberá tener una potencia entre 3 a 5 [kW], y un torque mínimo de 12 [Nm].

Resistencia a agentes externos.

El motor deberá ser resistente a agentes externos, porque será parte de un medio de transporte.

Como agentes externos se encuentran:

- Agua.
- Polvo.
- Tierra.
- Lodo.

Peso.

El peso es un parámetro determinante en la autonomía y desempeño. El motor deberá ser ligero, así no podrá ser una dificultad al adaptarse a la motocicleta.

El peso del motor original a gasolina es de 28 kilogramos (*figura 38*).



Figura 38. Motor 4 tiempos original Tundra.

Eficiencia.

El motor deberá tener un mínimo del 85% de eficiencia, la eficiencia es un parámetro muy importante, porque de este dependerá el aprovechamiento de energía procedente de las baterías.

Costo.

El costo dependerá de los anteriores parámetros como: potencia, torque, resistencia a agentes externos, peso y eficiencia.

Información.

La información técnica del motor, es importante para seleccionar los elementos del sistema, ya que existen en el mercado gran cantidad de motores sin especificaciones.

Selección del motor eléctrico

En el mercado existen opciones de motores entre 3 – 20 [kW], gracias a los resultados obtenidos de fuerza, potencia, torque y velocidad angular, se determinó el uso de motores entre 3 – 5 [kW] de potencia y un torque mínimo de 12.24 [Nm].

Tabla 12

Información técnica de los motores eléctricos

| Marca | Golden Motor | Golden Motor | Mars electric LLC |
|--------------------------|--------------|--------------|-------------------|
| Procedencia | China | China | China |
| Modelo | HPM3000B | HPM5000B | Mars 0708 |
| Tipo | BLDC | BLDC | BLDC |
| Voltajes | 48 [V] | 48 [V] | 48 [V] |
| Corriente de fase | 85 [A] | 125 [A] | 100 [A] |
| Corriente máxima de fase | 240 [A] | 300 [A] | 300 [A] |

| | | | |
|------------------------|-----------|-----------|------------|
| Potencia nominal | 3 [KW] | 5 [KW] | 4.5 [KW] |
| Potencia máxima | 6 [KW] | 7.5 [KW] | 5.5 [KW] |
| Torque nominal | 8 [Nm] | 13 [Nm] | 7.5 [Nm] |
| Torque máximo | 25 [Nm] | 45 [Nm] | n.d. |
| Velocidad angular | 4000 rpm | 4000 rpm | 5730 rpm |
| Mantenimiento | Libre | Libre | Libre |
| Eficiencia | 90% | 91% | 90% |
| Disponibilidad | Inmediata | Inmediata | Inmediata |
| Peso | 7.6 [kg] | 11 [kg] | 12 [kg] |
| Cubierta | Aluminio | Aluminio | Aluminio |
| Enfriamiento | Aire | Aire | Aire |
| Diámetro | 180 [mm] | 206 [mm] | 223 [mm] |
| Longitud | 125 [mm] | 126 [mm] | 195.1 [mm] |
| Precio sin importación | \$288 | \$446 | \$559 |

Nota: Características técnicas de los motores eléctricos Brushless. (GoldenMotor, 2017), (MarsElectric, 2017), n.d. = datos no disponibles.



Figura 39. Motor tipo BLDC modelo HPM3000B. (GoldenMotor, 2017)



Figura 40. Motor tipo BLDC modelo HPM5000B. (GoldenMotor, 2017)



Figura 41. Motor tipo BLDC modelo Mars 0708. (MarsElectric, 2017)

Teniendo en cuenta la Tabla 12, el motor seleccionado es de la compañía Golden Motor, modelo HPM5000D de 5 [KW], es el más eficiente con un 91%, su potencia y torque están dentro de los resultados y parámetros mencionados anteriormente.

Cálculo de torque motor – piñón motriz.

Mediante este cálculo se conocerá el torque que se encuentra en el piñón motriz, para esto se partió por los datos de potencia y velocidad angular del motor eléctrico seleccionado HPM5000B, (Castillo, 2018) expresa como regla:

$$R = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{D}{d} = \frac{Z_2}{Z_1} \geq 1 \quad (8)$$

$$T_m = F \cdot \frac{d}{2} \quad (9)$$

$$T_{cond} = F \cdot \frac{D}{2} \quad (10)$$

$$T_{m1} = \frac{P}{\omega} \quad (11)$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f \quad (12)$$

$$f = \frac{\text{rpm}}{60} \quad (13)$$

$$T_{cond1} = T_{m1} \cdot \frac{Z_2}{Z_1} \quad (14)$$

Dónde:

- R = relación de transmisión.
- ω_1 = velocidad angular motor – piñón (4000rpm) Tabla 12.
- ω_2 = velocidad angular catalina conducida (rpm).
- D = diámetro de la catalina conducida (m).
- d = diámetro de la catalina conductora o piñón motriz (0.056m) *Figura 58*.
- Z2 = número de dientes de la catalina conducida (42) *Figura 59*.
- Z1 = número de dientes de la catalina conductora o piñón motriz (16) *Figura 58*.
- Tm = torque piñón motriz (Nm).
- Tcond = torque catalina conducida (Nm).
- F = fuerza piñón y catalina conducida (N).

- T_{m1} = torque piñón motriz formula general (Nm) (Johnston, Beer, Dewolf, 2007).
- T_{cond1} = torque catalina conducida por relación de transmisión (Nm).
- P = potencia motor eléctrico (5Kw=5000W) Tabla 12.
- ω = velocidad angular piñón o conducida (rpm).
- f = frecuencia (Hz).

$$f = \frac{4000 \text{ rpm}}{60} = 66.67 \text{ Hz (seg}^{-1}\text{)}$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot 66.67 \text{ [s]}$$

$$\omega = 418.88 \text{ [s]}$$

$$T_{m1} = \frac{5000 \text{ W} \left[\frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{s}} \right]}{418.88 \text{ [s]}}$$

$$\mathbf{T_{m1} = 11.94 \text{ [Nm]}}$$

Cálculo de fuerza piñón motriz – catalina conducida.

Despejando la fuerza de la fórmula:

$$T_m = F \cdot \frac{d}{2}$$

$$F = \frac{2 \cdot T_m}{d}$$

$$F = \frac{2 \cdot 11.94 \text{ (Nm)}}{0.056 \text{ (m)}} = \mathbf{426.43 \text{ [N]}}$$

Para ambas F_m - F_{cond} , la fuerza es la misma.

Cálculo de diámetro catalina conducida.

Para hallar el diámetro de la catalina conducida se debe de utilizar la fórmula de la relación de transmisión y despejar el diámetro:

$$\frac{D}{d} = \frac{Z2}{Z1}$$

$$D = \frac{Z2}{Z1} \cdot d = \frac{42}{16} \cdot 0.056 \text{ (m)}$$

$$\mathbf{D = 0.147 [m]}$$

Cálculo de velocidad angular catalina conducida.

Así mismo, para la velocidad angular se debe de utilizar la relación de transmisión y despejar la velocidad de la catalina conducida:

$$\frac{\omega1}{\omega2} = \frac{Z2}{Z1}$$

$$\omega2 = \frac{Z1}{Z2} \cdot \omega1 = \frac{16}{42} \cdot 4000 \text{ (rpm)}$$

$$\mathbf{\omega2 = 1523.81 \text{ rpm.}}$$

Cálculo de torque catalina conducida.

$$T_{cond1} = \frac{42}{16} \cdot 11.94 \text{ (Nm)}$$

$$\mathbf{T_{cond1} = 31.34 [Nm]}$$

Cálculo de potencia en catalina conducida.

$$P_{cond} = T_{cond} \cdot \omega2$$

$$P_{cond} = 31.34 \text{ Nm} \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{1523.81}{60} \text{ Hz (Seg}^{-1}\text{)} \right)$$

$$\mathbf{P_{cond} = 5001.02 \text{ W} = 5.0[\text{kW}]}$$

La potencia es en si la misma que en el piñón, la diferencia son las pérdidas.

Cálculo de fuerza neumático posterior.

Se lleva a cabo este cálculo de fuerza del neumático, para conocer si va vencer la fuerza requerida para mover la motocicleta del reposo que es de 64.23N.

Para ello, se hace una relación entre la catalina conducida y el neumático posterior, para el cual, la teoría de diseño de ejes de transmisión (Johnston, Beer, Dewolf, 2007), dice que el torque de la catalina conducida es igual al torque del neumático posterior, debido a que estas dos van acopladas, y de igual manera giran a la misma velocidad.

Con este concepto se va ser la relación de torque entre catalina conducida y neumático posterior.

$$T_{cond} = T_{neu} = 31.34N$$

$$F_{cond} \cdot \frac{D}{2} = F_{neu} \cdot \frac{d}{2} \quad (15)$$

$$F_{neu} = \frac{F_{cond} \cdot D}{d} \quad (16)$$

Donde:

- F_{cond} = fuerza catalina conducida (426.43N).
- F_{neu} = fuerza neumático posterior.
- D = diámetro de la catalina conducida (0.147m).
- d = diámetro del neumático posterior (15in = 0.381m).

$$F_{neu} = \frac{426.43N \cdot 0.147m}{0.381m}$$

$$\mathbf{F_{neu} = 164.53 [N]}$$

$$\frac{F_{neu}}{F_{requerida}} = \frac{164.53N}{64.23N} = 2.56$$

La fuerza del neumático es 2.56 veces más fuerte que la fuerza requerida, se puede concluir que si va ver movimiento de la motocicleta.

Parámetros de selección del sistema de control

El proceso de selección del controlador debe cumplir con los siguientes parámetros:

Compatibilidad con el motor.

El controlador debe ser compatible con el motor seleccionado Golden Motor HPM5000B, que es de tipo BLDC de corriente continua de [5 kW].

Lo más conveniente es seleccionar un controlador de la misma marca, el motor (*figura 42*), tiene tres cables de fase y un conector correspondiente al sensor Hall.

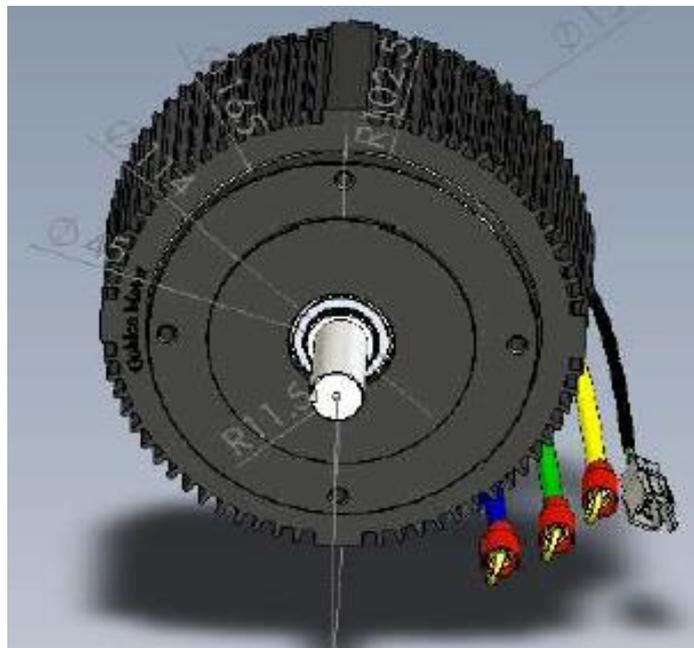


Figura 42. Motor HPM5000B – Cables de conexión. (Abatta & Moya, 2013, pág. 62)

Dimensiones.

El controlador se elegirá con el menor tamaño posible, debido a las dimensiones del chasis de la motocicleta.

Peso.

En general los sistemas de control son de peso ligero, por lo tanto, estos no afectan la autonomía y desempeño de la motocicleta.

Selección del controlador

De acuerdo al motor eléctrico seleccionado, se puede elegir los siguientes tipos de controladores:

Tabla 13

Información técnica de los controladores

| Marca | Golden Motor | Golden Motor | Golden Motor |
|--------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| Procedencia | China | China | China |
| Modelo | HPC500H | VEC300 | VEC500 |
| Tipo | 5[kW] BLDC Motor Controller | 5[kW] BLDC Motor Controller | 10[kW] BLDC Motor Controller |
| Voltaje | 48 [V] | 48 [V] | 48 [V] |
| Corriente nominal | 300 [A] | 120 [A] | 200 [A] |
| Corriente de fase máxima | 600 [A] | 300 [A] | 500 [A] |
| Eficiencia | 98% | 98% | 98% |
| Peso | 2.9 [kg] | 2.2 [kg] | 3.2 [kg] |
| Refrigeración | Aire | Aire | Aire |
| Ancho | 192 [mm] | 180 [mm] | 190 [mm] |
| Longitud | 208 [mm] | 190 [mm] | 200 [mm] |
| Altura | 77 [mm] | 50 [mm] | 58 [mm] |
| Precio sin importación | \$580 | \$452 | \$598 |

Nota: Características técnicas de los controladores PMW. (GoldenMotor, 2017)



Figura 43. Controlador modelo HPC500H. (GoldenMotor, 2017)



Figura 44. Controlador modelo VEC300. (GoldenMotor, 2017)



Figura 45. Controlador modelo VEC500. (GoldenMotor, 2017)

En base a la Tabla 13, el controlador seleccionado es el modelo VEC300, por su costo (USD 452), y también porque es compatible su Tipo, con la del motor BLDC de 5(kW).

Parámetros de selección de baterías

La selección de baterías establecerá el rendimiento y la autonomía del motor, los parámetros de selección de las baterías son las siguientes:

Tensión y corriente eléctrica.

Partiendo por la selección y datos del motor eléctrico y controlador, el banco de baterías en conjunto deberá proporcionar 48 Voltios, y 125 Ah.

En el mercado las baterías más usuales y comerciantes son las baterías de autos convencionales, tienen (12V) / (60Ah), es decir se deberá hacer una conexión de 4 baterías en serie, para que se incremente el voltaje a 48 [v], adicionalmente se añadió 2 baterías de plomo CAPSA (12V) / (110Ah), serán conectadas en serie y paralelo para aumentar la corriente y así poder llegar a los 125 [Ah], como se muestra en la *figura 46*.

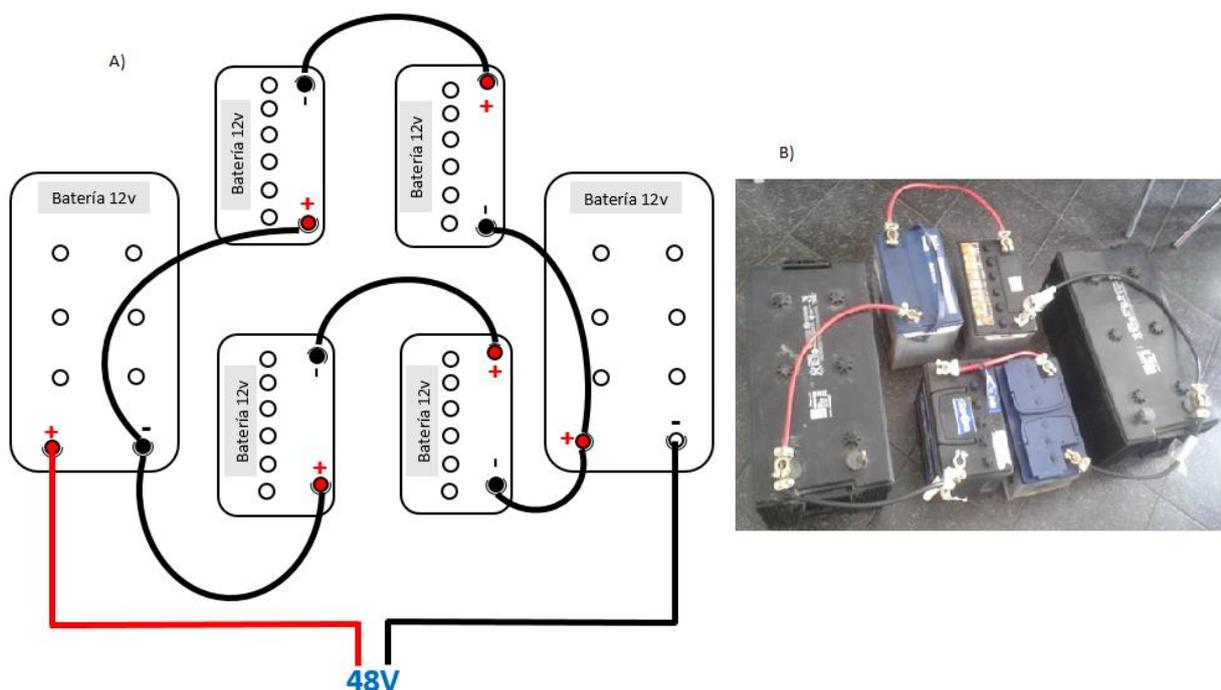


Figura 46. A) Esquema eléctrico de baterías – B) Conexión de baterías físico.

Selección de baterías

Para las pruebas en el dinamómetro, se utilizarán 6 baterías de Plomo, 4 baterías convencionales de marca: 3 BOSCH, 1 ELEKTRA (12V) / (60Ah), y 2 baterías adicionales marca CAPSA (12V) / (110Ah), ninguna de estas baterías son nuevas, por el alcance del proyecto las baterías no van hacer montadas en la motocicleta.

La Facultad de Arquitectura e Ingenierías de la Universidad Internacional SEK, facilitó el uso de dos baterías Plomo CAPSA (12V) / (110Ah), el resto de baterías fueron prestadas por el Taller Mecánico de Quito, Ceus Taller.

Diseño mecánico

El diseño mecánico corresponde a la creación de nuevas bases, que permitan la unión y soporte de los nuevos componentes, que son parte importante para la conversión a motocicleta eléctrica, comprende: el diseño del soporte del motor y diseño del soporte del controlador.

Diseño del soporte del motor eléctrico.

El Motor eléctrico Brushless tiene las siguientes características físicas y geométricas, de donde partirá el diseño para el soporte del motor.

Características:

- Motor Seleccionado: Golden Motor HPM5000B (*figura 40*).
- Peso: 11 [Kg].
- Longitud: 126 (mm).
- Diámetro: 206 (mm).

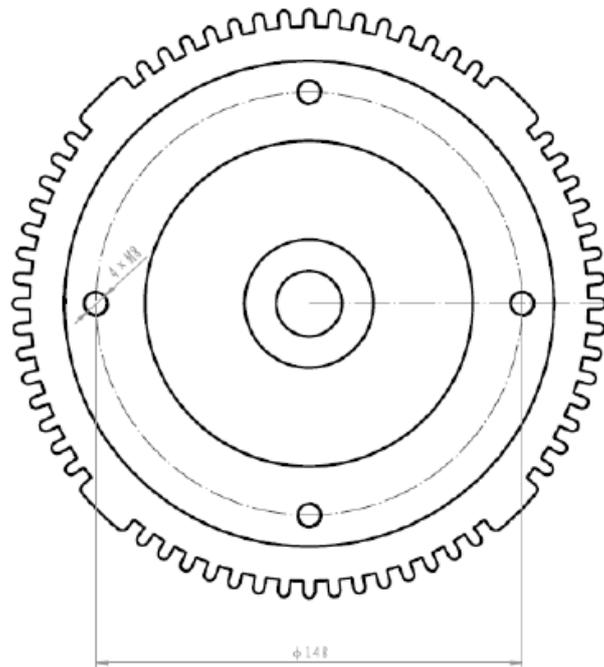


Figura 47. Especificación geométrica del fabricante Golden Motor. (GoldenMotor, 2017)

Criterios de diseño del soporte del motor.

- Deberá acoplarse a la geometría del chasis.
- Soportar el peso del motor.
- Resistir el torque máximo de 45 [Nm].

Diseño geométrico.

Los soportes del nuevo motor deberá encajar con la geometría del chasis, el primer soporte se encuentra a la vista donde van la cadena y catalinas (*figura 48*).



Figura 48. Los puntos que marcan 1, muestran las ubicaciones donde va estar acoplado el soporte delantero del motor.

El segundo soporte se encuentra al lado inverso del primero, ambos soportes deberán acoplarse al chasis (*figura 49*).

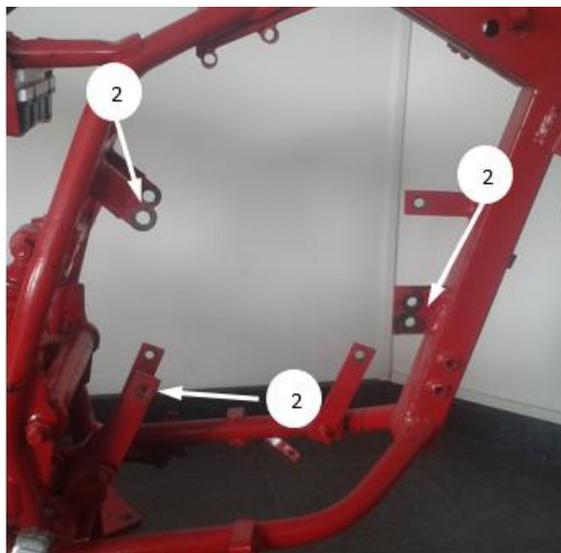


Figura 49. Los puntos que marcan 2, muestran las ubicaciones donde va estar acoplado el soporte posterior del motor.

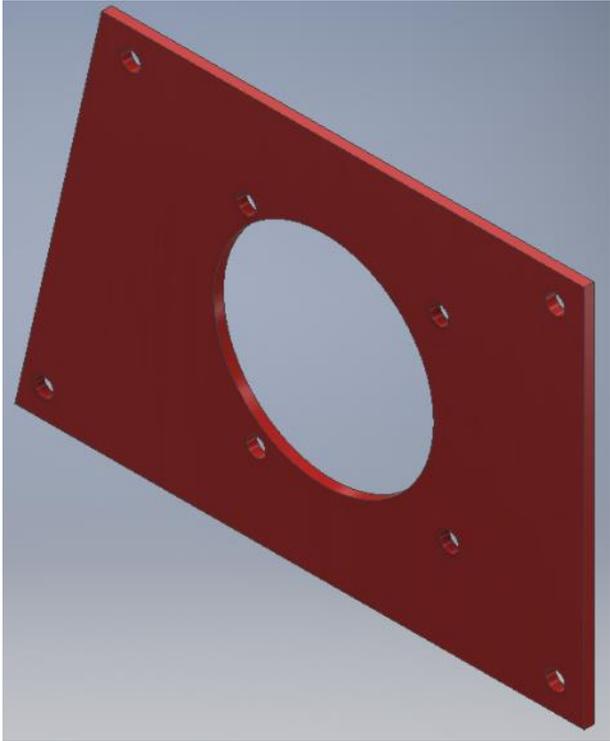


Figura 50. Diseño geométrico soporte delantero del motor – Inventor.



Figura 51. Diseño geométrico soporte posterior del motor – Inventor.

Diseño - Resistencia Mecánica.

Cargas aplicadas

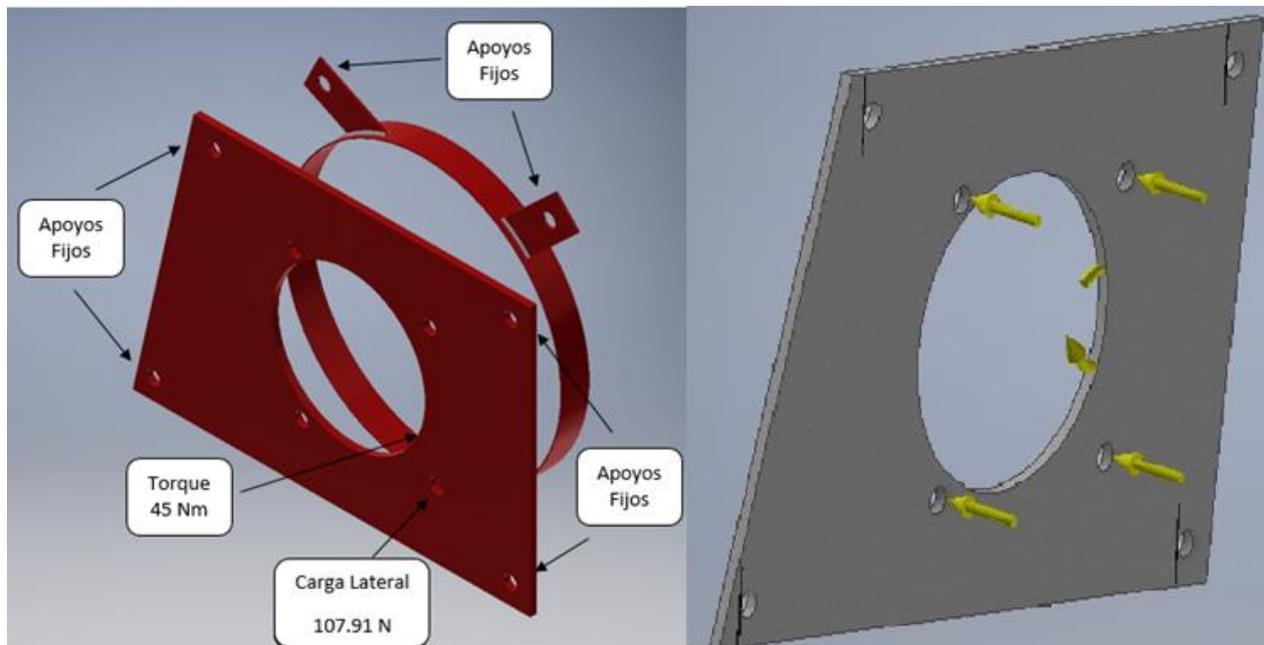
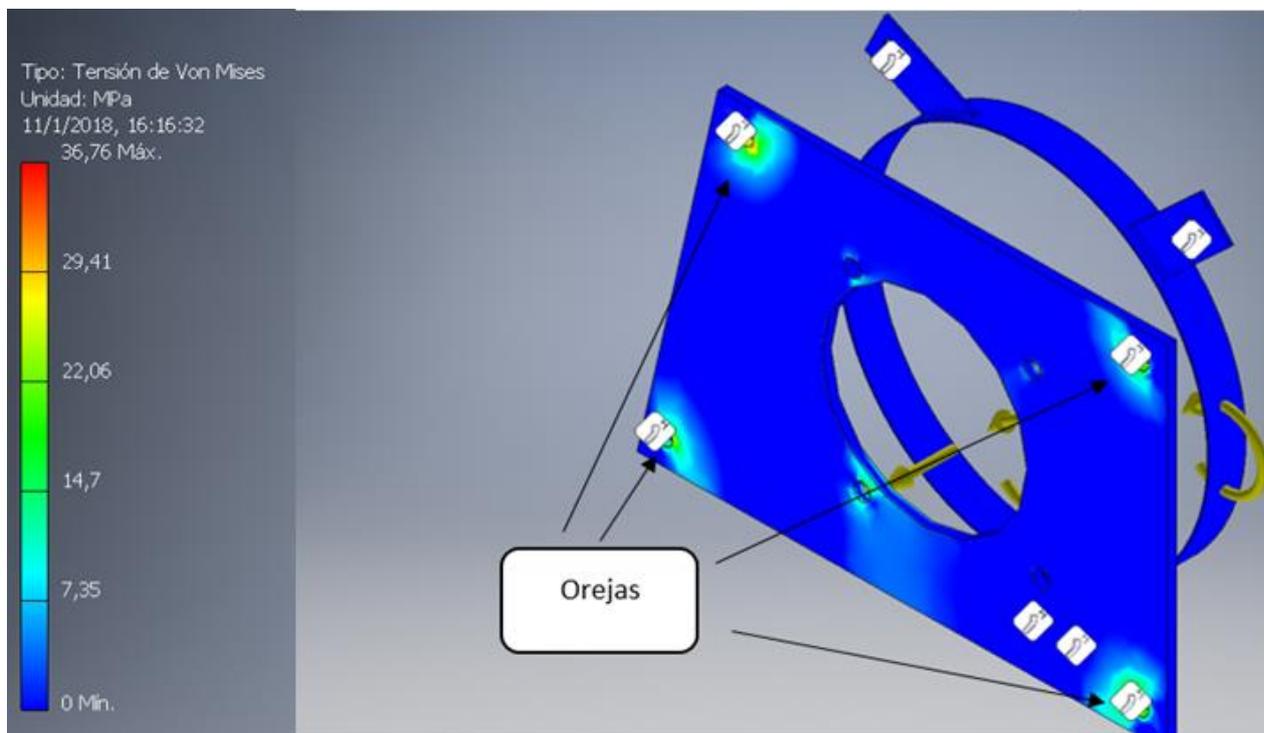
*Figura 52. Aplicación de cargas en Inventor.*

Figura 53. Análisis Von Mises.

El análisis Von Mises determina que los esfuerzos más grandes se ubican cerca de las orejas de la placa, con un valor máximo de 20.5 [Mpa], y con un límite elástico de 36.76 [Mpa], (*figura 53*).

$$F_s = \frac{S_y}{\sigma_{\max}} \quad (17)$$

Donde:

F_s = Factor de seguridad

S_y = Límite de elasticidad

σ_{\max} = Esfuerzo máximo

$$F_s = \frac{36.76 \text{ Mpa}}{20.5 \text{ Mpa}} = 1.8$$

Material Seleccionado.

Plancha ASTM A36, 8mm de espesor. En la Tabla 14, se puede apreciar las propiedades del acero ASTM. Se seleccionó este acero debido a sus características de resistencia, que permiten sostener todo el peso del motor, y también por su facilidad de adquisición.

Tabla 14

Propiedades del acero ASTM

| Propiedades del Material | Referencias del acero |
|---------------------------|---------------------------|
| Nombre | ASTM A36 Acero |
| Tipo de Modelo | Isométrico elástico |
| Límite Elástico | 250 [MPa] |
| Resistencia a la Tracción | 400 [MPa] |
| Modulo Elástico | 200 [GPa] |
| Densidad | 7.85 [g/cm ³] |

Módulo de cortante 79.300 [Mpa]

Nota: Este acero es de plancha de 8mm y platina 19×3 mm para el uso de los soportes del motor y controlador respectivamente. (Hernández & Espejo, 2002, pág. 281)

Diseño del soporte del controlador.

El controlador tiene las siguientes características físicas y geométricas, de donde se partirá el diseño.

Características:

- Controlador seleccionado: VEC300 (*figura 44*).
- Peso: 2.2 [Kg]
- Longitud: 190 [mm]
- Ancho: 180 [mm]
- Altura: 50 [mm]

Criterios de diseño.

- La base debe soportar 21.582 [N], de carga por controlador y sus cables.
- La base debe proteger la integridad del controlador.

Diseño Geométrico.

El controlador debe ubicarse en un lugar estratégico (*figura 54*), de tal manera que se pueda proteger su integridad, y por ultimo contar con un espacio suficiente para poder disipar el calor.

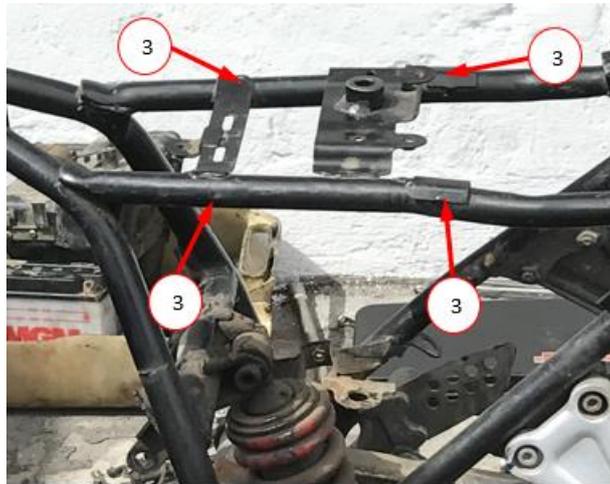


Figura 54. Los puntos que marcan 3, muestran las ubicaciones donde va estar acoplado el soporte del controlador.

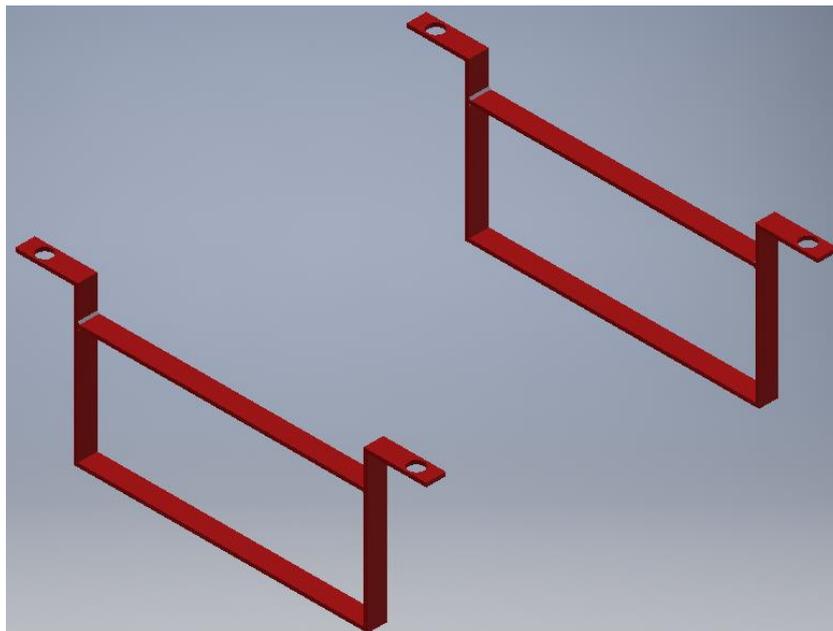


Figura 55. Diseño geométrico soportes del controlador – Inventor.

Diseño - Resistencia Mecánica.

Cargas aplicadas

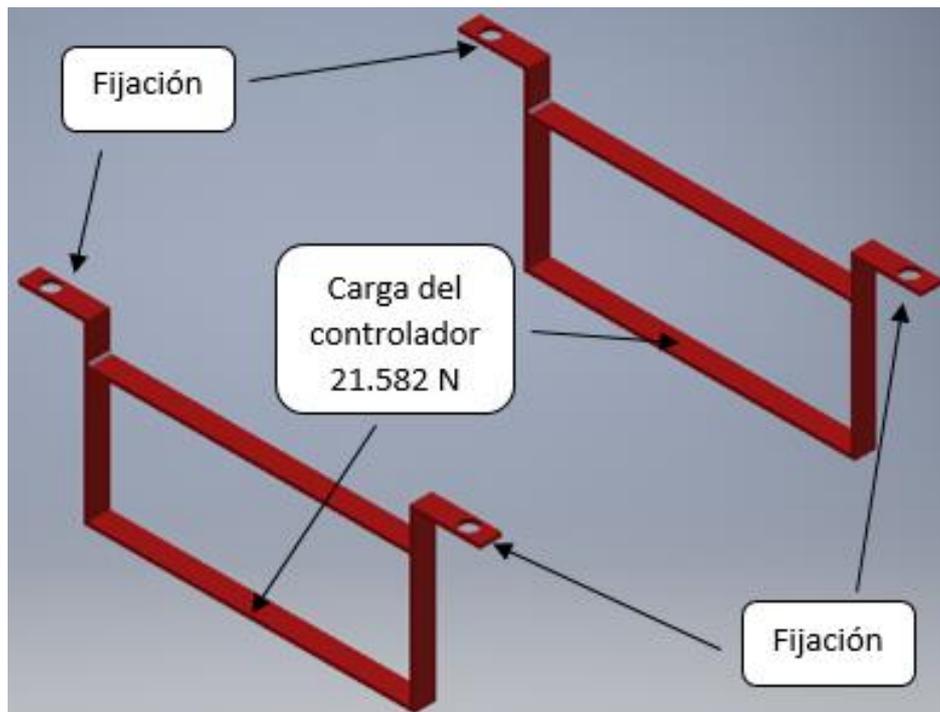


Figura 56. Aplicación de carga en Inventor.

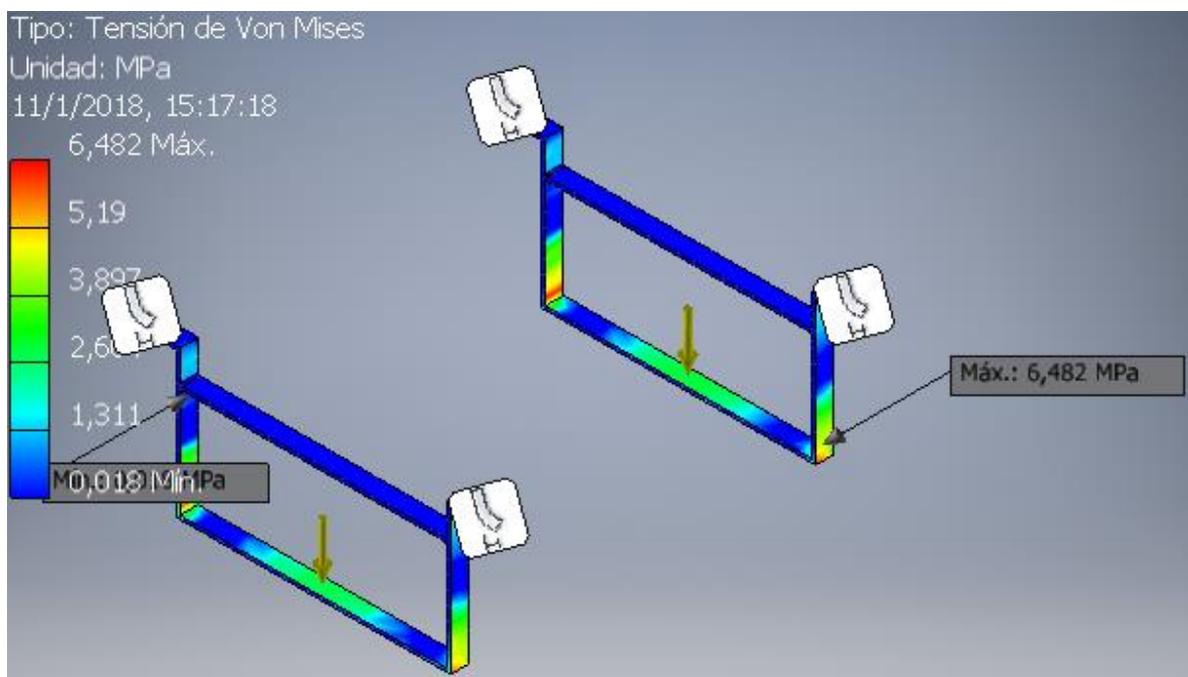


Figura 57. Análisis de Von Mises.

El diseño del soporte del controlador, es basado en el modelo de rigidez, donde se interesa encontrar las deformaciones debido al peso del controlador. El análisis Von Mises

determina que los esfuerzos más grandes se ubican en las platinas (*figura 57*), donde se apoya el controlador, teniendo un valor máximo de 3.7 Mpa.

$$F_s = \frac{6.482}{3.7} = 1.8$$

Material Seleccionado.

Platina ASTM A36 de 19mm x 3mm. (Tabla 14)

Selección de cadena y catalinas

Selección de cadena

Se emplea la cadena D.I.D. 428 (Tabla 16), corresponde a la especificación de cadena número 40, según la norma ANSI CHAINS (Anexo 1 – Anexo 2).

“La capacidad de transmisión de la cadena implica analizar si existen transmisiones de carga frecuente o severa, donde se debe aplicar el factor adecuado según el tipo de motor.” (Abatta & Moya, 2013, pág. 87)

Tabla 15

Factor de servicio

| Tipo de Impacto | Máquinas | Motor eléctrico o turbina | Motor de Combustión Interna (Con Hydraulic Drive) | Motor de Combustión Interna (Sin Hydraulic Drive) |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Alise | Transportadores de cinta con pequeñas fluctuaciones de carga, sopladores centrífugos, maquinas textiles ordinarias. | 1.0 | 1.0 | 1.2 |
| Algún impacto | Los compresores centrífugos, motores marinos, transportadores con algunas fluctuaciones de carga, hornos automáticos, | 1.3 | 1.2 | 1.4 |

| | | | | |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|
| | secadoras, pulverizadores, máquinas herramientas en general, compresores, máquinas de trabajo generales. | | | |
| Alto impacto | Press, la construcción o la minería, máquinas de vibración, plataformas de petróleo, y mezcladores de goma. | 1.5 | 1.4 | 1.7 |

Nota: Tabla de valores de los diferentes tipos de motores para el factor de servicio. (Abatta & Moya, 2013, pág. 87)

$K_s = 1.3$ factor de servicio (Tabla 15).

Tensión máxima de la cadena:

$$\text{Tensión} = \frac{\text{Torque} \cdot K_s}{r} \quad (18)$$

Donde:

$T =$ Torque máximo del motor 45 [Nm].

$K_s =$ Factor de Servicio.

$r =$ Radio de la catalina conductora en metros ($\phi=0.056\text{m} / r=0.028\text{m}$) (Figura 58).

$$\text{Tensión} = \frac{45 \text{ [Nm]} \times 1.3}{0.028\text{m}} = 2089.286 \text{ N}$$

Tensión de la cadena 2089.286 [N]

$$\text{Tensión cadena} = \frac{2089.286 \text{ N}}{9.81 \text{ N/kg}}$$

$$\text{Tensión cadena} = 212.97[\text{kg}]$$

Siendo 212.97 [kg] o 469.52 [lb] la tensión de la cadena.

La cadena más utilizada en motocicletas es la ANSI No.40, por llevar una geometría adecuada, además de cumplir con los requerimientos mecánicos para la motocicleta eléctrica. (Anexo 2)

Con la cual se alcanzaría un factor de seguridad de:

$$F_s = \frac{\text{Carga de trabajo ANSI No.40}}{\text{Tensión de la cadena}} \quad (19)$$

$$F_s = \frac{810 \text{ lb.}}{469.52 \text{ lb.}} = 1.73$$

La marca de mayor comercialización de cadenas en Ecuador es KANA (Anexo 3), información tomada de (Abatta & Moya, 2013, pág. 89), además esta marca, cumple los requerimientos según la norma ANSI STANDARD CHAIN.

Selección de la catalina

Con el número de cadena de la transmisión del motor a gasolina ANSI No.40, se utilizó las mismas catalinas (conductora-conducida) que vino con la motocicleta, siendo:

Catalina conductora o piñón motriz: 16 dientes.

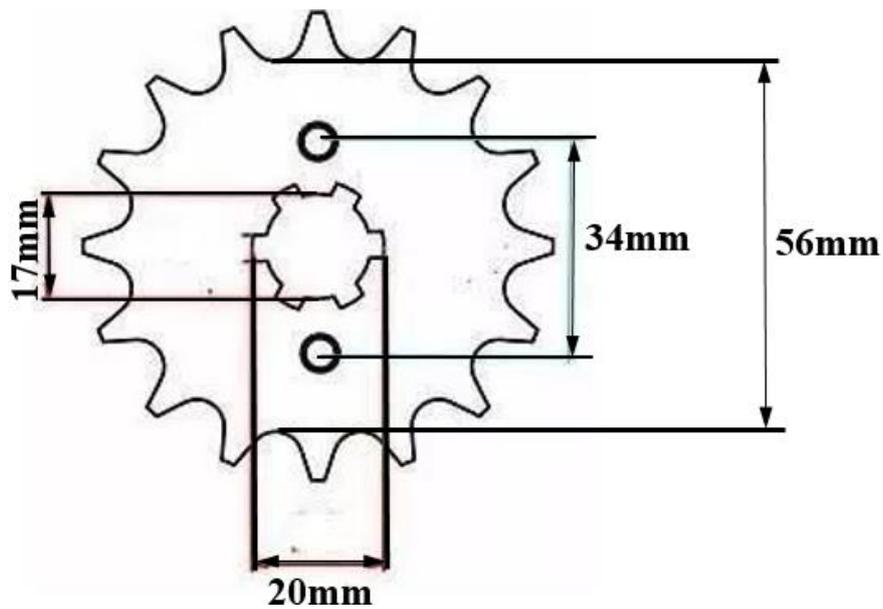


Figura 58. Diámetros iniciales - Catalina conductora 16 dientes.

Catalina conducida: 42 dientes.

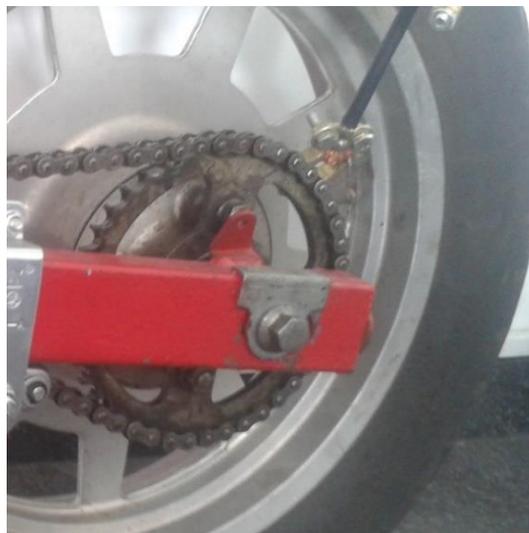


Figura 59. Catalina conducida 42 dientes.

Construcción del prototipo

Se adquirió una motocicleta de marca Tundra modelo GXR200, año de fabricación 2012, a continuación, se puede apreciar detalladamente la ficha técnica de la motocicleta (Tabla 16).

Tabla 16

Ficha técnica, motocicleta Tundra GXR200

| | |
|------------------------------------|-------------------------------------|
| Marca | Tundra |
| Modelo | GXR200 |
| Velocidad máxima | 110Km/h |
| Dimensiones (largo x ancho x alto) | 2090x830x1125 (mm) |
| Distancia entre ejes | 1320mm |
| Ángulo giro manubrio | 45° |
| Batería | 12V |
| Peso en seco | 110kg |
| Capacidad carga máx. | 180kg |
| Cadena de transmisión | Cadena D.I.D. 428, 112 eslabones |

Nota: Características de la motocicleta usada para el cambio a eléctrico. (Guerrero, 2012, pág. 21)

Condición inicial.

La motocicleta se encuentra en buenas condiciones de funcionamiento, y cuenta con todos sus accesorios originales de fábrica, como se muestra en la *figura 60*.



Figura 60. Prototipo de motocicleta Tundra GRX200.

Desmontaje final.



Figura 61. Desmontaje total de la motocicleta Tundra.

Construcción de soporte motor.

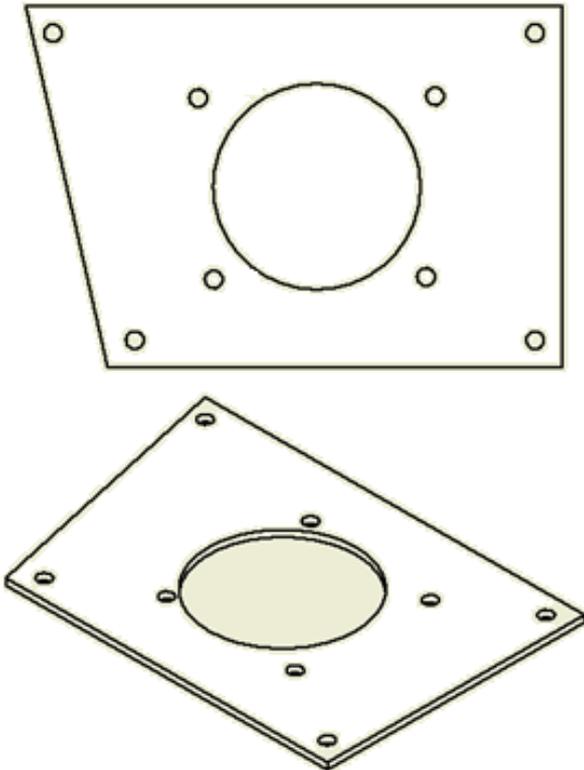


Figura 62. Soporte del Motor delantero.

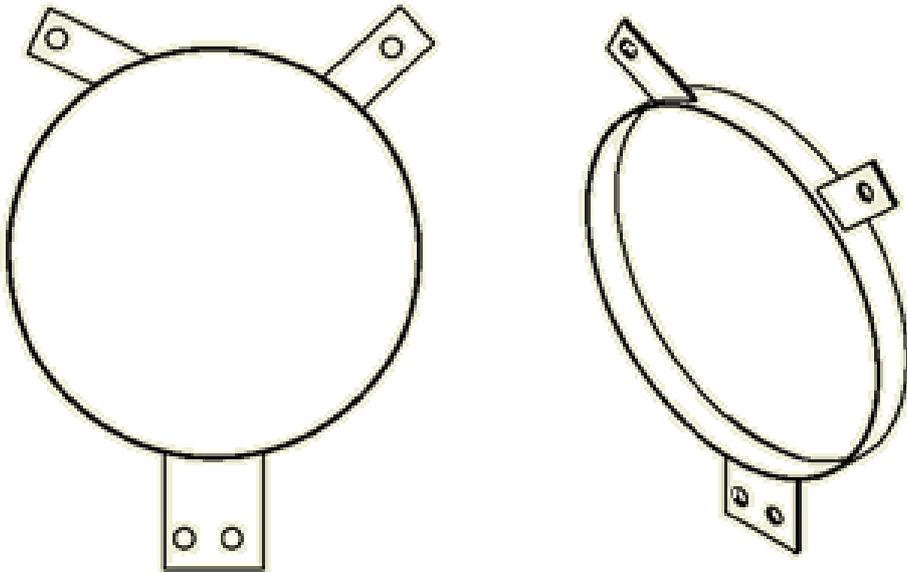


Figura 63. Soporte del Motor posterior.

De acuerdo al diseño:

Material: ASTM A36 (Tabla 14)

Espesor: 8mm

Torneado:

Cuchilla: Acero rápido.

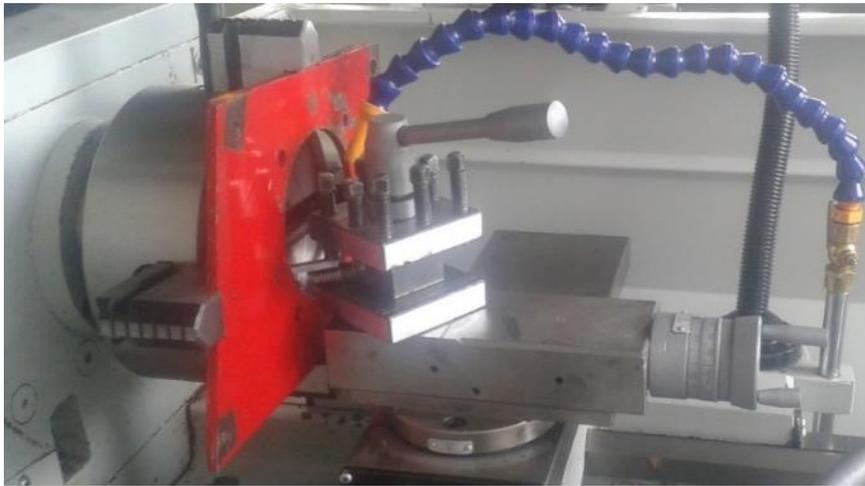


Figura 64. Torneado de placa – Soporte del motor delantero.

Perforación:

Broca de acero rápido: diámetro de corte de broca 13mm.

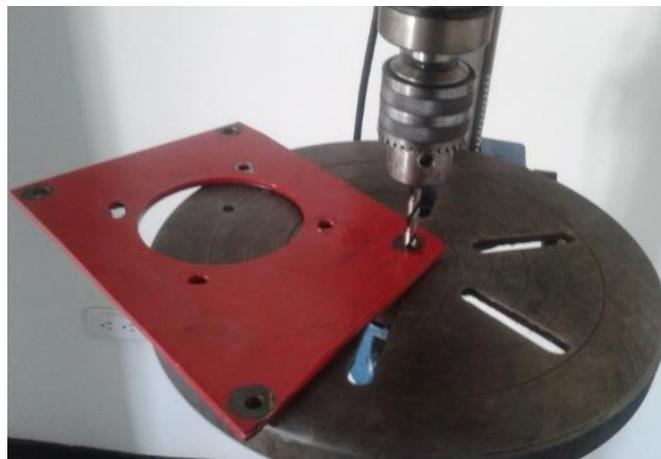


Figura 65. Perforación de esquinas placa del motor – soportes en el chasis.

Las perforaciones (*figura 65*), son para pernos m8, acoplándose al chasis y al motor eléctrico.

Construcción del soporte del controlador.

Soporte del controlador:

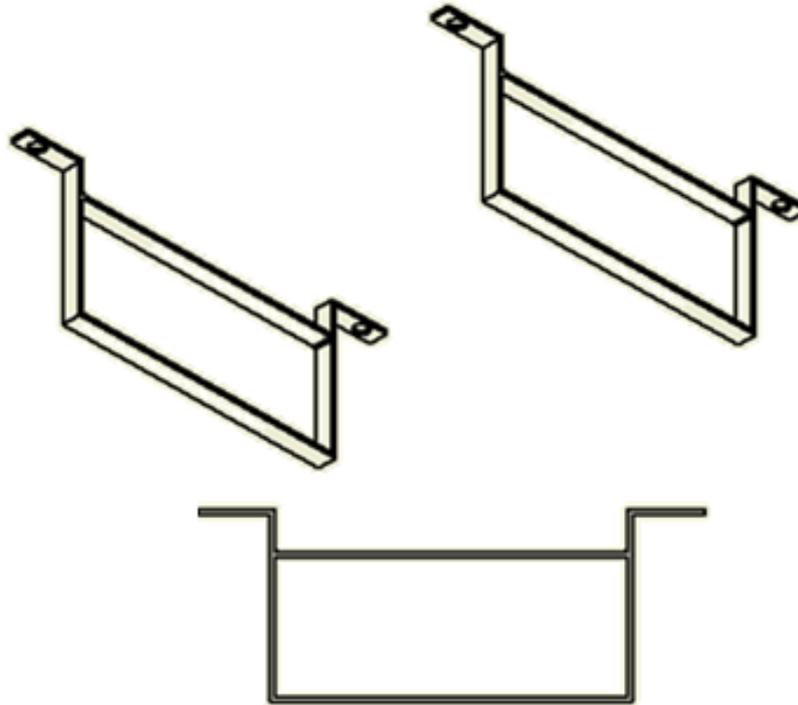


Figura 66. Soportes del controlador.

De acuerdo al diseño:

Platina acero ASTM de 19mm x 3mm (Tabla 14).

Adaptación y maquinado de catalinas.

La catalina seleccionada es del motor original a gasolina, con 16 dientes. Debe ser maquinada, de tal manera que coincidan con la geometría del eje del motor eléctrico.

Catalina conductora maquinado en torno:

Cuchilla: Acero rápido.

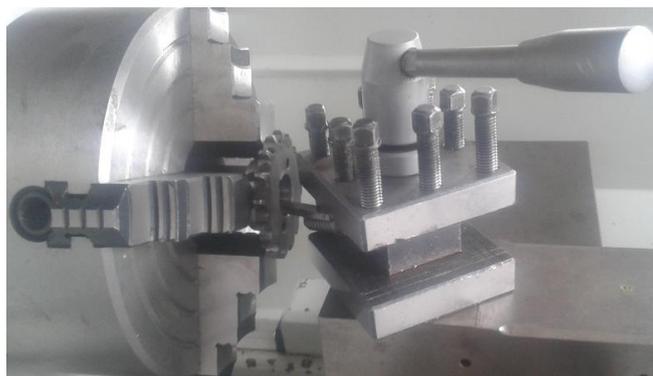


Figura 67. Maquinado de catalina conductora.



Figura 68. Adaptación de la catalina conductora.

La catalina conductora, tiene una chaveta de 5 x 3 mm (*figura 68*).

Prototipo finalizado.

Elementos montados en la motocicleta eléctrica:

- Motor eléctrico HPM-5000.
- Controlador VEC300.
- Acelerador electrónico (*figura 70*).
- Asiento.



Figura 69. Prototipo listo para realizar pruebas.



Figura 70. Acelerador electrónico marca ElectroBike. (ElectroBike, 2017)

Experimento 1, funcionamiento del motor eléctrico.

Para realizar el experimento de funcionamiento del motor (*figura 88*), se utilizaron los siguientes elementos:

- 4 Baterías Plomo 12V, conectadas en serie (*figura 71 - figura 72*).
- Cable AWG No.6 (Anexo 4).

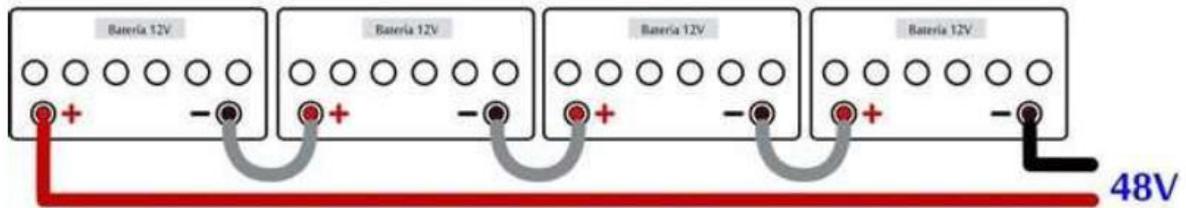


Figura 71. Esquema eléctrico de cuatro baterías en serie.



Figura 72. Conexión de cuatro baterías físico.

Experimento 2, potencia del motor.

Para realizar el experimento de potencia, se utilizó el dinamómetro de la Facultad de Arquitectura e Ingenierías de la Universidad Internacional SEK (figura 89), los elementos utilizados para este experimento son:

- Cable AWG No.6 (Anexo 4).
- 2 baterías (12V/110Ah) adicionales, con un total de 6 baterías. (figura 73).
- Multímetro Digital marca FLUKE serie 115 (figura 74).

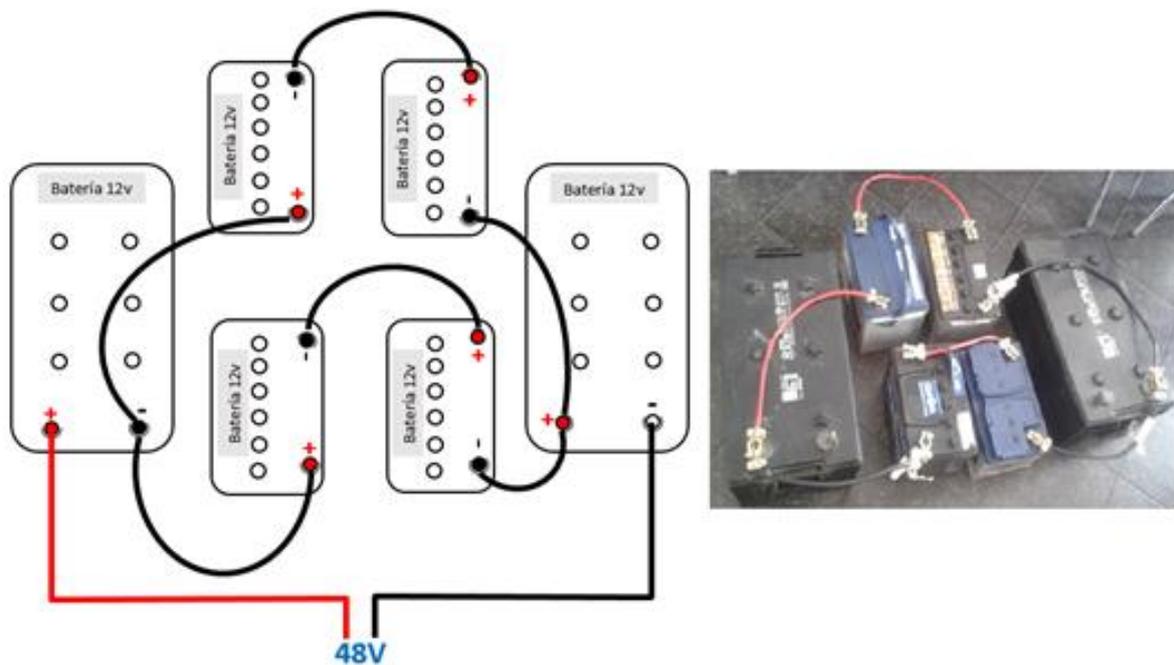


Figura 73. Conexión de 6 baterías serie y paralelo, para el experimento de potencia.



Figura 74. Multímetro Digital marca FLUKE serie 115. (FlukeCorporation, 2017)

Experimento 3, prueba final en el dinamómetro.

Para realizar la prueba final de la motocicleta eléctrica (*figura 90*), se utilizó el dinamómetro Dynamite (*figura 78*), del Taller Mecánico Dinamyca Competición, con sus respectivos elementos, que son:



Figura 77. Tensor de cadena de motocicleta serie MOD-1156104296.

Tabla 17

Especificaciones técnicas del Dinamómetro empleado

| Marca | Dynomite |
|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| Modelo | 3000-Lite 2WD IO Chassis Dyno |
| Software | DYNO-MAX software |
| Diámetro del rodillo | 30in. [76.2cm] |
| Requisitos de voltaje | 120 voltios, 60 Hz AC |
| Capacidad HP | 10 a 1,350 Hp |
| Velocímetro Dyno (distancia) | 0.0 - 255.0 MPH [0.0 - 410.0 km/h] |
| Rango de velocidad segura (deformación del neumático limitada) | 10 - 137 MPH (186sr /1.5 ^{0.5} in deformación) [16 - 220 km/h] |
| Ancho de pista (máx. / min) del rodillo | 96in. [244 cm] máximo, 21in. [53 cm] mínimo |
| Capacidad de peso del eje | 10,000 libras [4,526 kg] (por eje) |

| | |
|---------------------------------------------|-------------------------|
| Ancho | 112in. [284 cm] |
| Longitud | 38in. [97 cm] |
| Alto (en la plataforma de rollo / rampa) | 30in. [76 cm] |
| Altura (general) | 32½in. [83 cm] |
| Peso | 4,800 libras [2,177 kg] |

Nota: Características del dinamómetro usado en el experimento 3. (Dynomite, 2017)

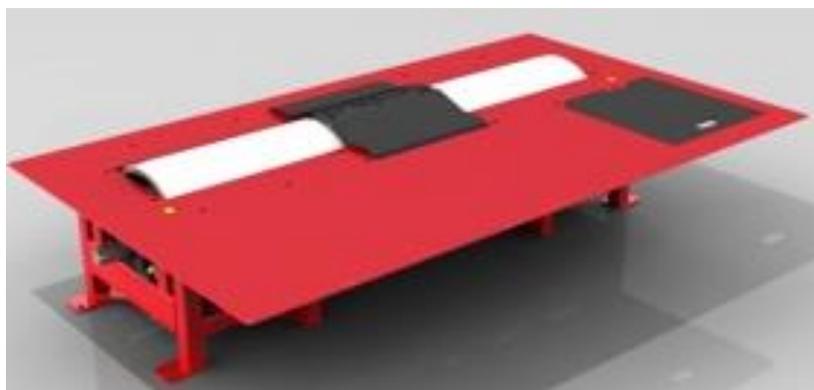


Figura 78. Dinamómetro modelo 3000-Lite. (Dynomite, 2017)

Análisis económico

Tabla 18

Desglose de materiales para la conversión

| Cantidad | Ítem | Características | Costo Total (USD) |
|----------|-----------------------------------|---------------------------------------------|-------------------|
| 1 | Motocicleta Tundra GXR200 | 200cc, Año de fabricación 2012 | 130.00 |
| 1 | Motor Brushless, vía PayPal | 5[kW], 48V, 125A | 536.00 |
| 1 | Controlador VEC300, vía PayPal | 5[kW], 48V, 120[A], 2.2kg | 502.00 |
| 1 | Empresa de envío TNT | Precio de envío y aduanas China- Ecuador | 332.79 |
| 1 | Tapizado | Asiento moto | 15.00 |

| | | | |
|----|---------------------------|----------------------------------------------------|----------------|
| 1 | Acelerador | Puño electrónico | 25.00 |
| 1 | Cable de batería | AWG No.6 (8 metros) | 21.20 |
| 18 | Terminal/Borne | Batería | 28.06 |
| 2 | Terminal de compresión | Cable | 5.14 |
| 1 | Canaleta de superficie | Cable (2m) | 3.73 |
| 2 | Soportes de motor | Acero ASTM A36 | 35.00 |
| 1 | Soporte controlador | Acero ATMS A36 | 15.00 |
| 1 | Catalina conductora | Maquinado torno | 25.00 |
| 1 | Tensor | Cadena MOD-1156104296 | 25.00 |
| 1 | Pintura | Roja | 50.00 |
| 1 | Pinza amperimétrica | Alquiler | 80.00 |
| 2 | Movilización | Transporte de moto y baterías | 45.00 |
| 1 | Prueba en dinamómetro | Dynomite, capacidad 10 a 1350 Hp, diámetro 30in | 30.00 |
| | | TOTAL (USD) | 1903.92 |

Nota: Tabla de costos de materiales para el cambio de combustión a eléctrico.

Resultados

Ubicación y comprobación de los soportes del motor al chasis.

La ubicación de ambos soportes del motor eléctrico, van acoplados a los pasadores del chasis de la moto, como se observa en la *Figura 79 - Figura 80*, anteriormente se encontraba el motor de combustión y la caja de cambios.



Figura 79. Ubicación del soporte delantero del motor eléctrico.



Figura 80. Ubicación del soporte posterior del motor eléctrico.



Figura 81. Comprobación geométrica del motor eléctrico – Soporte delantero.



Figura 82. Comprobación geométrica del motor eléctrico – Soporte posterior.

Ubicación y comprobación del soporte del controlador al chasis.

La ubicación del soporte del controlador se halla por debajo del asiento, como se ilustra en la *Figura 83*, deberá tener libre acceso para conectar los cables de arnés del motor, accesorios y baterías.



Figura 83. Ubicación del soporte del controlador.



Figura 84. Comprobación geométrica del controlador.

Diámetro de la catalina conductora.

En la *Figura 85*, se representa el diámetro del eje del motor, que es 22,2mm, esa medida se la tomo para el diámetro de la catalina conductora inicialmente. La chaveta que se añadió es de 5mm, así el nuevo diámetro de la catalina será de 25,2mm, como se observa en la *Figura 86*.

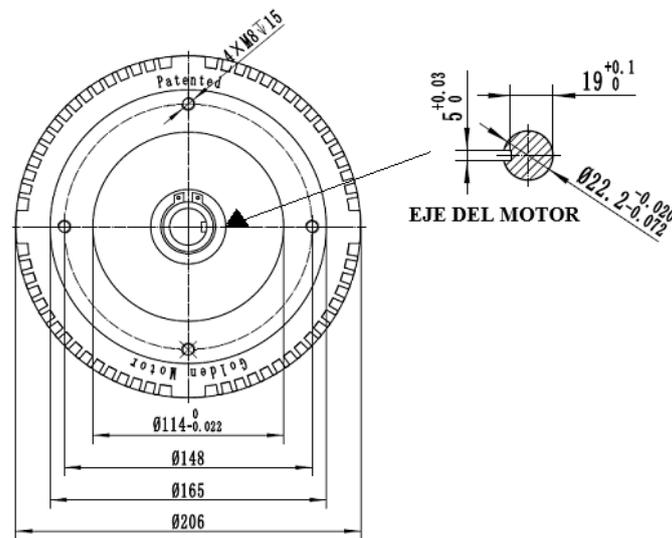


Figura 85. Medidas del motor y del eje. (GoldenMotor, 2017)

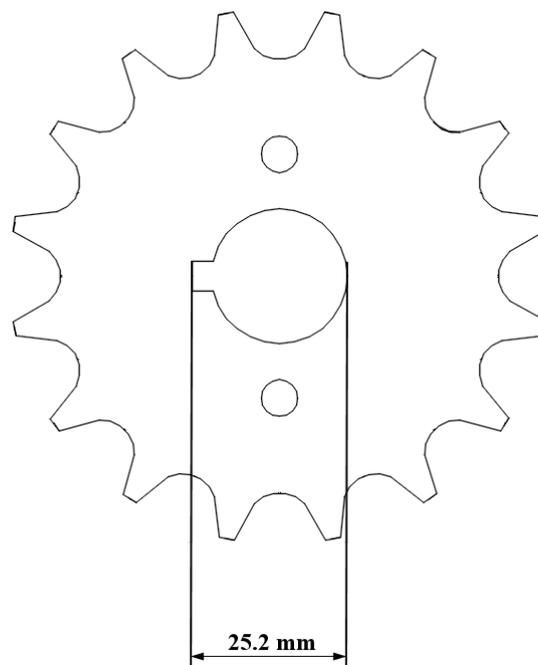


Figura 86. Diámetro alojamiento del eje final - Catalina conductora 16 dientes.

Motocicleta eléctrica terminada.

Después de comprobar que la geometría del motor y controlador coincidieran con los soportes, se acopló la catalina conductora al eje del motor, y para terminar se colocó la cadena pasando por las dos catalinas (conductora y conducida), así se finalizó el diseño del prototipo, como se observa en la *Figura 87*.



Figura 87. Prototipo finalizado.

Resultados experimento 1.

Prueba de funcionamiento del motor eléctrico.

La *Figura 88*, muestra la primera vez que se realizó la prueba de funcionamiento del motor eléctrico montado en la motocicleta, para esta prueba se utilizó un conjunto de baterías, para suministrar corriente al controlador, por lo cual la *Figura 72* representa las conexiones de cuatro baterías de 12 [V] en serie, el voltaje se suma en serie, así se podrá proporcionar 48 [V] correspondientes para su funcionamiento, para realizar las conexiones de las baterías se utilizó el cable AWG No.6 (Anexo 4).



Figura 88. Primeras pruebas realizadas en la motocicleta.

Resultados experimento 2.

Prueba de comprobación de fuerza.

Se llevó a cabo la prueba de fuerza como se visualiza en la *Figura 89*, para ello se utilizó el dinamómetro de la Universidad Internacional SEK de la Facultad de Arquitectura e Ingenierías, para verificar si la rueda posterior tenía la suficiente fuerza para girar el rodillo, es indispensable realizar esta comprobación antes de llevar la motocicleta al taller donde se van a realizar las pruebas de torque y potencia, la *Figura 73* ilustra la conexión serie y paralelo de las 6 baterías, se trabajó con 4 baterías de 12[V]/60[Ah], y 2 baterías 12[V]/110[Ah] con el fin de aumentar corriente, anteriormente se realizó la carga respectiva a todas las baterías, de igual manera se utilizó un multímetro digital para medir el voltaje de trabajo, obteniéndose voltajes inestables, se empezó con 48V y termino con 42V.



Figura 89. Prueba de fuerza en dinamómetro.

Resultados experimento 3.

Prueba final de torque, potencia, y velocidad en el dinamómetro.

Se realizó la prueba final en el Taller Mecánico Dinamyca Competición, para hallar el Torque, Potencia y Velocidad de la motocicleta eléctrica, para esto se utilizó el dinamómetro de marca Dynamite, con sus especificaciones señaladas en la Tabla 17, antes de efectuar dichas pruebas, se tuvo que preparar el campo de trabajo, sujetando la moto con cuerdas, que tenían ganchos en los extremos, para posteriormente anclar al piso, con la finalidad de sujetar la motocicleta uniformemente, sin que se pueda mover, y asentado la llanta posterior al rodillo del dinamómetro, como se observa en la *Figura 90*, para realizar estas pruebas, se consideró corregir un aspecto negativo del anterior experimento 2, lo cual es añadir un tensor de cadena de motocicleta, como se muestra en la *Figura 77*, con el objetivo de templar mejor la cadena, así esta no se pueda saltar los dientes de la catalina conductora, y no perder esa velocidad y potencia, además se utilizaron varios elementos como, un banco de baterías, las mismas con las que se realizó anteriormente la prueba de comprobación de potencia, en la *Figura 75* se observa la conexión de las 6 baterías, para su unión se utilizó cable AWG No. 6, con sus respectivas propiedades proporcionadas en el Anexo 4, este cable se empleó para las conexiones de baterías en serie, y baterías-controlador, además se contó con un multímetro

digital ilustrada en la *Figura 74*, que se utilizó para verificar el voltaje de las baterías, otra herramienta que se uso es la pinza amperimétrica, que se la aprecia en la *Figura 76*, que sirve para medir los amperios que pasan por el cable de salida de las baterías hacia el controlador.



Figura 90. Prueba Final de la Motocicleta eléctrica en el dinamómetro.

Mediciones de voltaje y amperaje tomadas en la prueba final.

Al momento de la realización de las pruebas, se tomaron fotografías de las mediciones de voltaje y amperaje, utilizando multímetro y pinza amperimétrica, las mediciones que se obtuvieron (*figura 91 – figura 92*), de la motocicleta eléctrica en el dinamómetro fueron:



Figura 91. Mediciones de la primera prueba.

Tabla 19

Medición primera prueba

| Mediciones | Voltaje (V) | Amperaje (A) |
|------------|-------------|--------------|
| 1 | 48.77 | 10.7 |
| 2 | 45.13 | 4.4 |
| 3 | 43.39 | 8.0 |

Nota: Tabla de los valores tomados en la primera prueba.



Figura 92. Mediciones de la segunda prueba.

Tabla 20

Medición segunda prueba

| Mediciones | Voltaje (V) | Amperaje (A) |
|------------|-------------|--------------|
| 1 | 43.55 | 10.8 |
| 2 | 41.21 | 9.6 |
| 3 | 44.22 | 8.7 |

Nota: Tabla de los valores tomados en la segunda prueba.

Diagramas de resultados de torque y potencia vs. RPM.

Los diagramas de Torque y Potencia vs. RPM, se observan en la *Figura 93 – Figura 94*, son de las dos pruebas realizadas respectivamente, para la primera prueba, se arrancó con un torque de 0 [Nm] (reposo sin acelerar), llegando a un torque de 7.2 [Nm], declinándose

hasta llegar a su Torque pico de 3.224 [Nm], por otro lado la potencia arranque de 0 (repose sin acelerar), llegando a la potencia pico 1.030 [HP] (768.07 [W]) a 1600 RPM (30,14 Km/h) de velocidad máxima. La segunda prueba se comenzó con un torque de 0 [Nm], llegando a un torque de 9.575 [Nm], declinándose hasta llegar a su torque pico de 6.619 [Nm], la potencia se inició de 0, llegando a la potencia pico 1.785 [HP] (1329.58 [W]) a 1350 RPM (25,43 km/h) de velocidad máxima.

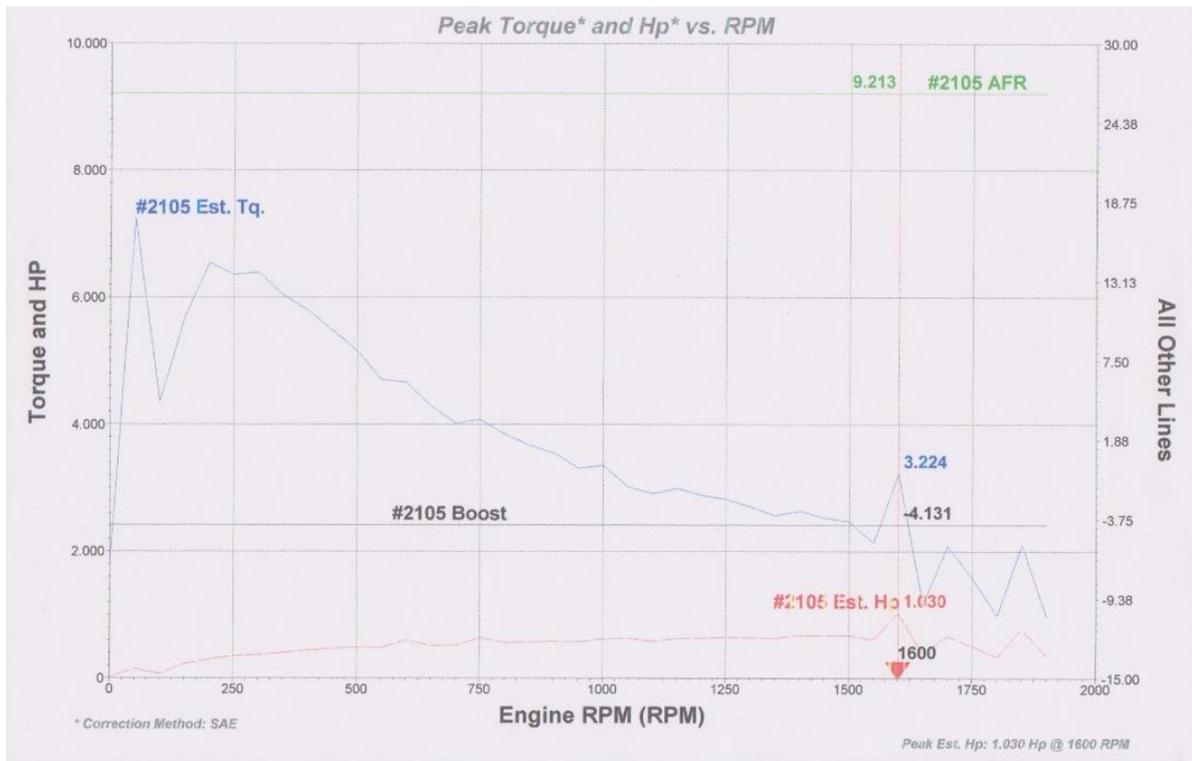


Figura 93. Diagrama de resultados de la primera prueba.

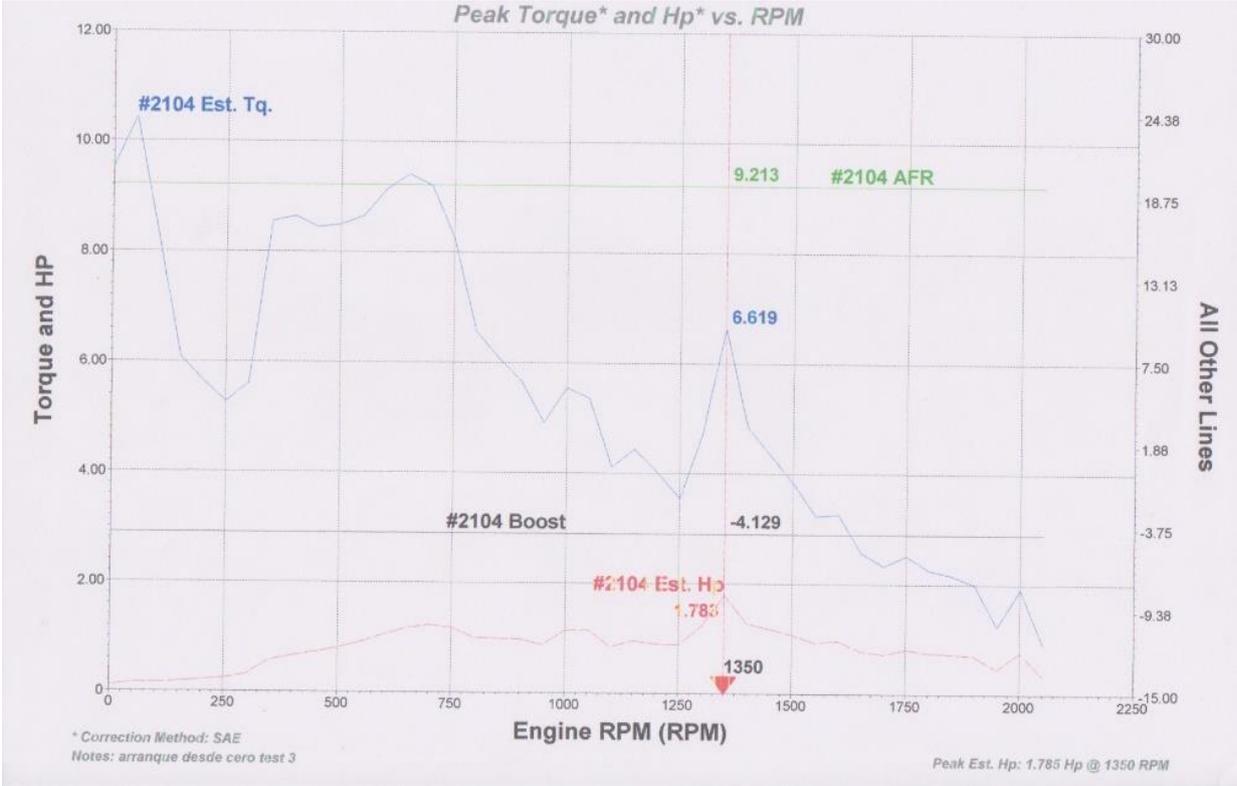


Figura 94. Diagrama de resultados de la segunda prueba.

Discusión

Comprobación de los soportes del motor y controlador al chasis.

Se comprobó que la geometría del motor eléctrico coincidiera con los soportes delantero y posterior, y de igual manera que ambos soportes queden fijos a los puntos de apoyos del chasis, como se observa en la *Figura 81 – Figura 82*. Así mismo se verificó que la geometría del controlador calce con su respectivo soporte como se ilustra en la *Figura 84*, que se encuentra por debajo del asiento de la motocicleta, finalmente se comprobó que tenga libre acceso para conectar los cables de fase del motor eléctrico, como también el arnés de cables, y cables de energía AWG No.6 para baterías.

Diámetro de la catalina conductora.

El nuevo diámetro de la catalina conductora es de 25.2 (mm), como se aprecia en la *Figura 86*. Se realizó un corte de 3 x 5 (mm), con el propósito de mover la catalina conductora libremente por el eje del motor eléctrico, y ajustarla a la distancia que desee el usuario.

Experimento 1, funcionamiento del motor eléctrico.

Esta primera prueba de funcionamiento del motor eléctrico fue aceptable los primeros 7 minutos aproximadamente, dando como resultado una buena velocidad de giro de la llanta posterior, luego la velocidad comenzaba a disminuir, no se mantuvo constante, deduciendo que por el uso de baterías viejas se perdía velocidad.

Experimento 2, comprobación de potencia.

En esta prueba se demostró el desempeño del sistema, por lo que luego se lo probó en el dinamómetro, sin embargo, se pudo apreciar que en ocasiones hubo problemas con la cadena, se saltaba uno o dos dientes de la catalina conductora, por no estar templada adecuadamente, permitiendo que haya pérdida de potencia y continuidad, adicionalmente a este punto se sumó que, por el uso de baterías viejas, el voltaje variaba, se comprobó con un multímetro de marca FLUKE el cual marcaba una medida de 48 [V], pero terminaba y se mantenía a 42 [V], existiendo una pérdida de 6 [V], haciendo que cambie la velocidad en

algunas ocasiones. Tal y como se presentó en el primer experimento, pero en este caso se utilizaron 6 baterías.

Experimento 3, torque, potencia y velocidad en el dinamómetro Dynamite.

Finalmente con todos estos elementos preparados y puestos en marcha, se realizó las pruebas, y se obtuvieron las medidas respectivas de voltaje y amperaje, con la ayuda del multímetro digital marca Fluke, la primera prueba dio un voltaje de 48.11 [V], esto se debe a la conexión de 6 baterías en serie, cargadas totalmente, y generando un amperaje en la salida del cable hacia el controlador de 10.7 [A]. La segunda prueba que se realizó entregó un voltaje de 43.55 [V] inicialmente, y un amperaje de 10.8 [A], las medidas de ambas pruebas fueron variando constantemente, no hubo estabilidad debido a lo expresado anteriormente por el uso de baterías viejas, que se limitó al presupuesto del proyecto, cabe mencionar que para ambas pruebas se tomó dos medidas adicionales a las ya manifestadas, como se muestra en la Tabla 19 –Tabla 20.

Para finalizar, los diagramas de resultados de ambas pruebas no son estimables, porque no hubo un torque constante, el mismo que llegó a caer a los pocos segundos, y también por su potencia, la cual no llegó a la máxima capacidad que ofrecía el modelo BLDC del motor eléctrico utilizado que es 5[kW], dando como terminado esta primera parte del proyecto de análisis de un motor eléctrico adaptado a una motocicleta.

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

Los resultados en ambas pruebas de torque y potencia obtenidos del gráfico de resultados en el dinamómetro, no son estimables y están por debajo de las características de torque y potencia del motor eléctrico.

La fuerza del neumático es 2.56 veces mayor a la fuerza requerida para mover la motocicleta, concluyendo que si va a haber movimiento de la motocicleta.

Adicionalmente, la motocicleta eléctrica sería una iniciativa para reducir la contaminación de la ciudad de Quito, así ayudar a las personas a reducir enfermedades que se generan por inhalar el smog, debido a la contaminación ambiental generada por vehículos de combustión.

Los principales conflictos que se presentaron en la conversión de la motocicleta de gasolina a eléctrica fue: la baja densidad energética que presentaron las baterías, lo cual afectó la autonomía del motor eléctrico y potencia del motor.

Así mismo, otro conflicto fue el costo de importación de los elementos requeridos, motor eléctrico y controlador, hubo un precio establecido inicialmente, pero adicionalmente hubo un incremento por envío y cargos de la aduana del país.

Se diseñó y calculó los esfuerzos que se situaron en los soportes delantero y posterior del motor, y del controlador, a través del programa de simulación Inventor, se obtuvo como resultado el uso del acero ASTM A36, y que tiene menor grado de deformación, y se obtuvo un factor de seguridad de 1.8.

Este proyecto de la motocicleta eléctrica puede ser un punto de partida, para las próximas generaciones de alumnos de la Universidad Internacional SEK, que lo puedan retomar y ampliar, desarrollando aún más el desempeño de la motocicleta eléctrica, llegando al interés por estos medios vehiculares que no contaminan, y que favorece mucho al medio ambiente.

Recomendaciones

Se recomienda cambiar el material del chasis, a materiales más livianos como el Aluminio, el chasis de la motocicleta es de Acero, como este material es más pesado que el Aluminio, se requiere un motor eléctrico de mayor potencia, así mismo cambiar la ubicación del motor, para equilibrar el peso en la moto.

Para aumentar el torque de la llanta trasera, se recomienda aumentar el número de dientes de la catalina conducida, y disminuir los dientes de la conductora, y si se desea mayor velocidad final, deberá seguirse el proceso inverso es decir, se aumenta la catalina conductora y se disminuye la conducida.

Para que el motor trabaje en óptimas condiciones, se recomienda evitar vibraciones en la estructura, para esto es necesario utilizar arandelas de presión, dando un mejor ajuste, y evitando que el perno se afloje o vibre en el soporte del motor.

Para mejorar la autonomía del motor, se requiere implementar otro tipo de baterías, como las de Ion-Litio, porque estas llevan una alta densidad energética, un mejor desempeño, menor tamaño y peso, en comparación con las de Plomo, y además no son contaminantes.

Generar la atención de los productores de baterías nacionales como la empresa Baterías Ecuador, para el uso y producción de baterías de vehículos eléctricos.

Se debería instruir a los estudiantes de la Universidad Internacional SEK, sobre las nuevas formas de energías renovables en el campo automotriz, para motivar a generar nuevos proyectos de titulación, para el beneficio del medio ambiente.

Para las personas que deseen realizar un proyecto similar a esta, se le recomienda tomar como referencia los costos que se encuentran detallados en el análisis económico de la Tabla 18, esto les permite tener una idea clara sobre los gastos en que incurrirán.

Referencias

- Abatta, L., & Moya, P. (2013). *Diseño, adaptación y conversión de una motocicleta de 100 c.c a gasolina en eléctrica*(Tesis de pregrado). Escuela Politécnica del Ejército, Quito, Ecuador.
- Alonso Pérez, J. (2009). *En Técnicas del automóvil MOTORES*. Madrid: Paraninfo S.A.
- Araujo , C. (11 de Junio de 2015). *Blogspot*. Obtenido de Contaminación en Quito: <http://contaminacionambientalenquio465.blogspot.com/>
- Arteaga, S. (28 de Abril de 2017). *ComputerHoy*. Obtenido de Crean baterías de níquel-zinc más seguras y baratas que las de litio: <http://computerhoy.com/noticias/hardware/crean-baterias-niquel-zinc-mas-seguras-baratas-que-litio-61672>
- Barker, P. (9 de Octubre de 2017). *Red Bull Content Pool*. Obtenido de La moto eléctrica KTM Freeride E: <https://www.redbull.com/es-es/ktm-freeride-e-moto-electrica>
- Bastidas, C., & Cabrera, D. (2014). *Conversión de una moto de combustión interna a eléctrica con alimentación de energía solar y con carga de energía eléctrica*(Proyecto de titulación). Escuela Politécnica del Ejército, Latacunga, Ecuador.
- Becerril Sandoval, J. (2014). *Diseño de etapa de potencia y control para un motor brushless de CD con frenado regenerativo aplicado a una moto deportiva eléctrica*(Tesis de pregrado). Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.
- BMW Motorrad. (Abril de 2017). *BMW*. Obtenido de 3 de Enero de 2017, de Bmw Motorrad España: https://www.bmw-motorrad.es/es/models/urban_mobility/cevolution.html
- BOSCH. (Diciembre de 2017). *Tecnova S.A. BOSCH*. Obtenido de Catálogo de baterías: http://boschecuador.com/sites/default/files/catalogo_BA_2015_low.pdf
- Bueno Linero, D. (2013). *Sistemas Automatizados*. Obtenido de Motor Eléctrico: <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:1epYDubf0q0J:https://1mecanizadoelarenal.files.wordpress.com/2013/11/motor-electrico.pdf+&cd=8&hl=es&ct=clnk&gl=ec>
- Castillo, M. D. (Febrero de 2018). *SENATI Resistencia de Materiales*. Obtenido de Transmisión de potencia piñón - cadena: <https://es.scribd.com/doc/14029991/EJERCICIOS-DE-MECANICA-DE-MATERIALES-ESTATICA>
- Cordero, Artavia, Cordero, P. (2017). *Micro JPM*. Obtenido de Características controladores tipo Multi-switching y de Estado Sólido: <http://www.microjpm.com/contactanos/>
- Costas, J. (10 de Junio de 2010). *Motorpasion*. Obtenido de Historia de los coches eléctricos: <https://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/historia-de-los-coches-electricos>

- D.I.D Co. Ltd. (2014). Especificaciones de cadenas de transmisión de motos. *D.I.D Racing Chain Powered by Technology*, 1-15.
- Díaz Sánchez, E. (16 de Enero de 2017). *Blogthinkbig.com*. Obtenido de Las motos eléctricas del futuro: <https://blogthinkbig.com/las-motos-electricas-del-futuro>
- Dynomite. (Octubre de 2017). *Dynomite Dynamometer*. Obtenido de Especificaciones del dinamómetro Dynomite: <https://www.dynomitedynamometer.com/chassis-dyno/chassis-dyno-specifications.htm>
- El Telégrafo. (9 de Diciembre de 2016). *Diario eltelégrafo*. Obtenido de INEC: parque automotor de Ecuador creció 57% en 5 años: <http://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/economia/8/inec-parque-automotor-de-ecuador-crecio-57-en-5-anos>
- ElComercio. (21 de Julio de 2011). *Diario EL COMERCIO*. Obtenido de En Quito circulan 15 525 motos, el 5% del parque automotor: <http://www.elcomercio.com/actualidad/quito/circulan-15-525-motos.html>
- ElComercio. (4 de Mayo de 2013). *Diario El Comercio*. Obtenido de Caos Vehicular: <http://www.elcomercio.com/cartas/caos-vehicular.html>
- ElectroBike. (Septiembre de 2017). *Accesorios Puño eléctrico*. Obtenido de <http://www.electrobike.com.ec/>
- ElTelégrafo. (5 de Agosto de 2017). *Diario eltelégrafo*. Obtenido de Los vehículos son los que más contaminan el aire: <http://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/quito/11/los-vehiculos-son-los-que-mas-contaminan-el-aire>
- ElTelégrafo. (2 de Enero de 2018). *Diario eltelégrafo*. Obtenido de 4 de Enero de 2018, de Una marca ecuatoriana fabrica motos eléctricas: <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/economia/1/una-marca-ecuatoriana-fabrica-motos-electricas>
- Endesa. (2016). *Endesa Educa*. Obtenido de El coche eléctrico: http://www.endesaeduca.com/Endesa_educa/recursos-interactivos/el-uso-de-la-electricidad/coche-electrico
- Eride. (Diciembre de 2017). *Galeria Monopatín Eride*. Obtenido de <https://eridexp.com/>
- FlukeCorporation. (Diciembre de 2017). *Multímetro Fluke 115*. Obtenido de <http://www.fluke.com/fluke/eces/multimetros-digitales/fluke-115.htm?pid=55993>
- García Valdecasas Vázquez, E. (2008). *Estudio de la implantación de una motocicleta eléctrica como vehículo para agentes de movilidad urbana (Tesis de fin de carrera)*. Universidad Pontificia Comillas, Madrid, España.
- GoldenMotor. (2017). *Golden Motor Technology Co Ltd*. Obtenido de BLDC Motor, Motor Controller y EV Battery: <https://www.goldenmotor.com/>

- González Calleja, D. (2015). *Mantenimiento de motores térmicos de dos y cuatro tiempos*. Madrid: Paraninfo, S.A.
- Guerrero, O. (2012). Manual motocicleta GXR200 Tundra. En O. Guerrero. Santa Fe: Pagoda S.A. Obtenido de GXR 200 Tundra .
- HarleyDavidson. (24 de Julio de 2014). *Harley-Davidson Livewire* . Obtenido de Ficha tecnica modelo Livewire: <https://www.harley-davidson.com/us/en/index.html>
- Hernández, H., & Espejo, E. (2002). *Mecánica de fractura y análisis de falla*. Bogotá: SEDE.
- Honda Motor. (2011). *Honda Motor Europe*. Obtenido de 3 de Enero de 2018, de: <http://www.honda-montesa.es/ev-neo/>
- Isch, A. (14 de Julio de 2011). *La Hora*. Obtenido de 8 de Enero de 2018, de : <http://www.lahora.com.ec/index.php/noticias/show/1101172588#.U74Myf15O>
- Johnston, Beer, Dewolf, E. (2007). *Mecánica de Materiales 4ta Edición*. México D.F: McGraw-Hill.
- KANA SYL International, S.A. (2013). CADENAS ESTANDAR DE RODILLOS. *KANA CATÁLOGO MARCA*, 1-83.
- MarsElectric. (Diciembre de 2017). *Mars Electric LLC*. Obtenido de BLDC Motors: <http://www.mars-electric.com/index.shtml>
- Parera, A. (1990). *Inyeccion Electronica en Motores de Gasolina*. Barcelona: Boixareu .
- Parvalux. (2017). *Parvalux Electric Motors Ltd*. Obtenido de Caracteristicas motores DC tipo Shunt, Imanes permanentes y Brushless BLDC: <https://www.parvalux.com/about-us/history>
- PaúlMercadolibre. (2017). *Compras y ventas Mercado Libre Ecuador*. Obtenido de Moto Eléctrica Del Control Elegante Con El Bateria Litio: https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-413553109-moto-electrica-del-control-elegante-con-el-bateria-litio-_JM
- Puente, D. (14 de Mayo de 2015). *El Comercio*. Obtenido de Contaminación del aire de Quito se mantiene en niveles 'deseables': <http://www.elcomercio.com/actualidad/contaminacion-quito-automoviles-niveles-deseables.html>
- Sanz Acebes, S. (2011). *El Motor Diesel de Cuatro Tiempos*. Madrid: Editex, S.A.
- Sorgato, V. (17 de Agosto de 2016). *Diario El Comercio*. Obtenido de La contaminación afecta a los niños de Quito: <http://www.elcomercio.com/tendencias/contaminacion-aire-quito-ninos-ambiente.html>
- Terán Muñoz, M. (2014). *Estudio de un caso para la adaptación de un motor de dos tiempos de 48cc. y un motor eléctrico de 250 vatios en una bicicleta, para ser utilizada como*

un medio alternativo de transporte en la ciudad de Quito(Tesis de grado).
Universidad San Francisco de Quito, Quito, Ecuador.

Valvermont, J. (25 de Septiembre de 2015). *Medio Ambiente y Naturaleza*. Obtenido de Todo sobre las bicicletas eléctricas: tipos, motores, piezas, recomendaciones, etc: <http://medioambienteynaturaleza.com/consideraciones-y-tipos-de-bicicletas-electricas/#comments>

Wikipedia. (8 de Diciembre de 2017). *Wikipedia*. Obtenido de 14 de diciembre de 2017, de Resistencia a la rodadura, de: https://es.wikipedia.org/wiki/Resistencia_a_la_rodadura

Wikipedia. (4 de Enero de 2018). *Wikipedia*. Obtenido de 8 de Enero de 2018, de Automóvil Eléctrico, de: https://es.wikipedia.org/wiki/Autom%C3%B3vil_el%C3%A9ctrico

Zorrilla, A. (5 de Enero de 2015). *Motos Online*. Obtenido de HISTORIA DE LA MOTO ELÉCTRICA: <http://demotosonline.com/historia-de-la-moto-electrica/>

Anexo 1

Especificaciones de las cadenas marca D.I.D.

CHAIN SPECIFICATIONS

| Model No. | Pin Length | | Roller Dia. mm | Plate Thickness | | Weight | | Tensile Strength | | Seal Type | Wear Resistance Index: Std. Chain = 100 | Connecting Link | |
|------------------------|------------|-------|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------------|--------------------|------------------|-------|-----------|-----------------------------------------------|-----------------|------------|
| | mm | in. | | Inner mm | Outer mm | Kgs/ 100 Links | Lbs./ 100 Links | Average KN | Lbs. | | | Rivet | Clip |
| STANDARD CHAINS | | | | Feature: • Solid rollers • Shot-peened parts • Reduced Friction • Special alloy steel • Made in Japan | | | | | | | | | |
| 420D | 14.75 | 0.581 | 7.77 | 1.5 | 1.5 | 0.70 | 1.54 | 17.7 | 3,970 | - | 100 | N/A | ✓ INCLUDED |
| 428D | 16.70 | 0.657 | 8.50 | 1.5 | 1.5 | 0.84 | 1.84 | 18.8 | 4,230 | - | 100 | N/A | ✓ INCLUDED |
| 428HD | 18.90 | 0.744 | 8.50 | 2.0 | 2.0 | 1.00 | 2.20 | 23.4 | 5,250 | - | 100 | N/A | ✓ INCLUDED |
| 520 | 17.50 | 0.689 | 10.16 | 2.0 | 2.0 | 1.42 | 3.12 | 29.8 | 6,700 | - | 100 | N/A | ✓ INCLUDED |
| 525 | 18.60 | 0.732 | 10.16 | 2.0 | 2.0 | 1.49 | 3.28 | 30.8 | 6,930 | - | 100 | N/A | ✓ INCLUDED |
| 530 | 20.30 | 0.799 | 10.16 | 2.0 | 2.0 | 1.68 | 3.71 | 30.8 | 6,930 | - | 100 | N/A | ✓ INCLUDED |

NOTES 1. Clip type of master links for 415ERZ, 520ERS2, ERT2, MX, 420V, 420NZ3, and 520DZ2 are loose fit.
 2. Seal Type: O = O-Ring, X = X-Ring®
 3. Pitch: 415/420/428 = 12.70mm (1/2"), 520/525/50(530)/532 = 15.875mm (5/8"), 630/632 = 19.05mm (3/4")
 4. Width: 415 = 4.76mm (.187"), 420/520 = 6.35mm (.250") • 428 = 7.94mm (.313"), 525 = 7.93mm (.312") • 50(530)/630/632 = 9.53mm (.375")
 5. D.I.D chain will be continually improved and up-dated without notice to meet the ever increasing demands of modern machines.
 Connecting links between chain types and models are NOT interchangeable. You must use connecting link designed for your specific chain.
 EXAMPLE: 520VX2 connecting links are NOT compatible with 520ZVM-X chains.

Anexo 2

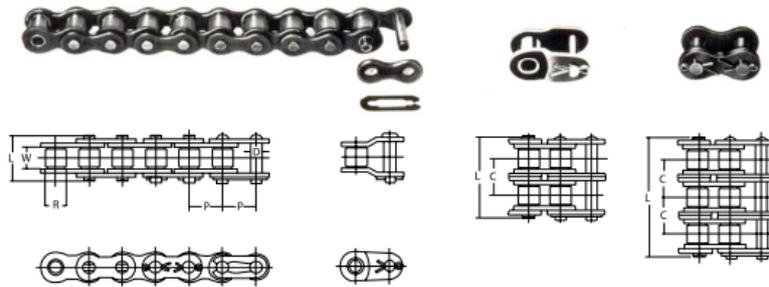
Cadenas según Normas ANSI STANDARD CHAIN.

| ANSI Standard Chain Dimensions | | | | | | |
|---------------------------------------|-------|-----------------|--------------|--------------------|--------------|--|
| Chain No. | Pitch | Roller Diameter | Roller Width | Sprocket thickness | Working Load | |
| 25 | 1/4" | 0.130" | 1/8" | 0.110" | 140 lbs | |
| 35 | 3/8" | 0.200" | 3/16" | 0.168" | 480 lbs | |
| 40 | 1/2" | 5/16" | 5/16" | 0.284" | 810 lbs | |
| 41 | 1/2" | 0.306" | 1/4" | 0.227" | 500 lbs | |
| 50 | 5/8" | 0.400" | 3/8" | 0.343" | 1400 lbs | |
| 60 | 3/4" | 15/32" | 1/2" | 0.459" | 1950 lbs | |
| 80 | 1" | 5/8" | 5/8" | 0.575" | 3300 lbs | |

Anexo 3

Catálogo de Cadenas Marca KANA.

CADENAS ESTANDAR DE RODILLOS • STANDARD ROLLER CHAINS ANSI B29. 1-1975



Dimensions in Inches and Pounds.

| ANSI Chain Number | Chain Pitch P | Inner Width W | Roller Dia. D | d | L1 | L2 | Link Plate Thickness T | C | Approx. Weight (lbs./ft) | Tensile Strength Ave.(lbs.) | ANSI Chain Number |
|-------------------|---------------|---------------|---------------|------|------|------|------------------------|------|--------------------------|-----------------------------|-------------------|
| 25 | 1/4 | 1/8 | *.130 | .090 | .34 | .37 | .030 | ... | .084 | 875 | 25 |
| 25-2 | 1/4 | 1/8 | *.130 | .090 | .59 | .63 | .030 | .252 | .163 | 1750 | 25-2 |
| 25-3 | 1/4 | 1/8 | *.130 | .090 | .84 | .88 | .030 | .252 | .246 | 2625 | 25-3 |
| 35 | 3/8 | 3/18 | *.200 | .141 | .50 | .56 | .050 | ... | .210 | 2100 | 35 |
| 35-2 | 3/8 | 3/18 | *.200 | .141 | .90 | .96 | .050 | .399 | .450 | 4200 | 35-2 |
| 35-3 | 3/8 | 3/18 | *.200 | .141 | 1.31 | 1.36 | .050 | .399 | .680 | 6300 | 35-3 |
| 40 | 1/2 | 5/16 | .312 | .156 | .67 | .72 | .060 | ... | .410 | 4000 | 40 |

Anexo 4

Valores normalizados cables A.W.G.



| Número AWG | Diámetro (mm) | Sección (mm ²) | Número espiras por em. | Kg. por Km. | Resistencia (O/Km.) | Capacidad (A) |
|------------|---------------|----------------------------|------------------------|-------------|---------------------|---------------|
| 0000 | 11,86 | 107,2 | | | 0,158 | 319 |
| 000 | 10,40 | 85,3 | | | 0,197 | 240 |
| 00 | 9,226 | 67,43 | | | 0,252 | 190 |
| 0 | 8,252 | 53,48 | | | 0,317 | 150 |
| 1 | 7,348 | 42,41 | | 375 | 1,40 | 120 |
| 2 | 6,544 | 33,63 | | 295 | 1,50 | 96 |
| 3 | 5,827 | 26,67 | | 237 | 1,63 | 78 |
| 4 | 5,189 | 21,15 | | 188 | 0,80 | 60 |
| 5 | 4,621 | 16,77 | | 149 | 1,01 | 48 |
| 6 | 4,115 | 13,30 | | 118 | 1,27 | 38 |

Anexo 5

Diagrama de conexión del motor eléctrico y su controlador.

