

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE MEJORA DE AUTONOMÍA PARA UN VEHÍCULO
ELÉCTRICO**

**DANIEL ALFONSO HERNÁNDEZ VARGAS
JOSÉ DAVID RUEDA ARENAS**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C
2.020**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE MEJORA DE AUTONOMÍA PARA UN VEHÍCULO
ELÉCTRICO.**

**DANIEL ALFONSO HERNÁNDEZ VARGAS
JOSÉ DAVID RUEDA ARENAS**

**Proyecto integral de grado para optar el título de
INGENIERO MECÁNICO**

**Director
VÍCTOR RAÚL GONZÁLEZ FORERO
Ingeniero Eléctrico**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C
2.020**

Nota de aceptación:

Ing. Eric Fabien Navarro
Jurado 1.

Ing. Claudio Alberto Moreno
Jurado 2

Bogotá D.C, febrero de 2020

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente institucional y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García-Peña

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de Posgrados (E)

Dra. Alexandra Mejía Guzmán

Secretaria General

Dra. Alexandra Mejía Guzmán

Decano Facultad de Ingenierías

Dr. Julio Cesar Fuentes Arismendi

Director Programa de Ingeniería Mecánica

Ing. Carlos Mauricio Veloza Villamil

Las directivas de la universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

DEDICATORIA

Dedico principalmente este proyecto a mis padres Marco Hernández y Beatriz Vargas, que me guiaron paso a paso mediante su apoyo brindado con amor y paciencia en esta gran etapa de vida y a mis hermanos a quienes solo me queda agradecerles por acompañarme durante todo este proceso de formación como profesional, por su sabiduría que fue indispensable para lograr con madurez los objetivos de vida que me he propuesto, por esos consejos que me hicieron la persona que soy hoy en día y por estar presente en cada uno de mis logros alcanzados.

Daniel Alfonso Hernández Vargas

Expreso mis más sinceros agradecimientos a mis padres José Rueda y Patricia Arenas, a quienes le dedico este proyecto ya que ellos me han apoyado y alentaron desde el primer día que empecé a formarme como ingeniero mecánico y hasta el último día de universidad, también doy gracias a Dios por brindarme sabiduría en este proceso de formación, Agradezco a la Fundación Universidad de América por haberme brindado la formación y el conocimiento académico adquirido.

José David Rueda Arenas

AGRADECIMIENTOS

Es difícil entender la importancia de los agradecimientos de un proyecto de grado hasta que no se ha terminado. En ese momento te das cuenta de cuánto tienes que agradecer y a tanta gente. Intentaremos resumir en unas pocas líneas la gratitud que sentimos a todas aquellas personas que han estado presentes durante esa etapa, haciendo posible que hoy deje de ser un sueño para pasar a ser una realidad.

A Dios quien nos permitió todos los medios para culminar esta meta, el cual nos dio la paciencia necesaria para saber llevar todos los inconvenientes que se presentaron dándonos las capacidades y cualidades necesarias para culminar este proyecto de vida.

Al ingeniero Carlos Urrego Rodríguez por brindarnos su apoyo y colaboración durante el proceso de redacción y formación primordial de este proyecto.

A nuestros padres por todo el apoyo económico y el acompañamiento durante este proyecto de formación profesional.

A nosotros mismos como compañeros que hicimos de todo este proceso un ambiente agradable y lleno de experiencias que nos perfeccionan como profesionales.

A la empresa EVCO que aportaron en el desarrollo de este proyecto e hicieron posible que este culminarse con éxito.

A la Fundación Universidad de América quien fuere artífice principal, brindándonos la formación y el conocimiento académico, adquiriendo bases sólidas las cuales usaremos en nuestra vida como profesionales.

CONTENIDO

| | pág. |
|--|------|
| RESUMEN | 22 |
| INTRODUCCIÓN | 23 |
| 1. DIAGNÓSTICO DE LA AUTONOMÍA ACTUAL. | 25 |
| 1.1 CONCEPTOS BÁSICOS | 26 |
| 1.1.1 Autonomía | 26 |
| 1.1.2 Vehículo eléctrico | 26 |
| 1.1.3 Motor eléctrico | 27 |
| 1.1.4 Diferencias entre un motor eléctrico y un térmico | 28 |
| 1.1.5 Tipos de motores | 29 |
| 1.1.5.1 Motor de inducción | 29 |
| 1.1.5.2 Motor síncrono de imán permanente | 30 |
| 1.1.5.3 Motor de flujo axial | 30 |
| 1.1.5.4 Motor de reluctancia permanente | 30 |
| 1.1.5.5 Motor de corriente continua sin escobillas | 31 |
| 1.1.6 Baterías | 31 |
| 1.1.7 Tecnología de las baterías | 32 |
| 1.1.7.1 Baterías de plomo y ácido | 32 |
| 1.1.7.2 Baterías de níquel cadmio (NiCd) | 33 |
| 1.1.7.3 Baterías de níquel-hidruro metálico (NiMH) | 34 |
| 1.1.7.4 Baterías de iones de litio (Li-ion) | 35 |
| 1.1.7.5 Baterías Zebra | 36 |
| 1.1.8 Características fundamentales de las baterías | 37 |
| 1.1.8.1 Capacidad | 37 |
| 1.1.8.2 Capacidad específica | 37 |
| 1.1.8.3 Energía específica | 37 |
| 1.1.8.4 Densidad de potencia | 38 |
| 1.1.8.5 Densidad de energía | 38 |
| 1.1.9 Cargador AC/DC | 39 |
| 1.1.10 Controlador electrónico | 39 |
| 1.1.11 Conversor DC/AC | 40 |
| 1.1.12 Inverter / convertidor | 40 |
| 1.1.13 Tipos de vehículos eléctricos | 41 |
| 1.1.13.1 Vehículo eléctrico | 42 |
| 1.1.13.2 Vehículo híbrido eléctrico enchufable o plug in | 42 |
| 1.1.13.3 Vehículo eléctrico de batería | 43 |
| 1.1.13.4 Vehículo eléctrico de autonomía extendida | 44 |
| 1.1.14 Infraestructura de recarga | 44 |
| 1.1.14.1 Carga lenta | 44 |
| 1.1.14.2 Carga semi – rápida | 45 |

| | | |
|----------|---|----|
| 1.1.14.3 | Carga rápida | 45 |
| 1.1.15 | Ventajas de los motores eléctricos | 45 |
| 1.1.16 | Desventajas de los motores eléctricos | 45 |
| 1.2 | VIABILIDAD Y EVOLUCION PREVISIBLE | 46 |
| 1.3 | SITUACION ENERGETICA ACTUAL | 47 |
| 1.4 | VEHÍCULOS ELECTRICOS EN LA ACTUALIDAD | 48 |
| 1.5 | VEHÍCULOS ELECTRICOS EN EL MUNDO | 49 |
| 1.5.1 | Toyota Prius (1997) | 49 |
| 1.5.2 | Tesla Roadster (2005) | 51 |
| 1.5.3 | Citroën c-zero | 52 |
| 1.6 | VEHÍCULOS ELECTRICOS EN COLOMBIA | 53 |
| 1.6.1 | BYD e6. | 53 |
| 1.7 | IMPACTO AMBIENTAL DE LOS VEHÍCULOS ELECTRICOS | 54 |
| 1.7.1 | Gases de combustión | 57 |
| 1.7.2 | Implicación de uso del vehículo a combustión | 58 |
| 1.7.2.1 | Deterioro ambiental | 58 |
| 1.7.2.2 | Contaminación ambiental en un vehículo a combustión | 58 |
| 1.7.2.3 | Contaminación acústica en un vehículo a combustión | 58 |
| 1.7.3 | Implicaciones del uso del vehículo eléctrico | 59 |
| 1.7.3.1 | Impacto ambiental. | 59 |
| 1.7.3.2 | Reducción en la contaminación atmosférica | 59 |
| 1.7.3.3 | Reducción en la contaminación auditiva | 59 |
| 1.7.3.4 | Beneficios del uso de vehículos eléctricos | 59 |
| 1.7.3.5 | Desecho de baterías | 62 |
| 1.8 | AUTONOMÍA ACTUAL DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO | 63 |
| 1.9 | DIAGNOSTICO COMPARATIVO | 64 |
| 2. | PARAMETROS Y REQUERIMIENTOS FUNCIONALES | 65 |
| 2.1 | PARAMETROS DE DISEÑO | 65 |
| 2.1.1 | Estructura | 65 |
| 2.1.1.1 | Mini Cooper R56, EVCO | 66 |
| 2.1.2 | Sistema por diseñar | 68 |
| 2.1.3 | Área de trabajo | 68 |
| 2.1.4 | Nivel de autonomía | 69 |
| 2.2 | REQUERIMIENTOS DE DISEÑO | 69 |
| 2.2.1 | Capacidad del sistema | 69 |
| 2.2.2 | Variables de operación | 70 |
| 2.2.3 | Autonomía del vehículo. | 70 |
| 2.2.4 | Fuente de energía | 71 |
| 2.2.4.1 | Resistencia por aerodinámica | 71 |
| 2.2.4.2 | Densidad del aire | 71 |
| 2.2.5 | Mantenimiento | 71 |
| 2.2.6 | Materiales | 72 |

| | | |
|---------|--|-----|
| 2.2.7 | Fuente de energía | 72 |
| 2.2.8 | Generador eólico. | 72 |
| 3. | DISEÑO DETALLADO | 74 |
| 3.1 | CONCEPTUALIZACION DEL DISEÑO | 74 |
| 3.2 | SUBSISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGIA. | 75 |
| 3.2.1 | Selección del generador | 75 |
| 3.3 | SUBSISTEMA DE CAPTACIÓN DE AIRE | 81 |
| 3.3.1 | Rejilla frontal del vehículo | 82 |
| 3.3.2 | Diseño de la turbina | 82 |
| 3.3.2.1 | Selección de las uniones de la turbina | 92 |
| 3.3.3 | Diseño del eje | 95 |
| 3.3.3.1 | Selección del soporte del eje | 111 |
| 3.3.3.2 | Selección de los anillos retenedores | 117 |
| 3.4 | SUBSISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA. | 118 |
| 3.4.1 | Selección del sistema de transmisión de potencia | 119 |
| 3.4.1.1 | Selección del soporte de la polea conductora | 131 |
| 3.4.1.2 | Selección del soporte de la polea conducida | 133 |
| 3.5 | SUBSISTEMA ESTRUCTURAL | 135 |
| 3.5.1 | Selección del soporte del sistema | 135 |
| 3.6 | SUBSISTEMA DE CONTROL | 139 |
| 3.7 | ANÁLISIS DE AUMENTO DE AUTONOMÍA | 140 |
| 4 | SIMULACION POR ELEMENTOS FINITOS. | 141 |
| 4.1 | MODELADO DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA | 142 |
| 4.2 | ENSAMBLE DEL SISTEMA DE MEJORA DE AUTONOMIA | 144 |
| 4.3 | ANÁLISIS DEL ÁRBOL | 144 |
| 4.3.1 | Análisis estático | 145 |
| 4.3.2 | Análisis dinámico | 147 |
| 5. | PLANOS DE ENSAMBLE | 150 |
| 6. | MANUALES | 151 |
| 6.1 | MANUAL DE INSTALACION | 151 |
| 6.2 | MANUAL DE OPERACIÓN | 154 |
| 6.3 | MANUAL DE MANTENIMIENTO | 155 |
| 6.4 | MANUAL DE SEGURIDAD Y SALUD | 162 |
| 7. | IMPACTO AMBIENTAL | 164 |
| 7.1 | IMPLICACION DEL USO DEL SISTEMA DISEÑADO | 164 |
| 7.1.1 | Construcción | 164 |
| 7.1.2 | Ensamble | 164 |
| 7.1.3 | Mantenimiento | 164 |
| 7.1.4 | Daño en piezas | 164 |

| | |
|--|-----|
| 7.2 MATRIZ DE IMPACTO AMBIENTAL | 165 |
| 7.2.1 ASPECTOS E IMPACTOS SIGNIFICATIVOS | 166 |
| 8. ANÁLISIS FINANCIERO. | 167 |
| 8.1 COSTOS DE INGENIERÍA | 167 |
| 8.1.1 Costos de talento humano | 167 |
| 8.1.2 Costos fungibles | 167 |
| 8.1.3 Total de gastos de ingeniería | 168 |
| 8.2 COSTOS DE FABRICACIÓN Y ENSAMBLE | 168 |
| 8.2.1 Costos de fabricación | 168 |
| 8.2.2 Costos de ensamble | 169 |
| 8.3 COSTOS TOTALES | 169 |
| 8.4 ANALISIS DE COSTO DE OPERACIÓN | 170 |
| 8.4.1 Costos de operación propuesto | 170 |
| 8.5 EVALUACIÓN FINANCIERA | 170 |
| 9. CONCLUSIONES | 173 |
| 10. RECOMENDACIONES | 174 |
| BIBLIOGRAFÍA | 175 |
| ANEXOS | 179 |

LISTA DE IMÁGENES

| | pág. |
|--|------|
| Imagen 1. Motor eléctrico | 28 |
| Imagen 2. Batería de plomo y ácido | 33 |
| Imagen 3. Batería de Níquel Cadmio | 34 |
| Imagen 4. Batería de Níquel-Hidruro metálico. | 35 |
| Imagen 5. Batería de Ion de litio | 36 |
| Imagen 6. Cargador para vehículo eléctrico | 39 |
| Imagen 7. Controlador electrónico | 40 |
| Imagen 8. Conversor DC/AC | 40 |
| Imagen 9. Convertidor | 41 |
| Imagen 10. Toyota Prius 1997 | 49 |
| Imagen 11. Tesla Roadster 2005. | 51 |
| Imagen 12. Citroën C-Zero. | 52 |
| Imagen 13. BYD e6. | 54 |
| Imagen 14. Medidas de un mini cooper R56 | 65 |
| Imagen 15. Parte frontal del vehículo | 69 |
| Imagen 16. Interior de la parte frontal | 69 |
| Imagen 17. Generador Hiest 510 – 3.0 KW / 200 RPM | 76 |
| Imagen 18. Generador PMG EN2000P | 77 |
| Imagen 19. Generador North Star | 78 |
| Imagen 20. Área de toma de aire frontal. | 82 |
| Imagen 21. Turbina Darrieus H | 83 |
| Imagen 22. Turbina savonius | 83 |
| Imagen 23. Turbina tripala | 84 |
| Imagen 24. Diferentes posiciones y curvaturas de seis rotores | 87 |
| Imagen 25. Especificaciones y resistencias de la SAE para pernos de acero. | 92 |
| Imagen 26. Unión alabes - tapas | 94 |
| Imagen 27. Buje QD | 94 |
| Imagen 28. Árbol del aerogenerador. | 95 |
| Imagen 29. Factor de diseño para materiales dúctiles. | 106 |
| Imagen 30. Factor de tamaño | 107 |
| Imagen 31. Soporte para rodamientos | 111 |
| Imagen 32. Capacidad de carga relativa para rodamientos. | 111 |
| Imagen 33. Dimensiones rodamiento | 112 |
| Imagen 34. Especificaciones para soportes de rodamientos | 116 |
| Imagen 35. Ubicación de los anillos retenedores | 118 |
| Imagen 36. Transmisión por cadena | 119 |
| Imagen 37. Transmisión por correa en “V | 120 |
| Imagen 38. Transmisión epicicloidal. | 121 |
| Imagen 39. Dimensiones polea PQ | 126 |
| Imagen 40. Dimensiones de correas 3V | 128 |

| | |
|---|-----|
| Imagen 41. Tensado por rodillo | 129 |
| Imagen 42. Dimensiones del rodillo SE | 131 |
| Imagen 43. Dimensiones buje Taper | 131 |
| Imagen 44. Dimensiones buje Taper | 133 |
| Imagen 45. Soporte de la carcasa del radiador. | 136 |
| Imagen 46. Brazo A | 136 |
| Imagen 47. Brazo B | 138 |
| Imagen 48. Modelado 3D de la turbina | 143 |
| Imagen 49. Modelado 3D del árbol | 143 |
| Imagen 50. Modelado del subsistema de transmisión | 143 |
| Imagen 51. Ensamble de los componentes | 144 |
| Imagen 52. Mallado del eje | 145 |

LISTA DE DIAGRAMAS

| | pág. |
|---|------|
| Diagrama 1. Esquema conceptual de la configuración de un vehículo eléctrico | 27 |
| Diagrama 2. Tipología de vehículos eléctricos. | 41 |
| Diagrama 3. Esquema de un vehículo híbrido eléctrico. | 42 |
| Diagrama 4. Esquema de un vehículo híbrido plugin (PHEV). | 43 |
| Diagrama 5. Esquema de un vehículo eléctrico de batería. | 43 |
| Diagrama 6. Esquema de un vehículo eléctrico de autonomía extendida. | 44 |
| Diagrama 7. Sistema actual del Mini Cooper R56 eléctrico. | 68 |
| Diagrama 8. Zonas de presión en un vehículo | 71 |
| Diagrama 9. Generador eólico para un vehículo. | 72 |
| Diagrama 10. Conceptualización del diseño | 74 |
| Diagrama 11. Subsistema generación de energía | 75 |
| Diagrama 12. Subsistema captación de aire | 81 |
| Diagrama 13. Fuerzas sobre una turbina savonius | 87 |
| Diagrama 14. Parámetros de un rotor savonius | 88 |
| Diagrama 15. Fuerzas sobre el alabe. | 89 |
| Diagrama 16. Componentes sobre el eje | 96 |
| Diagrama 17. Diagrama de fuerzas del eje | 102 |
| Diagrama 18. Reacciones sobre el eje | 103 |
| Diagrama 19. Subsistema transmisión de potencia | 118 |
| Diagrama 20. Subsistema transmisión por correas en V | 134 |
| Diagrama 21. Subsistema estructural | 135 |
| Diagrama 22. Análisis del soporte A | 137 |
| Diagrama 23. Análisis del soporte B | 138 |
| Diagrama 24. Incorporación del sistema de mejora al sistema actual. | 140 |
| Diagrama 25. Procesos para la simulación. | 142 |
| Diagrama 26. Restricción y fuerzas aplicadas al eje | 145 |
| Diagrama 27. Análisis de deformación | 146 |
| Diagrama 28. Análisis de tensión por Von Mises | 147 |
| Diagrama 29. Restricción y fuerzas aplicadas al eje | 147 |
| Diagrama 30. Análisis de deformación | 148 |
| Diagrama 31. Análisis de tensión por Von Mises | 148 |
| Diagrama 32. Subsistema de la turbina. | 151 |
| Diagrama 33. Subsistema de transmisión de potencia. | 152 |
| Diagrama 34. Ensamble del sistema completo | 153 |
| Diagrama 35. Flujo de ahorro | 171 |
| Diagrama 36. Flujo de efectivo | 172 |

LISTA DE GRAFICOS

| | pág. |
|---|------|
| Gráfico 1. Curva par motor y potencia Nissan. | 29 |
| Gráfico 2. Producción energética en Colombia. | 48 |
| Grafico 3.TSR para turbinas. | 86 |
| Gráfico 4. Efecto de las tapas en el rendimiento de una turbina | 91 |
| Gráfico 5. Factor de superficie para el acero | 106 |
| Grafico 6. Elección de la Sección de las Correas Clásicas | 125 |

LISTA DE TABLAS

| | pág. |
|---|------|
| Tabla 1. Tipos de baterías | 37 |
| Tabla 2. Características de las baterías. | 38 |
| Tabla 3. Matriz ambiental norma 14001 Mini Cooper a combustión | 61 |
| Tabla 4. Matriz ambiental norma 14001 Mini Cooper eléctrico | 62 |
| Tabla 5. Normativa ambiental colombiana | 63 |
| Tabla 6. Diagnóstico de la autonomía de los vehículos eléctricos. | 64 |
| Tabla 7. Ficha técnica de Mini Cooper R56 eléctrico | 67 |
| Tabla 8. Parámetros funcionales, operacionales y de diseño | 73 |
| Tabla 9. Parámetros para la selección del generador | 75 |
| Tabla 10. Características del generador Hiest 510 – 3.0 KW / 200 RPM | 77 |
| Tabla 11. Características del generador PMG-EN2000P | 78 |
| Tabla 12. Especificaciones del generador North Star | 79 |
| Tabla 13. Criterio de ponderación | 79 |
| Tabla 14. Matriz de ponderación | 80 |
| Tabla 15. ventajas y desventajas alternativa 1 | 83 |
| Tabla 16. Ventaja y desventajas de la alternativa 2 | 84 |
| Tabla 17. Ventajas y desventajas de la alternativa 3 | 84 |
| Tabla 18. Criterios de ponderación | 85 |
| Tabla 19. Matriz de ponderación | 85 |
| Tabla 20. Límites de velocidad en Colombia. | 88 |
| Tabla 21. Análisis de los tornillos. | 93 |
| Tabla 22. Dimensiones principales de los bujes QD | 95 |
| Tabla 23. Propiedades AISI 1045 | 96 |
| Tabla 24. Fuerzas sobre el eje | 101 |
| Tabla 25. Factores de confiabilidad. | 107 |
| Tabla 26. Dimensiones de rodamientos de bolas serie UC. | 112 |
| Tabla 27. Parámetros carga dinámica | 113 |
| Tabla 28. Rodamientos seleccionados | 116 |
| Tabla 29. Especificaciones del soporte para rodamientos seleccionado. | 117 |
| Tabla 30. Anillos retenedores. | 117 |
| Tabla 31. Parámetros de diseño del sistema de transmisión de potencia | 119 |
| Tabla 32. Ventajas y desventajas Alternativa 1 | 120 |
| Tabla 33. Ventajas y desventajas alternativa 2 | 120 |
| Tabla 34. Ventajas y desventajas alternativa 3 | 121 |
| Tabla 35. Criterio de ponderación | 122 |
| Tabla 36. Matriz de ponderación | 122 |
| Tabla 37: Factores de servicio. | 124 |
| Tabla 38. Medidas poleas PQ 1-3V | 125 |
| Tabla 39. Longitud primitiva nominal. | 128 |
| Tabla 40. Rodamientos ROSTA. | 129 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 41. Dimensiones del rodillo tensor SE | 130 |
| Tabla 42. Bujes para poleas 3V | 132 |
| Tabla 43. Bujes taper polea conductora | 132 |
| Tabla 44. Bujes para poleas 3V | 133 |
| Tabla 45. Dimensiones principales de los bujes taper polea conducida | 134 |
| Tabla 46. Parámetros de diseño del subsistema estructural | 135 |
| Tabla 47. Mejora de autonomía. | 140 |
| Tabla 48. Propiedades mecánicas del sistema. | 141 |
| Tabla 49. Resultados obtenidos del análisis del eje | 149 |
| Tabla 50. Manual de mantenimiento. | 159 |
| Tabla 51. Análisis de falla | 161 |
| Tabla 52. Matriz de impacto ambiental, elaborada bajo la norma 14001 | 165 |
| Tabla 53. Aspectos ambientales significativos | 166 |
| Tabla 54. Impactos ambientales | 166 |
| Tabla 55. Costos de ingeniería | 167 |
| Tabla 56. Costos fungibles. | 167 |
| Tabla 57. Total de costos de ingeniería | 168 |
| Tabla 58. Costos de fabricación. | 168 |
| Tabla 59. Costos de ensamble | 169 |
| Tabla 60. Costos totales | 169 |
| Tabla 61. Costos propuestos del ahorro del generador | 170 |

LISTA DE ANEXOS

| | pág. |
|--|------|
| Anexo A. Propiedades del acero AISI 1045 | 180 |
| Anexo B. Bujes QD | 182 |
| Anexo C. Bujes taper | 185 |
| Anexo D. Rodamiento UC204 | 188 |

SIMBOLOS UTILIZADOS

| SIMBOLO | DESCRIPCION |
|-----------------|---|
| α | Aceleración angular |
| δ_{τ} | Paso del tiempo utilizado en el cálculo [seg] |
| η_{β} | Rendimiento de la batería |
| η_{γ} | Rendimiento de la transmisión |
| η_{μ} | Rendimiento del motor |
| μ_{pp} | Coeficiente de resistencia de rozamiento |
| ρ | Densidad del aire |
| ω | Velocidad angular |
| ψ | Inclinación del terreno |
| α | Aceleración lineal |
| A | Peso de la función F1 dentro de la función objeto F |
| A | Área frontal del vehículo |
| ABS | Sistema antibloqueo de ruedas o frenos antibloqueo, del alemán Antiblockiersystem |
| AC | Corriente continua (Direct Current) |
| AER | Toda la energía proveniente de la batería (All-Electric Range) |
| AG | Algoritmos genéticos |
| AGM | Material de Vidrio Absorbente (Absorbed Glass Mat) |
| a_i | Coste de inversión para construir la estación de carga i |
| B | Peso de la función F2 dentro de la función objeto F |
| C | Constante de pérdidas que se aplica a cualquier velocidad |
| CARB | Junta de Recursos del Aire de California (California's Air Resources Board) |
| CD | Batería de carga-agotamiento (Battery Charge-Depletion) |
| C_d | Coeficiente aerodinámico |
| C_{dl} | Doble capa electroquímica capacitiva |
| C_p | Capacidad de Peukert [Ah] |
| CR | Carga total eliminada de la batería (Charge Removed) [Ah] |
| CS | Carga suministrada por la batería (Charge Supplied) [Ah] |
| C_3 | Capacidad amperios-hora en el rango de 3 horas [Ah] |
| C_{10} | Capacidad amperios-hora en el rango de 10 horas [Ah] |
| c_{ij} | Costo de transporte de cliente j hacia la estación de carga i |
| D | Difusión |
| DC | Corriente continua (Direct Current) |
| d_{ij} | Distancia entre la demanda i y la estación de carga j |
| d_j | Demanda del cliente j |
| DoD | Profundidad de descarga de la batería |
| EMC | Ordenador de gestión de la energía (Energy Management Computer) |
| EPA | Agencia de protección ambiental de los Estados Unidos (Environmental Protection Agency) |
| EV | Vehículo eléctrico (Electric Vehicle) |
| EVT | Transmisión eléctrica variable (Electric Variable Transmission) |

| | |
|--------------|---|
| F1 | Función objeto que reduce al mínimo el coste de la inversión |
| F2 | Función objeto que minimiza el coste del transporte |
| F_{ad} | Resistencia aerodinámica |
| F_b | Resultante de la fuerza de frenado sobre el vehículo |
| F_{bf} | Resultante de la fuerza de frenado en las ruedas delanteras |
| FCV | Vehículos de pila de combustible (Fuel Cell Vehicles) |
| F_{hc} | Fuerza de ascensión |
| F_{rr} | Fuerza de rozamiento |
| F_{ta} | Fuerza de aceleración |
| F_{te} | Fuerza de tracción |
| F_{wa} | Fuerza de aceleración angular en las ruedas |
| G | Ratio de reducción |
| G | Aceleración de la gravedad |
| G | kilometraje por kWh [km/kWh] |
| GLP | Gas licuado del petróleo |
| GNC | Gas Natural Comprimido |
| GNL | Gas Natural Licuado |
| H_{min} | Función objetivo para la localización de estaciones de carga según Shaoyun Ge |
| h_1 | Coste de la pérdida de potencia |
| h_2 | Coste indirecto de las pérdidas |
| HEV | Vehículo híbrido eléctrico (Hybrid Electric Vehicle) |
| h_g | Distancia desde el centro de la gravedad del vehículo hasta el suelo |
| HPDI | Inyección Directa de Alta Presión (High Pressure Direct Injection) |
| HWFET | Programación de ahorro del combustible de la conducción en la autopista |
| I | Momento de inercia del rotor del motor |
| ICE | Motor convencional de combustión interna (Internal Combustion Engine) |
| I_{cell} | Intensidad de la célula de la batería |
| κ | Constante de Peukert |
| K | coste de tiempo de los usuarios [€/h] |
| k_c | Coefficiente de pérdidas en el cobre |
| k_i | Coefficiente de pérdidas en el hierro |
| k_w | Coefficiente de pérdida por fricción con el aire |
| L | Longitud de difusión |
| L | Distancia entre las ruedas |
| L_b | Distancia desde el centro de la gravedad del vehículo hasta las ruedas traseras |
| ΣL_j | Suma de las distancias desde la estación de carga j hasta la demanda |
| M | Masa del vehículo |
| M | Número máximo de estaciones de carga |
| N | Número de celdas de la batería |
| N | Número de cliente |
| NMHC | Hidrocarburos no metánicos (Non-methane hydrocarbons) |
| P | Precio de carga [€/kWh] |

| | |
|----------------|--|
| P_{ac} | Potencia para los accesorios |
| P_{bat} | Potencia de la batería |
| P_{bat_c} | Potencia de recarga de la batería |
| P_{bat_d} | Potencia de descarga de la batería |
| PC | Pila de combustible |
| P_e | Potencia del motor |
| PHEV | Vehículo híbrido eléctrico enchufable (Plug-in HEV) |
| P_L | Potencia que demanda el conductor por medio del pedal del acelerador |
| P_m | Potencia de salida del motor eléctrico |
| P_{mb} | Potencia de frenado |
| P_{mf} | Potencia de frenado mecánico |
| P_{mot_in} | Potencia eléctrica requerida por el motor |
| P_{mot_out} | Potencia mecánica requerida por el motor |
| PSAT | Caja de herramientas para el análisis (Powertrain System Analysis Toolkit) |
| P_{te} | Potencia total de tracción para mover el vehículo |
| Q | Resistencia de frenado |
| q_i | Carga de demanda del nodo i |
| R | Radio de la rueda |
| R | Resistencia interna de la batería [\square] |
| R_{ct} | Resistencia de transferencia de carga |
| R_0 | Resistencia adicional de la célula de la batería |
| RFID | Identificación por radiofrecuencia (Radio Frequency Identification) |
| SIG | Sistema de información geográfica |
| SOC | Estado de carga (State of Charge) |
| T | Par motor |
| T | Tiempo [h] |
| TCS | Sistema de Control de Tracción (Traction Control System) |
| U_0 | Tensión en vacío |
| UCAH-P | Unidad de control de acoplamiento híbrido en paralelo |
| U_{cell} | Tensión de la célula de la batería |
| UDDS | Programación del horario de conducción urbana dinamométrica (Urban Dynamometer Driving Schedule) |
| UTS | Universidad Tecnológica de Sídney |
| V | Velocidad lineal |
| VCI | Vehículo de combustión interna |
| VGN | Vehículos a gas natural |
| VRLA | Batería de ácido – plomo regulada por válvula |
| W | Frecuencia angular |
| W_i | Capacidad de la estación de carga ith |
| W_f | Carga vertical en las ruedas delanteras |
| X_{ij} | Variable de decisión binaria de afectar al cliente j para cargar en la estación i |
| y_i | Variable de decisión de abrir o no la estación de carga i |
| ZEV | Vehículo de emisión cero (Zero Emission Vehicle) |
| Z_w | Impedancia de Warburg |

RESUMEN

En este proyecto se busca poder aumentar la autonomía de un vehículo eléctrico, con el diseño de un sistema, que permita hacer un uso más eficiente de la energía, ya que actualmente en Colombia los vehículos eléctricos solo están para uso exclusivo dentro de la ciudad, con la necesidad de ayudar con el medio ambiente, se analiza un sistema de captación de energía proveniente del aire, para de esta manera poder dar una solución al problema.

Teniendo en cuenta información proporcionada por la empresa EVCO y un análisis pertinente del sistema, se busca de esta manera la mejor opción en cuanto a la economía, mejora en el rendimiento y de esta manera cumplir con los objetivos planteados.

Se consigue diseñar un sistema capaz de mejorar la autonomía con lo cual da una solución al principal problema que impide realizar trayectos de larga distancia con estos vehículos. Mediante el análisis de elementos finitos se demuestra la capacidad de resistencia de los elementos más críticos en el sistema, así de esta manera asegurando su correcto funcionamiento. Después de esto se realizan los manuales de montaje, operación y mantenimiento, como también un análisis ambiental y un análisis de costos con el fin de establecer el costo del sistema o (establecer si es viable o no el sistema).

PALABRAS CLAVES

- Vehículo
- Autonomía
- Carga
- Electricidad
- Fuente

INTRODUCCIÓN

La población mundial llegara a 9.000 millones de habitantes para el 2040. Los consumidores de clase media aumentaran en 3.000 millones en los próximos 20 años, lo que a su vez incitara el uso de los recursos en forma exponencial. El panel sobre sostenibilidad mundial de la organización de las naciones unidas (ONU), afirma que al mundo se le está acabando el tiempo para asegurarse de cubrir sus necesidades globales en cuanto a agua, alimento y energía, pero hay un aspecto de gran relevancia que se omite en esta discusión y está relacionado directamente con la necesidad global de energía y con la búsqueda permanente de la movilidad.¹ El aumento desmedido de vehículos enfrenta a la humanidad a una gran utilización de grandes cantidades de energías primarias, generalmente de origen fósil lo que genera dos problemas fundamentales: la necesidad de muchos recursos energéticos y los graves problemas de salud producidos por la contaminación ambiental producida por las emisiones de los vehículos tradicionales.

El objetivo del presente proyecto es “Diseñar un sistema de mejora de autonomía para un vehículo eléctrico”, el cual tiene como objetivos específicos:

- Diagnosticar la situación actual de la autonomía de los vehículos eléctricos.
- Establecer los parámetros básicos y requerimientos funcionales.
- Desarrollar el diseño detallado del sistema.
- Analizar mediante los elementos finitos los diferentes puntos críticos del sistema.
- Elaborar planos de ensamble.
- Elaborar manuales de instalación, operación, mantenimiento y seguridad.
- Evaluar el impacto ambiental del proyecto.
- Hacer un análisis de costos del proyecto.

Por lo anterior el alcance de este proyecto de grado es el diseño de un sistema de mejora de autonomía para un vehículo eléctrico, para ello se calcularán los componentes mecánicos requeridos y se seleccionarán algunos componentes para su correcto funcionamiento.

La metodología que utiliza el diseño del sistema será el análisis de los diferentes modelos y prototipos de vehículos eléctricos que existen actualmente, para así lograr un diseño con una mejora considerable de autonomía para poder cumplir con la principal meta de este proyecto de grado.

El significado en esta industria, se hace referencia al transporte, se involucran aspectos como: recolección de residuos sólidos, desplazamiento de personas a través de sistemas particulares o de transporte masivo, sistemas de emergencia, transporte de alimentos, materias primas, mercancías, entre otras.

Una alta proporción de la población mundial es urbana, el ser humano está inmerso y permeado por el uso del transporte para realizar las actividades diarias.

Como una respuesta al problema del transporte que utiliza combustibles fósiles con bajas eficiencias energéticas y graves problemas medioambientales, existe la alternativa de los vehículos eléctricos. Estos tienen una mayor eficiencia, lo que permite producir ahorros en energéticos primarios y además no producen emisiones de CO₂ y otros gases contaminantes. Puede decirse que estas emisiones se trasladan a las centrales térmicas que producen electricidad, sin embargo, esto no es exactamente así, ya que las emisiones de las centrales de generación están concentradas en un sitio y pueden ser controladas y reguladas más fácilmente que las emisiones de los vehículos por separado.²

La aplicación en el área de trabajo es el sector de transporte personal para una persona. Los vehículos eléctricos se han venido desarrollando con mayor fuerza desde hace algún tiempo, pero realmente su historia data de muchos años atrás, sin embargo es hasta ahora que se han logrado desarrollar modelos capaces de cubrir las necesidades de sus consumidores, trabajando diariamente en su mejoramiento continuo y en la posibilidad de llegar a muchas más personas con costos razonables y beneficios no solo personales sino a nivel global, ayudando al medio ambiente en un porcentaje considerable.³

1. NOTICIAS ONU. La población mundial. [En línea]. [consultado el 4 de diciembre de 2018]. Disponible en: <https://news.un.org/es/story/2007/03/1099691>

2. TWENENERGY. La electricidad frente al combustible. [En línea]. [Consultado el 8 de diciembre de 2018]. Disponible en: <https://twenergy.com/a/la-electricidad-frente-al-combustible-2734>

3. MOTOR PASION. Historia de los coches eléctricos. [En línea]. [Consultado el 8 de diciembre de 2018]. Disponible en: <https://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/historia-de-los-coches-electricos>.

1. DIAGNÓSTICO DE LA AUTONOMÍA ACTUAL.

La historia del vehículo eléctrico a lo largo del último siglo es una continuación de oportunidades perdidas e intentos fallidos, después de haber propuesto las bases de la industria del automóvil en los primeros inicios del siglo XIX, el vehículo eléctrico se dejó de lado en favor del vehículo de motor de combustión interna. Este tipo de motor era más efectivo y se fue radicando cada vez más durante el siglo XX, participando en el incremento de popularidad entre la población en la industria del automóvil. El vehículo eléctrico se ha visto apartado del mercado durante mucho tiempo, pero su credibilidad ha resurgido durante ciertos momentos puntuales de la historia, como pueden ser las diferentes guerras o la crisis del petróleo. Aun así, surge cada cierto tiempo gracias a sus innovaciones y sus promesas de movilidad sostenible. Nadie pasa por alto sus cualidades intrínsecas: tecnología simple, funcionamiento silencioso y robustez. Después de un siglo, parece que el vehículo eléctrico ha conseguido avanzar notablemente. Hoy en día estamos viviendo un resurgir del vehículo eléctrico sin precedentes. Su desarrollo se ha visto motivado por la escasez de recursos petrolíferos, por el calentamiento global, por las nuevas tecnologías y por el cambio en ciertas actitudes y posturas de la población. Es la primera vez que tanto los fabricantes como las autoridades de la gran mayoría de países están haciendo un gran esfuerzo para darle al vehículo eléctrico una nueva oportunidad. Con esto, se está escribiendo una nueva página de la historia. ⁴

A pesar de un inicio alentador, el vehículo eléctrico no tardaría en enfrentarse a sus limitaciones tecnológicas: prestaciones limitadas, poca autonomía y tiempos de carga demasiado largos. Un vehículo eléctrico corriente no pasaba de los 20 km/h y tenía una autonomía limitada a 50 km. Unas limitaciones que favorecieron el desarrollo del motor térmico, en parte gracias también a los progresos conseguidos en su desarrollo por parte de Gottlieb Daimler en Alemania. A principios del siglo XX, cuando el petróleo empezó a ser un producto más asequible, el motor de combustión empezó a tener éxito. De hecho, motivados por ese repentino éxito del motor de combustión, los fabricantes de vehículos eléctricos empezaron a cerrar sus fábricas o se pasaron directamente a la producción de motores térmicos. “Para ciertos sectores de la población el vehículo eléctrico carecía de virilidad. No era lo suficientemente potente, era demasiado silencioso y por encima de todo, era muy apreciado por las mujeres. En una sociedad machista como la de la época, el motor térmico con sus ruidos y sus escapes humeantes se veía como algo más impresionante y exclusivo. De hecho, su complejidad mecánica hacía que las mujeres quedarán excluidas en las tareas de reparación y convertía al motor de combustión en un objeto decididamente masculino.”⁴

4. DIARIO MOTOR. Historia del coche eléctrico: largo proceso de desarrollo. [En línea]. [Consultado el 12 de diciembre del 2018]. Disponible en: <http://www.diariomotor.com/tecmovia/2011/07/19/la-historia-del-coche-electrico-un-largo-proceso-de-desarrollo/>.

Tuvo que pasar algo más de una década para poder ver por las calles motores eléctricos, dando lugar a los primeros servicios de los Hackney Cabs. Aparte de los modelos construidos a petición de ricos empresarios y fabricados de forma individual, el verdadero debut de los vehículos eléctricos fue en las flotas de taxis de Inglaterra con los conocidos Taxi-Cab, para extenderse posteriormente a Francia o Estados Unidos. En aquellos años, la solución ideal para este tipo de transporte pasaba por el motor eléctrico. Las cualidades que lo hacían mejor respecto al motor térmico siguen siendo las mismas que hoy en día: no emite ningún sonido en su funcionamiento, facilidad de uso y robustez.

Varios fabricantes competían en el mercado francés, como Charles Jeantaud, Louis Krieger o Charles Mildé, que ofrecían turismo y vehículos comerciales con motores eléctricos. Por otra parte, en 1899 el piloto belga Camille Jenatton conseguía romper un récord de velocidad con su bólido eléctrico “La Jamais Contente” (La que nunca está satisfecha), al superar los 100 km/h.

1.1 CONCEPTOS BÁSICOS

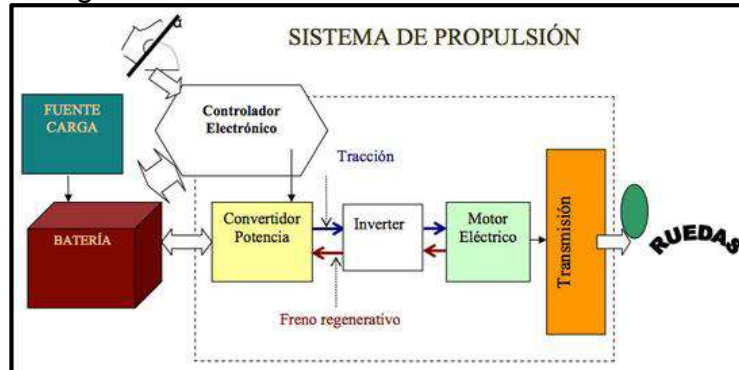
1.1.1 Autonomía. La autonomía de un vehículo se define como la distancia máxima que puede recorrer dicho vehículo antes de detenerse totalmente sin tener que repostar combustible, o para este caso recargar las baterías.

Ya que el consumo de los vehículos varía en función del recorrido y de la velocidad, la autonomía también varía, es decir, una batería de mayor capacidad permite una mayor autonomía, pero afecta gravemente el peso del vehículo, y se necesita mayor potencia para lograr mover este lo que afecta negativamente su autonomía, lo ideal es buscar una buena relación entre el peso y la potencia de los componentes que se van a agregar para mejorar la autonomía para así conseguir la mejor relación que nos permita una mejora efectiva.

1.1.2 Vehículo eléctrico. Es un vehículo propulsado por uno o más motores eléctricos. La tracción puede ser proporcionada por ruedas o hélices impulsadas por motores rotativos, o en otros casos utilizar otro tipo de motores no rotativos, como los motores lineales o los motores inerciales.

Los vehículos eléctricos obtienen su capacidad de movimiento por la energía eléctrica liberada por unas baterías o bien por una célula de combustible de hidrógeno o tomada directamente de una red eléctrica a la que están conectados permanentemente. El sistema de generación y acumulación de la energía eléctrica constituye el sistema básico para mover un vehículo eléctrico.⁵

Diagrama 1. Esquema conceptual de la configuración de un vehículo eléctrico



Fuente: ASOCIACION NACIONAL DE INGENIEROS DEL ICAI. [sitio web]. Madrid: Asociación de ingenierías del ICAI, foro sobre el vehículo eléctrico. [consulta: 12 diciembre 2018]. Disponible en: <https://www.icaei.es/event/3768/>

Generalmente, para ello se utilizan los acumuladores electroquímicos, formados por dos sustancias conductoras bañadas en un líquido también conductor. El intercambio de cargas positivas y negativas entre ambos componentes mantiene una corriente eléctrica que puede ser utilizada para el funcionamiento del motor del vehículo eléctrico.

1.1.3 Motor eléctrico. Un motor eléctrico es una máquina rotativa que transforma la energía eléctrica en energía mecánica, a través de diferentes interacciones electromagnéticas. Hay algunos motores eléctricos que son reversibles, es decir, que pueden hacer el proceso inverso al mencionado antes, esto es transformar la energía mecánica en energía eléctrica pasando a funcionar como un generador. El principio de la conversión de la energía eléctrica en energía mecánica por medios electromagnéticos fue demostrado por el científico británico Michael Faraday en 1821. De acuerdo con este principio, sobre un conductor con corriente aparece una fuerza mecánica cuando se encuentra en presencia de un campo magnético externo.⁶

En el motor de combustión, sólo el 18% de la energía del combustible es utilizada para mover el vehículo, el resto sirve para accionar el motor. En el vehículo eléctrico el 46% de la energía liberada por las baterías sirve para mover el vehículo, lo que indica una eficiencia entre 10-30% superior de este, respecto al vehículo convencional con motor de explosión. En un vehículo eléctrico puede haber un solo motor de tracción o varios, acoplados a las ruedas. Su función es transformar la energía eléctrica que llega de las baterías en energía cinética o de movimiento. Esta energía puede ser aprovechada en forma de corriente continua o en forma de corriente alterna. En este último caso requiere de un inversor.

Imagen 1. Motor eléctrico



Fuente: RP MECATRONICA. [sitio web]. Madrid: RP mecatrónica, productos. [consulta:12 diciembre 2018]. Disponible en: www.rpmecatronica.com

1.1.4 Diferencias entre un motor eléctrico y un térmico

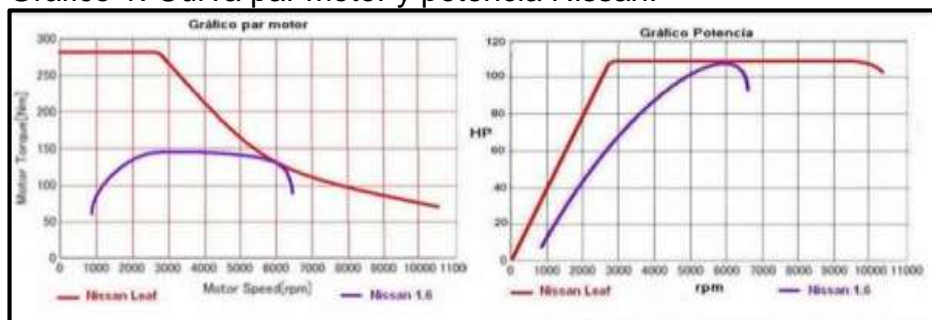
- Son de menor tamaño y peso.
- Son más silenciosos.
- No emiten gases contaminantes.
- Carecen de ralentí, ya que el motor eléctrico puede iniciar y detenerse en cualquier momento.
- Son de mantenimiento más barato.
- Los motores eléctricos se caracterizan por una potencia prácticamente constante desde el arranque y poseen un par elevado.
- Los motores eléctricos carecen de una caja de cambios en vez de eso tienen un grupo reductor cuya principal función es reducir el número de revoluciones del motor.
- Los motores eléctricos funcionan a mayores revoluciones que los motores térmicos en relación con el número de vueltas que llegan a la transmisión permitiendo así una aceleración continua.
- El rendimiento de los motores eléctricos es del 90% mientras que los motores térmicos tienen una eficiencia entre 30% y 40% en el mejor de los casos.⁷

En el siguiente gráfico se tiene un claro ejemplo comparativo entre dos vehículos, en este caso Nissan, uno eléctrico (Nissan LEAF) y uno a combustión (Nissan 1.6), comparando varios aspectos funcionales como su par y potencia de cada uno de ellos.

⁵ IDAE. Mapa tecnológico: movilidad eléctrica [En línea]. [Consultado el 22 de diciembre del 2018]. Disponible en: http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Movilidad_Electrica_ACC_c603f868.pdf

⁶ MHEDUCATION. Motor eléctrico [En línea]. [consultado el 22 de diciembre de 2018]. Disponible en: <http://assets.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448173104.pdf>

Gráfico 1. Curva par motor y potencia Nissan.



Fuente: AUTO NACION. [sitio web]. Madrid: Auto nación, La entrega de par: motores de combustión vs. Motores eléctricos. [consulta 22 diciembre 2018]. Disponible en: <https://www.autonacion.com/motores-combustion-diesel-gasolina-vs-electricos-par/>

En el gráfico se pueden ver las curvas típicas de un motor eléctrico y de un motor de gasolina de 1600 cm³. Se han comparado dos motores de Nissan de 109 CV de potencia. La potencia máxima es la misma, pero en realidad el motor eléctrico es más potente en casi todas las circunstancias: hasta 1000 rpm ofrece más del triple de potencia, hasta 2000 rpm más del doble y aunque las curvas se van acercando hacia los 6.000 rpm, el de gasolina corta a 6.500 rpm y el del Nissan LEAF aún ofrece su potencia máxima hasta 9800 rpm y gira hasta los 10.400 rpm. Por eso cuando la gente prueba un vehículo eléctrico por primera vez, lo sorprende la potencia alcanzada a velocidades bajas o medias. Son mucho más potentes que un vehículo térmico equivalente, en esas condiciones.⁸

1.1.5 Tipos de motores. El primer motor eléctrico continuo hecho con la intención de ser usado comercialmente fue construido por el americano Thomas Davenport y patentado en 1837. Debido al alto costo de la energía proveniente de una batería, los motores no fueron económicamente rentables.⁹

1.1.5.1 Motor de inducción. Es un tipo de motor de corriente alterna en el que la corriente eléctrica del rotor necesaria para producir torsión es inducida por inducción electromagnética del campo magnético de la bobina del estator. Por lo tanto, un motor de inducción no requiere una conmutación mecánica aparte de su misma excitación. El primer prototipo de motor eléctrico capaz de funcionar con corriente alterna fue desarrollado y construido por el ingeniero Nicola Tesla y presentado en el American Institute of Electrical Engineers (en español, Instituto Americano de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos, actualmente IEEE) en 1888. Se puede definir al motor asíncrono o de inducción como un transformador eléctrico cuyos bobinados del estator representan el primario, y los devanados del rotor equivalen al secundario de un transformador en cortocircuito.¹⁰

1.1.5.2 Motor síncrono de imán permanente. Son motores eléctricos cuyo funcionamiento se basa en imanes permanentes. Existen diversos tipos, sentido. Los más conocidos:

- Motores de corriente continua de imán permanente.
- Motores de corriente alterna de imán permanente.
- Motores paso a paso de imán permanente.

En aplicaciones en que el motor es operado electrónicamente desde un inversor, no es necesario el devanado amortiguador para el arranque pues este lo realiza el control electrónico, y además el devanado amortiguador produce pérdidas de energía adicionales debido a las formas de onda no senoidales.¹¹

1.1.5.3 Motor de flujo axial. Este tipo de motores se introduce normalmente en la rueda del vehículo ya que debido a su tecnología permite grandes desarrollos. Es sin duda este tipo de motores el futuro de los vehículos. Se puede variar la posición de los devanados e imanes del rotor y estator, permiten un flujo de campo magnético paralelos al eje del motor sin que el principio de funcionamiento difiera mucho de lo ya conocido, pero reduciendo considerablemente el volumen total ocupado por la máquina eléctrica.

Dado que la fuerza electromagnética entre rotor y estator se ejerce de forma axial, es decir en dirección axial, en primera instancia podría llegar a pensarse que este tipo de motores afecta mucho los rodamientos que soportan el eje. La arquitectura de estas máquinas permite separar el estator en dos discos que actúan sobre el rotor, que no es más que otro disco alojado entre los dos anteriores. De esta manera las fuerzas que son axiales se contrarrestan y los rodamientos del eje sólo soportan su propio peso y las fuerzas de inercia. La forma del disco permite grandes flujos magnéticos para tamaños más reducidos del rotor lo que hace que el momento de inercia, y la masa total del conjunto se puedan ver reducidos.

Esta propiedad de baja inercia le da un valor añadido como herramienta de posicionamiento. Constructivamente no existen inconvenientes en la fabricación de rotor, ya que es un disco formado con imanes permanentes ubicados de forma conveniente. En cambio, el bobinado del rotor sobre un cuerpo de chapa como todos los otros bobinados no es tan sencillo.¹² g

1.1.5.4 Motor de reluctancia permanente. Un eje de hierro que puede girar apoyado sobre unos rodamientos, o también los dientes de un rotor de hierro, se orientan en un campo magnético producido gracias a una corriente eléctrica en los polos del estator. Mediante una determinada conmutación del campo magnético se conseguirá un movimiento rotatorio del núcleo de hierro. En el caso de que este rotor posea más dientes, se puede comparar su forma a la de una rueda dentada de gran espesor. El concepto reluctancia corresponde con la resistencia magnética,

la cual opone dicho rotor al campo electromagnético. La generación y posterior conmutación del campo magnético se realiza en los bobinados de los polos de la parte fija de la máquina, a través de la electrónica de potencia conectada al motor. Con la electrónica de potencia (convertidor de corriente y convertidor de frecuencia), se puede influir de la manera deseada tanto en las revoluciones como en el par de giro del motor. Los motores de reluctancia conmutados pueden ser pequeños o grandes.¹²

1.1.5.5 Motor de corriente continua sin escobillas. También conocido como brushless es un motor eléctrico que no emplea escobillas para realizar el cambio de polaridad en el rotor. Los motores eléctricos solían tener un colector de delgas o un par de anillos que se rozan. Estos sistemas, que producen rozamiento, disminuyen el rendimiento, desprenden calor y ruido, requieren mucho mantenimiento y pueden producir partículas de carbón que manchan el motor de un polvo que, además, puede ser conductor. Los primeros motores sin escobillas fueron los motores de corriente alterna asíncronos. Hoy en día, gracias a la electrónica, se muestran muy ventajosos, ya que son más baratos de fabricar, pesan menos y requieren menos mantenimiento, pero su control era mucho más complejo. Esta complejidad prácticamente se ha eliminado con los controles electrónicos. El inversor debe convertir la corriente alterna en corriente continua, y otra vez en alterna de otra frecuencia. Otras veces se puede alimentar directamente con corriente continua, eliminando el primer paso. Por este motivo, estos motores de corriente alterna se pueden usar en aplicaciones de corriente continua, con un rendimiento mucho mayor que un motor de corriente continua con escobillas. Algunas aplicaciones serían los vehículos y aviones con radiocontrol, que funcionan con pilas.¹³

1.1.6 Baterías. Es un dispositivo que consiste en una o más celdas electroquímicas que pueden convertir la energía química almacenada en electricidad. Cada celda consta de un electrodo positivo ánodo y un electrodo negativo o cátodo y electrolitos que permiten que los iones se muevan entre los electrodos, facilitando que la corriente fluya fuera de la batería para llevar a cabo su función. Es el componente principal de los vehículos eléctricos puesto que de ellas depende en gran parte el precio, el peso y la autonomía de estos vehículos.¹³

⁷ ELECTROMOVILIDAD. Comparativo coche eléctrico vs coche combustión. [En línea]. [consultado el 22 de diciembre de 2018]. Disponible en: <http://electromovilidad.net/comparativa-coche-electrico-vs-coche-combustion/>

⁸ AFICIONADOS A LA MECANICA. Coche eléctrico. [En línea]. [consultado el 22 de diciembre de 2018]. Disponible en: http://www.aficionadosalamecanica.com/coche-electrico_control.htm

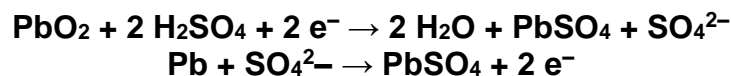
⁹ EL MOTOR ELECTRICO. Historia del motor eléctrico. [En línea]. [consultado el 22 de diciembre de 2018]. Disponible en: <http://elmotorelectricopaolatumay.blogspot.com/2016/09/historia-del-motor-electrico-el.html>

1.1.7 Tecnología de las baterías.

1.1.7.5 Baterías de plomo y ácido. Está constituida por dos electrodos de plomo, de manera que, cuando el aparato está descargado, se encuentra en forma de sulfato de plomo (PbSO₄) incrustado en una matriz de plomo metálico en el elemento metálico (Pb); el electrolito es una disolución de ácido sulfúrico. A continuación, su funcionamiento. ¹⁴

Carga: Durante el proceso de carga inicial, el sulfato de plomo pierde electrones o se reduce a plomo metal en el polo negativo (cátodo), mientras que en el ánodo se forma óxido de plomo (PbO₂). Por lo tanto, se trata de un proceso de dismutación. No se libera hidrógeno, ya que la reducción de los protones a hidrógeno elemental está cinéticamente impedida en la superficie de plomo, característica favorable que se refuerza incorporando a los electrodos pequeñas cantidades de plata. ¹⁵

Descarga: Durante la descarga se invierten los procesos de la carga. El óxido de plomo, que ahora funciona como cátodo, se reduce a sulfato de plomo, mientras que el plomo elemental se oxida en el ánodo para dar igualmente sulfato de plomo. Los electrones intercambiados se aprovechan en forma de corriente eléctrica por un circuito externo. Se trata, por lo tanto, de una conmutación. Los procesos elementales que trascurren son los siguientes: ¹⁵

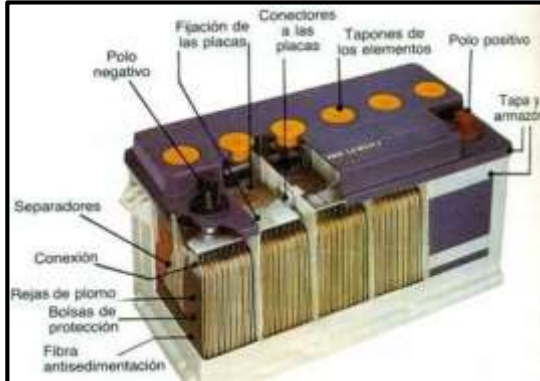


En la descarga baja la concentración del ácido sulfúrico, porque se crea sulfato de plomo y aumenta la cantidad de agua liberada en la reacción. Como el ácido sulfúrico concentrado tiene una densidad superior a la del ácido sulfúrico diluido, la densidad del ácido puede servir de indicador para el estado de carga del dispositivo. ¹⁵

¹⁰ HYPERPHYSICS. Funcionamiento del motor de inducción. [En línea]. [consultado el 22 de diciembre de 2018]. Disponible en: (<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/magnetic/indmot.html>).

¹¹ DYNAPUBLI. Motor de reluctancia conmutada. [En línea]. [consultado el 22 de diciembre de 2018]. Disponible en: (<http://www.dynapubli.com/noticias-PD/la-tecnologia-de-motores-de-iman-permanentes>)

Imagen 2. Batería de plomo y ácido



Fuente: foro de internet. Triplenlace: triplenlace química [consultado 23 diciembre 2018].

Disponible en:

<https://triplenlace.com/2015/04/09/batera-o-acumulador-de-plomo-voltaje-inmediato/>

Ciclos y vida útil: No obstante, este proceso no se puede repetir indefinidamente, porque, cuando el sulfato de plomo forma cristales, ya no responden bien a los procesos indicados, con lo que se pierde la característica esencial de la reversibilidad. Se dice entonces que la batería se ha «sulfatado» y es necesario sustituirla por otra nueva.¹⁵

1.1.7.6 Baterías de níquel cadmio (NiCd). Utilizan un ánodo de níquel y un cátodo de cadmio. El cadmio es un metal pesado muy tóxico, por lo que han sido prohibidas por la Unión Europea. Tienen una gran duración (más de 1.500 recargas).¹⁵

Ventajas:

- Admiten un gran rango de temperaturas de funcionamiento
- Admiten sobrecargas, se pueden seguir cargando cuando ya no admiten más carga, aunque no la almacena.

Desventajas

- Efecto memoria muy alto
- Densidad de energía baja.

Características

- Voltaje proporcionado: 1,2 V
- Densidad de energía: 50 Wh/kg
- Capacidad usual: 0,5 a 1,0 A (en pilas tipo AA)
- Efecto memoria: muy alto.

¹² TESIS EN RED. Motor de flujo axial. [En línea]. [consultado el 22 de diciembre de 2018]. Disponible en: (<http://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/6288/10CAPITOL6.pdf?sequence=10>).

¹³ MOVILTRONICS. BATERIAS. [En línea]. [consultado el 22 de diciembre de 2018]. Disponible en: <https://moviltronics.com.co/50-baterias-para-vehiculos-electricos>.

Durante el uso, se produce la descarga:

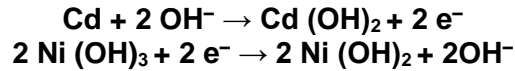
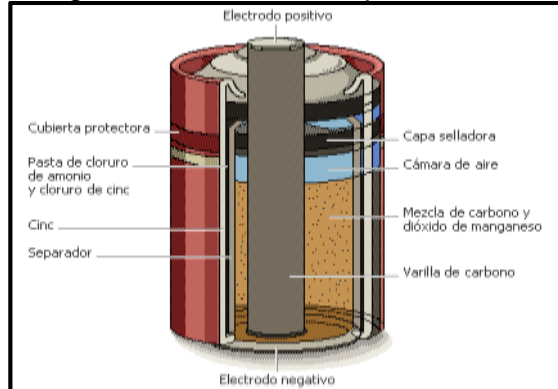


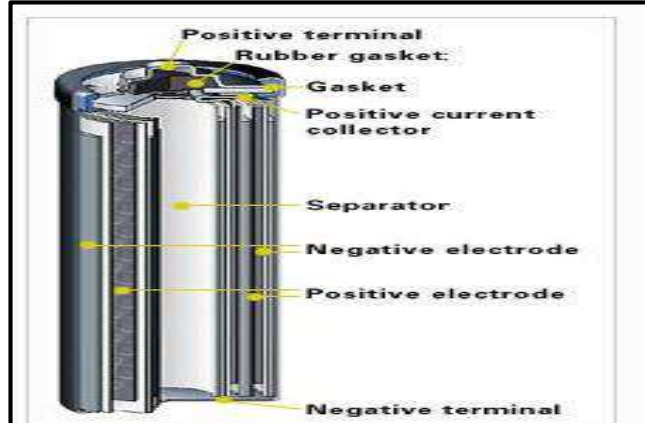
Imagen 3. Batería de Níquel Cadmio



Fuente: foro de internet. Tripenlace: tripenlace química [consultado 23 diciembre 2018].
Disponible en:
<https://tripenlace.com/2015/04/09/batera-o-acumulador-de-plomo-voltaje-inmediato/>

1.1.7.7 Baterías de níquel-hidruro metálico (NiMH). Es un tipo de batería recargable que utiliza un ánodo de oxihidróxido de níquel (NiOOH), como en la batería de níquel cadmio, pero cuyo cátodo es de una aleación de hidruro metálico. Esto permite eliminar el cadmio, que es muy caro y, además, representa un peligro para el medio ambiente. Asimismo, posee una mayor capacidad de carga (entre dos y tres veces más que la de una pila de NiCd del mismo tamaño y peso) y un menor efecto memoria. Cada pila de Ni-MH puede proporcionar un voltaje de 1,2 voltios y una capacidad entre 0,8 y 2,9 amperio-hora. Su densidad de energía llega hasta los 100 Wh/kg, y los ciclos de carga de estas pilas oscilan entre las 500 y 2000 cargas. Este tipo de baterías se encuentran menos afectadas por el llamado efecto memoria, en el que en cada recarga se limita el voltaje o la capacidad (a causa de un tiempo largo, una alta temperatura, o una corriente elevada), imposibilitando el uso de toda su energía.¹⁵

Imagen 4. Batería de Níquel-Hidruro metálico.



Fuente: TECNOCAT.EU. [sitio web]. Tecnocat, tecnología industrial. [consulta: 23 diciembre 2018]. Disponible en: www.tecnocat.eu/?q=node/6

1.1.7.8 Baterías de iones de litio (Li-ion). Las baterías de iones de litio deben su desarrollo a la telefonía móvil y su desarrollo es muy reciente. Su densidad energética asciende a unos 115 W/kg, y no sufren el efecto memoria. Las baterías de iones de litio se usan en teléfonos móviles, ordenadores portátiles, reproductores de MP3 y cámaras, y probablemente alimentarán la siguiente generación de vehículos híbridos y eléctricos puros conectados a la red. A pesar de sus indudables ventajas, también presentan inconvenientes: sobre calentamiento, alto coste y, sobre todo, las reservas de litio, sujetas a una gran controversia. Baterías de polímero de litio: Es una tecnología similar a la de iones de litio, pero con una mayor densidad de energía, diseño ultraligero (muy útil para equipos ultraligeros) y una tasa de descarga superior.¹⁵

Entre sus desventajas está la alta inestabilidad de las baterías si se sobrecargan y si la descarga se produce por debajo de cierto voltaje. Las baterías de iones de litio (Li-ion) utilizan un ánodo de grafito y un cátodo de óxido de cobalto, trifilina (LiFePO_4) u óxido de manganeso. Su desarrollo es más reciente, y permite llegar a altas densidades de capacidad. No admiten descargas y sufren mucho cuando éstas suceden; por lo que suelen llevar acoplada circuitería adicional para conocer el estado de la batería, y evitar así tanto la carga excesiva como la descarga completa.¹⁵

Ventajas:

- Apenas sufren el efecto memoria y pueden cargarse sin necesidad de estar descargadas completamente, sin reducción de su vida útil
- Altas densidades de capacidad.

Desventajas

- No admiten bien los cambios de temperatura
- No admiten descargas completas y sufren mucho cuando éstas suceden.

Características

- Voltaje proporcionado:
 - A plena carga: entre 4,2 V y 4,3 V.
 - A carga nominal: entre 3,6 V y 3,7 V.
 - A baja carga: entre 2,65 V y 2,75 V.(estos valores no son un límite, se recomiendan).
- Densidad de energía: 115 Wh/kg.
- Capacidad usual: 1,5 a 2,8 A
- Efecto memoria: muy bajo

Imagen 5. Batería de Ion de litio



Fuente: foro de internet.
ANDALAUTIC: [consultado el 23 de diciembre de 2018]. Disponible en:
<http://blog.andalutic.com/>

1.1.7.9 Baterías Zebra. Una de las baterías recargables que más prometen son las conocidas como Zebra. Tienen una alta densidad energética, pero operan en un rango de temperaturas que va de 270°C a 350°C, lo que requiere un aislamiento. Son apropiadas en autobuses.

Entre sus inconvenientes, además de la temperatura de trabajo, están las pérdidas térmicas cuando no se usa la batería. El automóvil eléctrico Think City va equipado con baterías Zebra Na-NiCl de 17,5 Kw/h. La distancia que un vehículo eléctrico puede recorrer sin recargar la batería, en los modelos actuales o de próxima fabricación, va de 60 a 250 kilómetros. Hay que tener en cuenta que la mayor parte de los desplazamientos diarios son inferiores a los 60 km. Un vehículo eléctrico consume de 0,12 Kw/h a 0,30 Kw/h por kilómetro; para recorrer 100 kilómetros haría

falta una batería con una capacidad de 12 Kw/h a 30 Kw/h, dependiendo del modelo.¹⁵

Tabla 1. Tipos de baterías

| Tipo de baterías recargables | Energía (Wh/kg) | Energía/volumen (Wh/litro) | Potencia/Peso (W/kg) | Número de ciclos | Eficiencia energética-% |
|--------------------------------|-----------------|----------------------------|----------------------|------------------|-------------------------|
| Zebra (NaNiCl) | 125 | 300 | | 1.000 | 92,5 |
| Polímero de litio | 200 | 300 | >3.000 | 1.000 | 90,0 |
| iones de litio | 125 | 270 | 1.800 | 1.000 | 90,0 |
| Níquel-Hidruro Metálico (NiMH) | 70 | 140-300 | 250-1.000 | 1.350 | 70,0 |
| Níquel Cadmio (NiCd) | 60 | 50-150 | 150 | 1.350 | 72,5 |
| Plomo-ácido | 40 | 60-75 | 150 | 500 | 82,5 |

Fuente: AFICIONADOS A LA MECANICA. [sitio web]. España: Aficionados a la mecánica, coche eléctrico. [consulta: 23 diciembre 2018]. Disponible en: http://www.aficionadosalamecanica.com/coche-electrico_bateria.htm

1.1.8 Características fundamentales de las baterías

1.1.8.5 Capacidad. Se define como la cantidad de electricidad que puede entregar antes de que su tensión disminuya por debajo de un valor mínimo. La capacidad, que se representa con el símbolo “C” y se expresa en “Ah” (amperios hora).¹⁵

1.1.8.6 Capacidad específica. Es la capacidad por unidad de peso o volumen de una batería. Se define capacidad específica al valor:¹⁵

$$C_t = x n F$$

Donde:

x= Número de moles que intervienen en la reacción completa de descarga.

n= Número de electrones que intervienen en la reacción.

F= Número de Faraday (96500 C).

1.1.8.7 Energía específica. Es la energía que es capaz de almacenar dividida entre la masa (Wh/kg) o el volumen (Wh/l). La energía de una batería se calcula multiplicando el voltaje en Voltios por la capacidad de carga en Ah o lo que es lo mismo ¹⁶

$$\text{Energía (Wh)} = E (V) * C (Ah).$$

1.1.8.8 Densidad de potencia. Es la potencia que puede suministrar una batería por unidad de volumen y se expresa en W/l (lo más usual) o en W/dm³. Si la potencia viene dada en función de la unidad de peso (W/Kg) lo que tenemos es la potencia específica. Aunque las baterías le pierden la batalla a la gasolina en cuanto a la capacidad para almacenar energía sin embargo estas son muy buenas dando potencia. la potencia es Corriente*Tensión y como las baterías son capaces de entregar valores muy grandes de corriente, eso sí, durante pequeños periodos de tiempo como ya hemos visto, también son capaces de entregar potencias muy grandes de forma precisa.¹⁶

1.1.8.9 Densidad de energía. Es la energía que se puede extraer de una batería por unidad de volumen y se expresa en Wh/l (lo más usual) o en Wh/dm³. Si la energía viene dada en función de la unidad de peso (Wh/Kg) lo que tenemos es la energía específica de la batería.¹⁶

Tabla 2. Características de las baterías.

| Tipo | Plomo (Pb) | Níquel-Cadmio (Ni-Cd) | Níquel-Hidruro (Ni-MH) | Iones de Litio (Li-ion) | Polímero de Litio (Li-Po) |
|--------------------|--------------|-----------------------|------------------------|-------------------------|---------------------------|
| Voltaje por Célula | 2 V | 1.2 V | 1.2 V | 3.7 V | 3.7 V |
| Ah | 7 – 960 Ah | 0.5 – 1 Ah | 0.5 – 10 Ah | - | - |
| Memoria | Medio | Muy Alto | Bajo | Inexistente | Inexistente |
| Potencia/Kilo | 30 Wh/Kg | 50 Wh/Kg | 70 Wh/Kg | 110-160 Wh/Kg | 100-130 Wh/Kg |
| Sobrecarga | No soportado | Soportado | No recomendable | Soportado | Soportado |
| Descarga | No soportado | Necesaria | Recomendable | Fallo a -2.5 V | Fallo a -2.5 V |
| Nº de Recargas | 1000 aprox. | 500 aprox. | 1000 aprox. | 4000 aprox. | 5000 aprox. |
| T de descarga/mes | 5 % | 30 % | 20 % | 6 % | 6 % |
| Tiempo de carga | 8 – 16 h | 10 – 14 h | 2 – 4 h | 2 – 4 h | 1 – 1.5 h |

Fuente: HYBRIDSTEINGRUP. [sitio web]. España: Hybridsteingrup, linadium energy. [consulta: 22 diciembre 2018]. Disponible en: <http://www.hybridsteingrup.com/caracteristicas-baterias-linadium/>

¹⁴ APRENDE CON ENERGÍA. Batería. [En línea]. [consultado el 22 de diciembre de 2018]. Disponible en: <http://www.aprendeconenergia.cl/glossary/bateria/>

¹⁵ TIPOS DE BATERÍAS. Tipos de baterías. [En línea]. [consultado el 22 de diciembre de 2018]. Disponible en: (<http://www.tiposde.org/cotidianos/420-tipos-de-baterias/>).

1.1.9 Cargador AC/DC. Los vehículos eléctricos necesitan de carga externa para recargar sus baterías. Por ello, cuenta con un cargador que es capaz de transformar la corriente alterna de un enchufe a corriente continua. La carga de corriente depende de la tecnología y de la capacidad de la batería a cargar.¹⁷

Imagen 6. Cargador para vehículo eléctrico



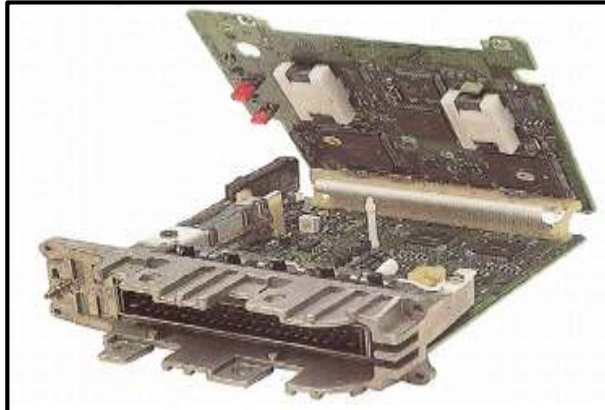
Fuente: EMPRESA NACIONAL DE ELECTRICIDAD SOCIEDAD ANÓNIMA. [sitio web]. España: Endesa, producto de luz. [consulta 22 diciembre 2018]. Disponible en: <https://www.endesa.com/es>

1.1.10 Controlador electrónico. Este es un elemento fundamental del sistema, ya que éste determina la cantidad de energía que debe recibir el motor eléctrico de las baterías y viceversa (cuando el generador recarga las baterías) en función de diversos parámetros, como la posición del pedal de acelerador. Es el elemento intermedio entre las baterías y el motor eléctrico. Sería la ECU del vehículo eléctrico.¹⁷

¹⁶ TIPOS DE BATERÍAS. Funcionamiento y características de las baterías. [En línea]. [consultado el 22 de diciembre de 2018]. Disponible en: <https://www.tiposde.org/cotidianos/420-tipos-de-baterias>.

¹⁷ EVE. Componentes de un vehículo eléctrico. [En línea]. [consultado el 22 de diciembre de 2018]. Disponible en: <http://www.eve.es/Proyectos-energeticos/Proyectos-en-desarrollo/Vehiculo-electrico/Componentes-principales-de-un-vehiculo-electrico.aspx>.

Imagen 7. Controlador electrónico



AFICIONADOS A LA MECANICA. [sitio web].
España: Aficionados a la mecánica, coche eléctrico.
[consulta: 23 diciembre 2018]. Disponible en:
http://www.aficionadosalamecanica.com/coche-electrico_bateria.htm

1.1.11 Conversor DC/AC. Varía el voltaje de alta tensión a otro de baja tensión para la batería de 12V (similar a las que montan los vehículos convencionales) que se usa para los elementos auxiliares del vehículo.¹⁸

Imagen 8. Conversor DC/AC



Fuente: DIRECTINDUSTRY. [sitio web].
España: directindustry, catalogos. [consulta 22
diciembre 2018]. Disponible en:
<https://www.directindustry.es/>

1.1.12 Inverter / convertidor. Convierte la corriente continua de las baterías en alterna para hacer funcionar el motor, y la corriente alterna del generador en continua para que pueda ser almacenada en las baterías. Debe de ir refrigerado, normalmente con agua.¹⁸

¹⁸ CORRIENTE ELECTRICA. Partes de un motor eléctrico. [En línea]. [consultado el 22 de diciembre de 2018]. Disponible en: <https://corrienteelectronica.renault.es/partes-motor-electrico>.

Imagen 9. Convertidor

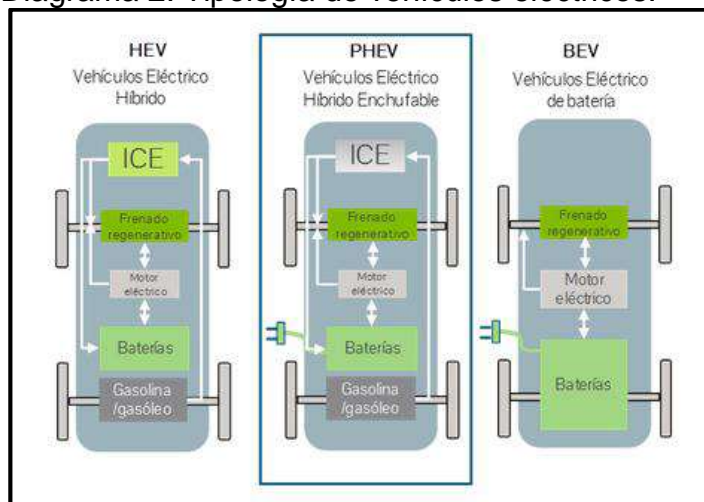


Fuente: ELECTRICALINDUSTRY. [sitio web]. Estados unidos: electricalindustry, products. [consulta: 22 diciembre 2018] disponible en: <https://www.electricalindustry.com>

1.1.13 Tipos de vehículos eléctricos. Por orden cronológico de dicha evolución tecnológica, éstos se pueden clasificar en cuatro (4) grupos:

- Vehículo eléctrico.
- Vehículo híbrido eléctrico enchufable o PLUG IN.
- Vehículo eléctrico de batería.
- Vehículo eléctrico de autonomía extendida.

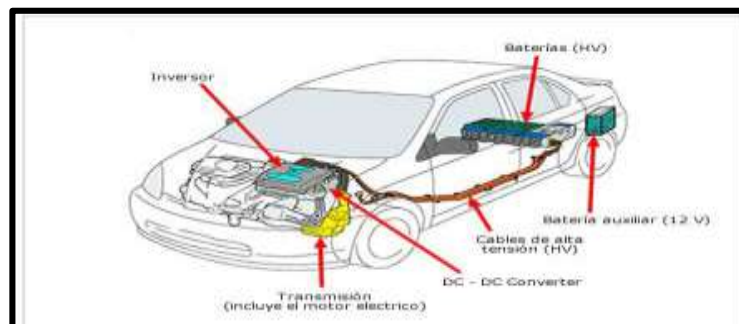
Diagrama 2. Tipología de vehículos eléctricos.



Fuente: ENERGIA Y SOCIEDAD. [sitio web]. Madrid: energía y sociedad, manual de la energía vehículo eléctrico. [consulta 22 diciembre 2018]. Disponible en: www.adena.com

1.1.13.5 Vehículo eléctrico. Combina el motor de combustión interna de un vehículo convencional con la batería y el motor eléctrico de un vehículo eléctrico. La combinación ofrece bajas emisiones con la potencia, alcance y conveniente abastecimiento de combustible de los vehículos convencionales. Para adquirir la energía que se almacena en la batería, motor está conectado a una unidad que proporciona potencia variable a las ruedas, dando mayor eficiencia operativa, el vehículo se carga durante el frenado. La energía eléctrica para el motor se genera a partir de frenado regenerativo y el motor de gasolina. Las ruedas están accionadas conjuntamente por el motor eléctrico y por el motor de gasolina.¹⁹

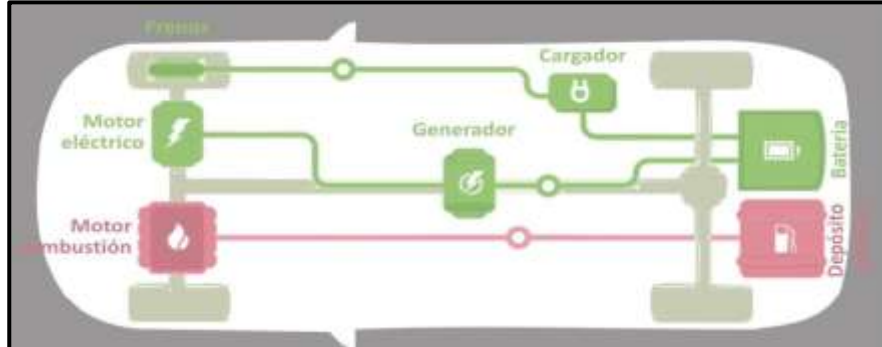
Diagrama 3. Esquema de un vehículo híbrido eléctrico.



Fuente: ENERGY EFFICIENCY AND RENEWABLE ENERGY. [sitio web]. Estados Unidos: Alternative Fuels & Advanced Vehicles Data Center. [consulta: 22 diciembre 2018]. Disponible en: <https://afdc.energy.gov/>

1.1.13.6 Vehículo híbrido eléctrico enchufable o plug in. Además de la generación de electricidad con el frenado tienen baterías que se cargan mediante la conexión a la red. Similar a los HEVs, usan el motor de gasolina como fuente principal de potencia y el motor eléctrico; sin embargo, las baterías recargables mediante conexión son más grandes. Cuando se arranca el vehículo, la batería proporciona energía a todos los accesorios; sólo si está descargada o la energía almacenada no es suficiente, el motor de gasolina se enciende. Si se necesita mayor potencia o en conducción bajo mayor velocidad y aceleración ambos motores funcionan conjuntamente. Pueden conducirse por unas 40 millas usando solo el motor eléctrico cuando se conduce en baja velocidad y aceleración, y cuando esta energía se agota pueden seguirse conduciendo con el motor de gasolina, que, de manera similar a los vehículos híbridos, aunque en poca medida, recarga las baterías mientras se conduce y se frena. Luego se puede obtener una carga completa mediante la conexión a la red eléctrica. Estos vehículos tienen mayor eficiencia de combustible, alcanzando el doble de economía en el combustible pues la electricidad es más barata que los combustibles fósiles.¹⁹

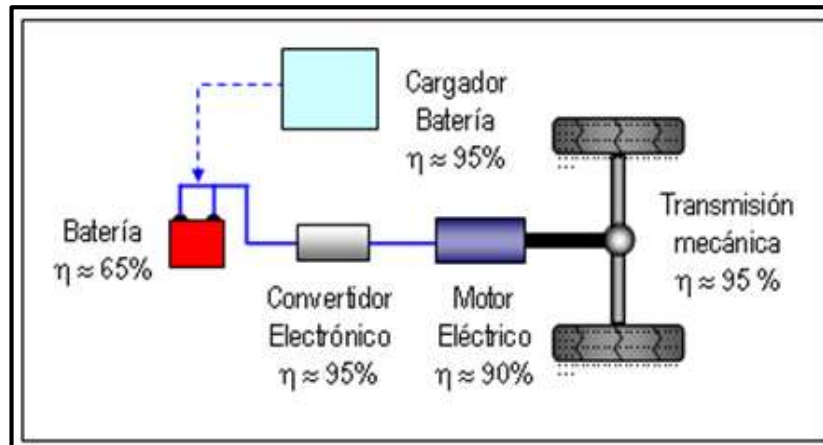
Diagrama 4. Esquema de un vehículo híbrido plugin (PHEV).



Fuente: COCHES.COM. [sitio web]. España: Coches.com, noticias. [consulta 22 diciembre 2018]. Disponible en: <https://noticias.coches.com>

1.1.13.7 Vehículo eléctrico de batería. Los vehículos puramente eléctricos (EV), utilizan la energía eléctrica para mover el motor del vehículo, la energía es almacenada en baterías u otro dispositivo, que son recargados mediante conexión a la red eléctrica a 110V o 240V o incluso a 480V. Son vehículos que requieren menos mantenimiento que los vehículos convencionales pues no requieren cambio de aceite o control de gases, solo requieren el reemplazo de la batería de acuerdo con su tiempo útil. No emiten gases, contribuyendo a aliviar el problema del calentamiento global, aunque la forma en que se genera la electricidad puede generar gases efecto invernadero.¹⁹

Diagrama 5. Esquema de un vehículo eléctrico de batería.



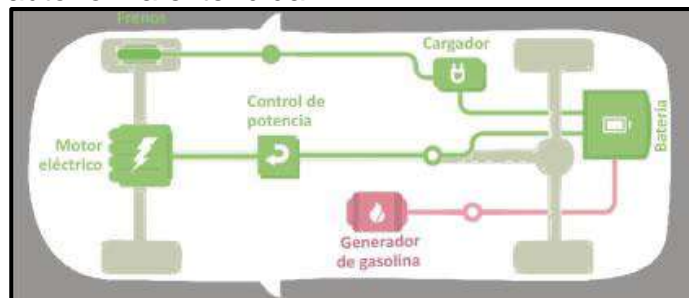
Fuente: HYBRID CARS. [sitio web]. Estados Unidos: Hybrid car, shop by technology. [consulta: 22 diciembre 2018]. Disponible en: HybridCars.com

¹⁹ ENDESA. Vehículos eléctricos. [En línea]. [consultado el 22 de diciembre de 2018]. Disponible en: <http://www.endsavehiculoelectrico.com/vehiculo-electrico/el-vehiculo/tipos>.

El principal obstáculo para el desarrollo de estos vehículos ha sido la batería, por el largo tiempo de recarga, el peso, la corta vida útil (3 a 4 años) y la baja autonomía, además los rendimientos de escala que sólo mejoran si se aumenta el número de usuarios.

1.1.13.8 Vehículo eléctrico de autonomía extendida. Tiene las mismas características que el vehículo eléctrico de batería, pero lleva además otra fuente secundaria. Una que funciona como un generador interno para recargar las baterías, lo que permite aumentar la autonomía del vehículo. Se trata de un pequeño motor auxiliar de combustión que recarga las baterías en el caso de que éstas se agoten y no se tenga donde recargarlas. Nada más. El motor de combustión no mueve el vehículo, sólo genera energía para recargar las baterías y así contar con una mayor autonomía para el motor eléctrico. Según los modelos, la anterior autonomía entre 80 y 200 Km se puede alargar con el motor de combustión, cargando las baterías, por encima de los 600 Km.¹⁹

Diagrama 6. Esquema de un vehículo eléctrico de autonomía extendida.



fuente: COCHES.COM. [sitio web]. España: Coches.com, noticias. [consulta 22 diciembre 2018]. Disponible en: <https://noticias coches.com>

1.1.14 Infraestructura de recarga. Como cualquier sistema de transporte, el vehículo eléctrico requiere de la existencia de una infraestructura que le permita tener acceso a la fuente de energía que alimenta su motor, en este caso, la electricidad. Uno de los principales retos del vehículo eléctrico es crear una infraestructura de recarga fiable, accesible y cómoda para el ciudadano. En la actualidad hay varios tipos de recarga; desde los lentos, idóneos para recargar en casa, hasta los más rápidos, capaces de completar la carga en diez minutos:²⁰

1.1.14.5 Carga lenta. Es la más estandarizada y todos los fabricantes de vehículos eléctricos la aceptan. Se suele realizar con corriente alterna monofásica a una tensión de 230 voltios (V) y una intensidad de hasta 16 amperios (A). El tiempo necesario para una recarga completa de la batería (tipo 24kWh) ronda entre las 6 y 8 horas. Es apto para garajes privados, ya que es la misma tensión y corriente que la doméstica.²⁰

1.1.14.6 Carga semi – rápida. Sólo la aceptan algunos vehículos, aunque es previsible que en fechas próximas sea un tipo de recarga bastante común. La carga se realiza con corriente alterna trifásica, con una tensión de 400V y una intensidad de hasta 64A. En este caso, el tiempo de recarga se reduce a 3 ó 4 horas.²⁰

1.1.14.7 Carga rápida. Concebida a más largo plazo por sus mayores complicaciones. Algunos fabricantes ya la admiten. Consiste en alimentar al vehículo con corriente continua a 400V y hasta 400A. El tiempo de recarga se reduce a unos 15 - 30 minutos.²⁰

1.1.15 Ventajas de los motores eléctricos ²¹

- Un motor eléctrico no quema combustibles durante su uso, por lo que no emite gases a la atmósfera.
- Un motor eléctrico producido en serie es más compacto, más barato y mucho más simple que un motor de combustión interna. No necesita circuito de refrigeración, ni aceite, ni demasiado mantenimiento.
- Funciona a pleno rendimiento sin necesidad de variar su temperatura. Al no tener elementos oscilantes, no necesita volantes de inercia ni sujeciones espaciales que lo aíslen del resto del vehículo. Al generar poco calor y no sufrir vibraciones su duración puede ser muy elevada.
- Un motor eléctrico no necesita cambio de marchas, exceptuando un mecanismo para distinguir avance o retroceso, que bien puede ser la inversión de polaridad del propio motor.
- Una vez que se elimina la caja de cambios y la refrigeración, se abre la posibilidad de descentralizar la generación de movimiento, situando un pequeño motor en cada rueda en lugar de uno “central” acoplado a una transmisión. Lo que puede suponer una nueva distribución del espacio del vehículo.
- En cuanto a la eficiencia del motor eléctrico, ésta se sitúa alrededor del 90%. Por limitaciones termodinámicas un motor Diésel se situaría en eficiencias de hasta un 40%, siendo este superior a la eficiencia de un motor de gasolina.
- Resulta sencillo recuperar la energía de las frenadas (o parte de ella) para recargar las baterías, porque un motor eléctrico puede ser también un generador eléctrico.
- Otra gran ventaja del vehículo eléctrico es su proceso reversible. Esto quiere decir que de igual manera que carga su batería a través de la red eléctrica, el vehículo puede aportar también energía a la red eléctrica, de manera reversible. Este hecho se conoce como “VEHICLE 2 GRID”.
- Prácticamente no hace ruido al funcionar y sus vibraciones son imperceptibles.

1.1.16 Desventajas de los motores eléctricos ²¹

- La principal desventaja y la más importante es la autonomía que tiene el vehículo eléctrico sin conectarlo a la red. El hecho de que a los 100 o 120 kilómetros de

viaje se tenga que recargar las baterías limita mucho a los usuarios. En cambio, con los motores de combustión el tiempo entre repostaje y repostaje es mucho más elevado. Aun así, las marcas de vehículos trabajan para aumentar la autonomía de sus modelos y cada vez nos encontramos modelos con más autonomía.

- Otro inconveniente relacionado con la autonomía del vehículo es el tiempo de repostaje, ya que se requieren de horas para realizar una carga completa.
- La necesidad de carga de los vehículos eléctricos hace que exista más demanda de electricidad proveniente de micro generadores o centrales eléctricas. A más demanda, más generación y más consumo de los recursos naturales.
- Alto precio de las baterías: los coches electrónicos han tenido un precio bastante alto en estos últimos años, aunque últimamente se está rebajando bastante, sobre todo gracias al sistema de alquiler de baterías, en lugar de comprarlas con el propio coche. La batería es uno de los elementos fundamentales del vehículo eléctrico, y su precio es bastante alto, teniendo en cuenta que su vida útil no supera los 7 años en el mejor de los casos. Por eso, algunas marcas como Renault han decidido abaratar el precio del coche y venderlo “sin” batería, o, mejor dicho, con la batería alquilada por el cliente a cambio de una cuota mensual. Esto permitirá que el comprador tenga siempre una batería en perfecto estado, aún dentro de 10 años.
- Contaminación inicial: Aunque es cierto que el coche eléctrico en sí no genera emisiones nocivas al medioambiente, también es verdad que la energía eléctrica debe obtenerse de alguna forma, y que al “fabricarla” sí que se genera contaminación.
- ¿Y si falla o se estropea?: El coche eléctrico es tan susceptible de fallar o estropearse como el tradicional. La diferencia es que si queremos arreglar nuestro coche de toda la vida podemos acudir a alguno de los muchos talleres que seguramente haya cerca de nuestra casa. Sin embargo, no es tan sencillo encontrar talleres para estos coches eléctricos, ya que, al no estar tan implementados como los coches tradicionales, los talleres prefieren dedicarse a estos.

1.2 VIABILIDAD Y EVOLUCION PREVISIBLE

Durante la década de los años 70, los vehículos eléctricos se caracterizaban por conseguir una independencia de productos derivados del petróleo, materia prima la cual en algunos países era escasa su producción y cuyas reservas exportables se encontraban en países políticamente inestables. Más recientemente la preocupación, que es cada vez más grande, por la contaminación atmosférica y los efectos nocivos para la salud, sobre todo en ámbitos urbanos lo que ha vuelto a despertar el interés en este tipo de vehículos como opción para reducir las emisiones de CO₂ del sector de transporte. El uso de estos vehículos puede ayudar al logro de los dos grandes objetivos de la sociedad actual:²²

- Disminuir el consumo de combustibles fósiles.
- Bajar de manera notable la emisión de gases efecto invernadero.

Sin embargo, no todo son ventajas a favor de este tipo de vehículos, sus principales desventajas al usar uno de estos, que más se destacan, es la limitada autonomía que ofrecen y la falta de infraestructura específica, sobre todo de recarga.²²

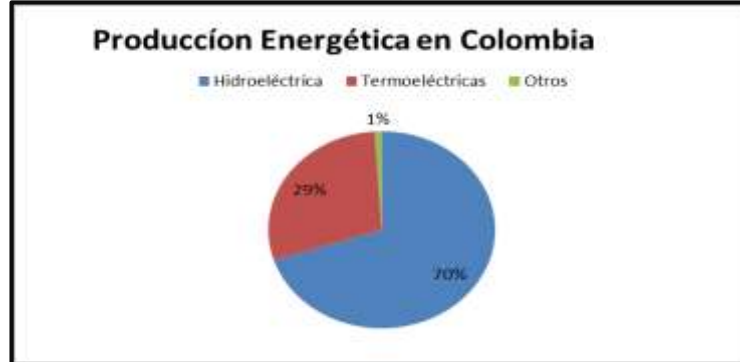
Se debe pensar, eso sí, en el vehículo eléctrico como una opción de futuro, a largo plazo. Por esta razón, se encuentran en pleno desarrollo nuevas soluciones aplicables a vehículos de uso masivo y que actúen como “puente” hasta la consolidación del vehículo eléctrico en el parque automovilístico. Esto supone una pequeña parte del total de automóviles existentes, debido a lo cual no puede esperarse un cambio radical de las condiciones medioambientales y energéticas.²²

1.3 SITUACION ENERGETICA ACTUAL

La actividad energética ha sido objetos de profundas transformaciones con respecto de la estructura institucional y la regulación, en el marco de una nueva relación entre el estado y el mercado, que da un protagonismo muy importante al sector privado. Se observan avances y retrocesos en los procesos de implantación de las nuevas reglas en los distintos subsectores. Sin embargo, aspectos importantes de la responsabilidad del Estado, en lo que tiene que ver con el acceso a los servicios públicos, las tarifas y la provisión en zonas apartadas o desconectadas están lejos de haber sido resueltos.²³

En estos días, los cambios en las políticas guiadas a reducir el consumo de energía pueden ser la clave para aumentar la competitividad de las empresas. La forma en que la producción energética nacional está establecida resulta fundamental en el marco del cambio climático que atraviesa el país. El fenómeno de El Niño que solía mostrarse cada 3 años, ahora se está presentando prácticamente de manera anual. Esto representa un riesgo importante para la generación actual de electricidad. El país cuenta con una producción a 2015 de 15 500 MW (Megavatios) y se espera que para 2019 se haya ampliado hasta 18 000 MW.²³

Gráfico 2. Producción energética en Colombia.



Fuente: Dinero. [sitio web]. Colombia: Dinero, ¿Qué tan competitiva es la energía colombiana? [consulta: 21 diciembre 2018.] Disponible en: <https://www.dinero.com/economia/articulo/analisis-produccion-energetica-del-pais-su-competitividad/211733>

Esta energía en la actualidad es producida de la siguiente manera: 70% de la generación de energía eléctrica en Colombia se hace a partir del agua, a través de las hidroeléctricas. El 29% de la producción, se genera gracias al gas natural por medio de las plantas termoeléctricas y el 1% restante a partir de otras fuentes (carbón, energía eólica, etc.). El país cuenta con 23 hidroeléctricas, (cinco de ellas en construcción), 11 termoeléctricas (una en construcción) y un parque eólico.²³ Según Ángela Montoya Holguín, presidenta ejecutiva de la Asociación Colombiana de Generadores de Energía Eléctrica (Acolgen) “a pesar de que Colombia es un país con una alta dependencia hidroeléctrica tiene niveles de confiabilidad energética del 99,9%” es decir, gracias a la canasta mixta de producción energética, cuando los niveles de los embalses o de lluvia son críticos, es prácticamente imposible que se produzcan apagones o racionamientos.²⁴

1.4 VEHÍCULOS ELECTRICOS EN LA ACTUALIDAD

Los vehículos eléctricos están comenzando a ganar peso en la industria del automóvil, dada sus claras ventajas frente a los vehículos de combustible tradicionales en cuanto a ahorro en consumo, respeto al medio ambiente, y otro tipo de razones. A pesar de esto, el sector de los vehículos eléctricos todavía no es lo suficientemente importante. En parte es porque los gobiernos y las propias marcas no se han centrado en vender lo suficiente el producto para que el comprador quiera adquirirlo. Sin embargo, esta tecnología pretende cambiar el sistema de transporte tanto público como privado por medio del concepto de movilidad sostenible.²⁵

1.5 VEHÍCULOS ELECTRICOS EN EL MUNDO

Los vehículos eléctricos están comenzando a ganar peso en la industria del automóvil, dada sus claras ventajas frente a los vehículos de combustible tradicionales en cuanto a ahorro en consumo, respeto al medio ambiente, y otro tipo de razones. A pesar de esto, el sector de los vehículos eléctricos todavía no es lo suficientemente importante. En parte es porque los gobiernos y las propias marcas no se han centrado en vender lo suficiente el producto para que el comprador quiera adquirirlo. Sin embargo, esta tecnología pretende cambiar el sistema de transporte tanto público como privado por medio del concepto de movilidad sostenible, alrededor del cual existe una amplia gama de conceptos que deben tenerse en cuenta.²⁶

1.5.5 Toyota Prius (1997). El Toyota Prius es un automóvil híbrido gasolina-eléctrico del segmento C que se ha convertido en el más visible representante de los vehículos híbridos. El Prius fue lanzado en el mercado japonés en 1997 y fue el primer vehículo híbrido producido en serie. En 2000 fue lanzado en otros mercados a nivel mundial.²⁷

Imagen 10. Toyota Prius 1997.



Fuente: PAKWHEELS. [sitio web]. Pakistan: pak Wheel, cars. [consulta 20 diciembre 2018]. Disponible en: <https://www.pakwheels.com/new-cars/toyota/prius/g-1-5/1997-2003/>

Motor Eléctrico

- Fabricante: Toyota Motor Corporación;
- Tipo: Corriente continua de imán permanente;
- Tensión nominal: 500 V;
- Potencia máxima: 82 CV (61 kW);
- Par motor máximo: 400 Nm entre 0 y 1200 rpm;
- Peso: 104 kg.

Grupo de baterías

- Tipo: Batería de níquel e hidruro metálico;
- Tensión nominal: 201,6 v;
- Número de módulos: 28;
- Capacidad (Ah): 6,5 (3 h);
- Peso: 39 kg.

Transmisión

- Tracción: delantera;
- Tipo de transmisión: controlada eléctricamente, continuamente variable (E-CVT).

Rendimiento

- Velocidad máxima: 180 km/h (170 en versiones anteriores);
- 0 a 100 km/h: 10,4 s (10,9 en versiones anteriores);
- Coeficiente aerodinámico Cx: 0,25;
- Potencia conjunta: 136 CV desde 85 km/h (115 CV en versión 2G);
- Par máximo total: 478 Nm hasta 22 km/h;
- Par Motor eléctrico: 400Nm (207Nm en versión 2G)

Consumo de combustible:

- Combinado: 3,9 L/100 km;
- Carretera: 3,7 l/100 km;
- Ciudad: 3,9 l/100 km
- Capacidad del depósito de combustible 45l

Emisiones de CO₂:

- Combinado: 89 g/km;
- Carretera: 86 g/km (versiones anteriores 99 g/km);
- Ciudad: 90 g/km (versiones anteriores) 115 g/km.

²⁵. ELECTROMAPS. Actualidad: Vehículos eléctricos. [En línea]. [consultado el 12 de diciembre de 2018]. Disponible en: (<http://www.electromaps.com/hibridos-enchufables>).

²⁶. Actualidad: Vehículos eléctricos. [En línea]. [consultado el 12 de diciembre de 2018]. Disponible en: <http://www.electromaps.com/hibridos-enchufables>

1.5.6 Tesla Roadster (2005). El motor del Roadster tiene una eficiencia del 90% de media y el 80 % en potencia pico. Esto no considera la eficiencia de la fuente de la electricidad, sólo la eficiencia con la que el Roadster utiliza la energía. Por comparación, los motores de combustión interna tienen una eficiencia de alrededor del 20%. En junio de 2006, Tesla Motors informó una eficiencia de 110 Wh/km en un ciclo de conducción sin especificar y declaró una eficiencia de carga de 86%. Esto se traduce en una eficiencia de tomacorriente a rueda de 128 Wh/km. En marzo de 2007, durante las pruebas de validación de un prototipo en la EPA de ciclo combinado, Tesla Motors hizo una serie de 356 km utilizando 149 Wh/km. En febrero de 2008, Tesla Motors informó sobre una mejora de eficiencia después de las pruebas de validación de un prototipo de automóvil, para certificarlo por la EPA.²⁷

Imagen 11. Tesla Roadster 2005.



Fuente: CARFOLIO. [sitio web]. Estados Unidos. carfolio,tesla roster . [consulta: 22 diciembre 2018]. Disponible en: <https://www.carfolio.com/specifications/models/car/?car=143671>

Motor

- Tipo: motor eléctrico de 3 fases y 4 polos;
- Potencia neta máxima: 248 CV (185 kW);
- Max RPM: 14 000;
- Par máximo, 200 lbf ft (270 Nm) se realiza desde 0-6000 rpm;
- Eficiencia: 90% promedio, el 80% en potencia pico.

²³ DINERO. Análisis de producción energética en Colombia. [En línea]. [Consultado el 20 de diciembre del 2018]. Disponible en: <https://www.dinero.com/economia/articulo/analisis-produccion-energetica-del-pais-su-competitividad/211733>

²⁴ IE NOTICIAS. ¿Qué tan competitiva es la energía colombiana? [En línea]. [Consultado el 20 de diciembre del 2018]. Disponible en: www.ie.com.co/NOTICIAS/notPRU.php?idnoticias=12432.

Transmisión

- Caja de cambios Magna de dos velocidades accionada eléctricamente (sin pedal de embrague) con secuencial manual;
- A partir de septiembre de 2008, todos con caja de cambios BorgWarner de una sola marcha fija de relación (8.2752:1) con bomba de lubricación mecánica y freno para aparcamiento accionado eléctricamente.²⁷

Prestaciones

- Aceleración: de 0 a 100 km/h en 3,9 segundos. Algunos prototipos y Roadsters de producción inicial de 2008 se limitaron a 5,7 segundos de aceleración de 0 a 100 km/h;
- Velocidad máxima: limitada electrónicamente a 201 km/h
- Autonomía: 360 km de ciclo combinado (carretera y ciudad);
- Peso y distribución: alrededor de 1220 kg, centrada en la parte delantera del eje trasero;²⁷

1.5.7 Citroën c-zero. Es un vehículo 100% eléctrico de baterías; Tiene un motor síncrono de imanes permanentes de 49 kW de potencia pico (casi 67 CV) y 180 Nm de par motor; Su aceleración de 0 a 100 km/h es de 15,9 s y puede alcanzar una velocidad máxima de 130 km/h; Los frenos son de disco delantero y de tambor, equipado de serie ABS, con distribución electrónica de la fuerza de frenado; El cambio es “automático”, con una marcha hacia delante y la marcha hacia atrás (reversa). Tiene tres modos de funcionamiento Eco (para tener más autonomía), Normal y Retención (para cuando se baja un puerto). En las deceleraciones se recargan algo las baterías; Las baterías son de iones de litio, van colocadas bajo el piso del habitáculo para no restar espacio. Tienen 16 Kw de capacidad y le permiten tener una autonomía (NEDC) de unos 150 km. No es mucha, pero es que el paquete de baterías es más bien pequeño. Según Mitsubishi el consumo es de 135 Wh/km; Admiten dos tipos de recarga, la normal (lenta) requiere unas seis horas en una toma de corriente convencional de 230 V y 16 A; la rápida permite recargar el 80% de las baterías en unos 30 minutos (o el 50%, o sea autonomía para unos 75 km, en 15 minutos) en una toma trifásica de 400 V y 32 A. Hay dos tomas de enchufe separado, una a cada lado de la carrocería.²⁸

²⁵. ELECTROMAPS. Actualidad: Vehículos eléctricos. [En línea]. [consultado el 12 de diciembre de 2018]. Disponible en: (<http://www.electromaps.com/hibridos-enchufables>).

²⁶. Actualidad: Vehículos eléctricos. [En línea]. [consultado el 12 de diciembre de 2018]. Disponible en: <http://www.electromaps.com/hibridos-enchufables>

Imagen 12. Citroën C-Zero.



Fuente: CITROËN. [sitio web]. Paris: Citroën, vehículos. [consulta: 12 diciembre 2018]. Disponible en: <https://www.citroen.es/vehiculos/vehiculos-electricos/c-zero.html>

1.6 VEHÍCULOS ELECTRICOS EN COLOMBIA

El desarrollo de propuestas “verdes”, vehículos que cada vez sean más amigables con el medio ambiente, es una tendencia que en los diferentes salones automotrices mundiales se ven con frecuencia. El Salón de Bogotá, entró en esa tendencia en la que a lo largo de los pabellones se observan vehículos, bien con motores de combustión y atmosféricos más eficientes, o apuntando a los combustibles alternativos.²⁹

En Colombia los primeros vehículos eléctricos en llegar al país fueron gracias BYD autos – PracoDidacol con la llegada de los taxis eléctricos e6, que entraron a operar partir del año 2012 en la ciudad de Bogotá, los cuales fueron 50 vehículos especiales que no necesitan combustibles fósiles sino energía, esto surge como un proyecto piloto y entra a operar durante 10 años, esto se le llama una matrícula temporal por 10 años, al finalizar se esperar obtener la suficiente información para que la alcaldía pueda hacer una planeación estratégica de qué hacer con la movilidad eléctrica en Bogotá.²⁹

²⁷. Guía del vehículo eléctrico. [En línea]. [consultado el 12 de diciembre de 2018]. Disponible en: <http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Guia-del-Vehiculo-Elctrico-Il-fenercom-2015.pdf>

²⁸. Vehículo eléctrico: CITROËN C-ZÉRO. [En línea]. [consultado el 12 de diciembre de 2018]. Disponible en: <http://www.electromaps.com/coches-electricos/citroen/c-zero>

²⁹. El universal. Primeros taxis eléctricos en Colombia. [En línea]. [consultado el 12 de diciembre de 2018]. Disponible en: <http://www.eluniversal.com.co/economica/empiezan-llegar-colombia-los-primeros-taxis-electricos-133263-GQEU221465>

1.6.1 BYD e6. La Alcaldía Mayor de Bogotá en cabeza de su máximo dirigente Gustavo Petro, presentó oficialmente los primeros vehículos eléctricos que estarán rodando por la capital colombiana. Con un ajuste de cero aranceles, inicialmente se importaron 50 de estos, 43 de la marca china BYD y los 7 restantes marca Geely, los cuales no pagaron cupo de servicio público y gozarán del beneficio de no tener pico y placa. El vehículo líder de esta iniciativa es el BYD e6. Se trata de una fusión entre la sensación de manejo de un sedán y las generosas prestaciones de una SUV. Llama la atención por su elegante diseño, avanzada tecnología y abundante espacio. Cuenta con un motor eléctrico de 90kw (120HP) de cero emisiones contaminantes, que genera un sorprendente torque de 450 Nm, disponible en todo el régimen de revoluciones, incluso en cuestas bastante pronunciadas.³⁰

Imagen 13. BYD e6.



Fuente: TOPTEN. [sitio web]. España: Topten, eléctrico byd. [consulta: 22 diciembre 2018]. Disponible en: <https://top-ten.cl/vehiculos/view?id=404>

Ficha Técnica

- Motor eléctrico AC Synchronous (sin escobillas), 90kw - 120 caballos de potencia, torque de 450 Nm
- Batería de BYD hecha fosfato de hierro
- Frenos de disco regenerativos, pinzas delanteras doble pistón, pistones individuales traseros
- Dirección electrohidráulica EHPS variable para velocidades alta/bajas
- Radio mínimo de giro: 6m
- Longitud total: 4.560 mm
- Anchura total: 1.822 mm
- Altura total: 1.645 mm
- Distancia entre ejes: 2.830 mm
- Distancia mínima al suelo: 150 mm
- Peso bruto: 2.380 kg
- Capacidad de baúl: 450 litros
- Llantas: 235/65 R17
- De 0 a 60 Km/h en 7.69 segundos
- Velocidad máxima: 140 km/h³⁰

1.7 IMPACTO AMBIENTAL DE LOS VEHÍCULOS ELECTRICOS

En Bogotá uno de los principales puntos del plan de Gobierno del exalcalde Gustavo Petro fue la adaptación de la ciudad frente al cambio climático. Susana Muhammad, exsecretaria Distrital de Ambiente, explica que el 40% del material particulado que se produce en Bogotá –el contaminante que genera más enfermedades

respiratorias agudas— es producido por el transporte público, y el panorama es más preocupante si se tiene en cuenta que esos vehículos representan sólo 1,5% del total de carros que se movilizan en la ciudad. Sobre los cuestionamientos a los automóviles eléctricos, Muhammad sostiene que es necesario evaluar la realidad de cada país. “Por lo menos el 75% de nuestra energía es hidroeléctrica. El porcentaje de carbono en nuestra energía es de los más bajos del mundo.

Sería un desperdicio que no lo aprovecháramos”, asegura. Muhammad señala además que si se hace el análisis del ciclo de vida del carbono de estos autos (que va desde la extracción de los materiales para su fabricación, hasta la producción, el transporte al lugar donde va a funcionar y la operación del vehículo), el balance sería más que positivo. “El cambio tecnológico está justificado en las condiciones específicas de Bogotá”.³² Precisamente la fabricación y posterior reciclado de las baterías es uno de los aspectos más sensibles a la hora de analizar el impacto medioambiental de una implantación masiva de los vehículos eléctricos, y en eso pone el acento especialmente este estudio.³¹ El escenario de una próxima popularización de los vehículos eléctricos nos pone también ante la necesidad de un nuevo patrón por el que medir las emisiones contaminantes producidas por el transporte teniendo en cuenta sus ciclos de vida. En este caso, se trata de pasar de medir la contaminación en Kg de CO₂ emitidos, para tener en cuenta la proyección de partículas de metales altamente tóxicos a la atmósfera, y de amenazas concretas como la acidificación de las tierras o la contaminación de acuíferos. La incorporación de minerales como el Litio, Níquel o Cobre a la fabricación del vehículo eléctrico y sus componentes hacen que tales amenazas sobre los acuíferos y las tierras se multipliquen. Según afirma el estudio, las emisiones tóxicas del proceso de fabricación de los eléctricos se incrementan respecto a los motores de combustión interna entre un 180% y un 290% en función del tipo de batería con que se fabrique el eléctrico. Otros indicadores, como los de la emisión de metales se multiplican por tres respecto a las producidas en el proceso de fabricación de los vehículos de combustión interna. En cambio, las emisiones y amenazas del proceso de destrucción y reciclaje apenas resultan destacadas dentro del análisis global de la eficiencia y emisiones de ciclo de vida de los vehículos. La energía empleada para fabricar masivamente los vehículos eléctricos y los materiales necesarios para producir las baterías, pueden contribuir hasta el doble en el calentamiento global en comparación con los carros convencionales. Pero una única conclusión sería imprecisa, porque la misma investigación plantea que los resultados varían dependiendo del país y la manera en que cada uno genera su energía.

En China, por ejemplo, donde dos tercios de la energía eléctrica se producen a base de carbón —que es la forma más contaminante—, las ventajas de los autos eléctricos son radicalmente más bajas que un país como Noruega, la sexta productora de energía hidroeléctrica del mundo “una de las más limpias”. ¡Este estudio encontró que en el país asiático los autos eléctricos eran “mucho más contaminantes” que

los convencionales; en la nación europea los eléctricos presentaron un menor impacto ambiental que aquellos que funcionan con gasolina.³²

Un aspecto fundamental de cara a evaluar el valor ecológico de los vehículos eléctricos radica en el origen de la electricidad que consume. No será una solución realmente ecológica si la electricidad que usan los vehículos se obtiene de centrales que queman combustibles fósiles tales como el carbón, el petróleo o el gas. En ese caso lo que se estaría haciendo es trasladar las emisiones de CO₂ y de otros contaminantes de las ciudades y carreteras a las centrales de producción eléctrica. Hay que admitir que este panorama presenta alguna ventaja como la de que se trataría de un foco de contaminación localizada frente a la dispersión de los millones de tubos de escapes de los vehículos. Esta concentración permitiría algunos tratamientos como la aplicación de los sistemas de secuestro de carbono, sin embargo, no sería una auténtica solución al problema. Si por el contrario el origen de la electricidad es renovable (Ya sea solar, eólica, hidráulica de preferencia mini hidráulica, bioenergía etc.) entonces si se pudiese hablar de vehículos realmente ecológicos.³²

En Colombia hay 71 vehículos por cada 1000 habitantes³³.

Desde la invención de la máquina de vapor y todo el desarrollo que impulso para la vida del ser humano, uno de ellos el transporte, lo cual ha ligado fuertemente al uso de motores de combustión interna que utilizan el potencial energético de los combustibles fósiles, este último por ser un recurso no renovable, altamente contaminante y costoso, está en un punto en el tiempo en que es necesario buscar una forma de sustituirlo.³⁴

Datos relacionados:

- En el año 2011 el consumo nacional de petróleo crudo para múltiples usos fue 300 mil barriles/día.³⁴
- En Colombia el porcentaje de consumo dedicado al sector vial es el 22% del total.³⁵
- Las importaciones colombianas de petróleo (crudo y derivados) en el 2009 para distintos usos fue de más 5 mil barriles/día.³⁶
- El consumo de gasolina para motor a nivel nacional en el año 2010 fue más de 56 mil barriles/día.³⁷
- El precio promedio mensual del petróleo crudo en la bolsa es un poco más de 100 US\$/barril.³⁸

1.7.5 Gases de combustión. ¿Qué pasa dentro de la cámara de combustión de los vehículos al realizar el proceso de quema del combustible?

En este proceso se pueden encontrar varios compuestos, que se pueden clasificar en inofensivos y nocivos para la salud.³⁸

INOFENSIVOS:

- Nitrógeno.
- Oxígeno.
- CO₂.
- Hidrógeno.
- Vapor de agua.

NOCIVOS:

- Monóxido de carbono (CO).
- Hidrocarburos.
- Óxidos de nitrógeno.
- Plomo y compuestos de plomo (Pb).
- Dióxidos de azufre (SO₂).
- Hollín.

Se producen alrededor de 21.56 millones de toneladas métricas de CO₂ por año, los cuales son las principales causas del efecto invernadero y el calentamiento global, tan solo en Colombia en el año 2010. Esta cifra abarca todas las emisiones que producen todas las formas de transporte que funcionan mediante combustibles fósiles sin tomar en cuenta los aviones y la navegación de grandes buques.³⁸

Lo cual afecta a la calidad del aire, la contaminación ambiental y los problemas de salud.

³⁰. Autos F1 Latam. taxis eléctricos byd e6. [en línea]. [consultado el 12 de diciembre de 2018]. Disponible en: <http://www.f1latam.com/autos/noticias.php?idn=1600>

³¹. BBC. Riesgo ambiental. [En línea]. [consultado el 12 de diciembre de 2018]. Disponible en: https://www.bbc.com/mundo/noticias/2012/10/121005_autos_electricos_riesgo_ambiental_ar

³² MOTOR PASION FUTURO. Contaminación y movilidad. [En línea]. [consultado el 22 de diciembre de 2018]. Disponible en: (<http://www.motorpasionfuturo.com/coches-electricos/un-estudio-asegura-que-los-coches-electricos-son-mas-contaminantes-que-los-de-combustion>).

³³WORLD HEALTH ORGANIZATION. Directrices de la calidad de aire para partículas, ozono, nitrógeno y dióxido de azufre. [En línea]. [consultado el 22 de julio de 2019]. Disponible en: (https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69477/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf;jsessionid=596F98C029E20D07FE5B1111580A96DF?sequence=1)

1.7.6 Implicación de uso del vehículo a combustión.

1.7.6.5 Deterioro ambiental. La contaminación producida por los vehículos a combustión se divide a grandes rasgos en dos tipos: contaminación ambiental y la contaminación acústica, las cuales generan importantes alteraciones en el medio ambiente, afectando la flora, fauna e incluso generando efectos significativos a lo que se denomina cambio climático y efecto invernadero, impactando negativamente en la salud humana.

1.7.6.6 Contaminación ambiental en un vehículo a combustión. Una de las principales fuentes de contaminación atmosférica es la combustión, entendido como el proceso en el cual se genera una reacción de oxidación de los distintos elementos que componen el combustible y el oxígeno presente en el aire.

El proceso de combustión da como resultado diferentes tipos de residuos químicos dentro de los motores, en efecto, se forman compuestos perjudiciales para el ambiente y la salud. entre los agentes contaminantes que se encuentran en la combustión, cabe resaltar el monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx), y material particulado.

No obstante, otros agentes contaminantes que intervienen en el funcionamiento del vehículo son partícipes de la contaminación ambiental como: aceite, líquido refrigerante, embrague, entre otros; el derrame de estos productos conjunto con la precipitación de área de afectación y la escorrentía producida pueden llegar a contaminar las fuentes hídricas.

1.7.6.7 Contaminación acústica en un vehículo a combustión. Otro efecto del uso de motores a combustión es la generación de altos niveles de ruido, en muchas ocasiones resultan ser molestos y traen consigo consecuencias nefastas en el componente auditivo y en la integridad humana en general evidenciando efectos como:

- Afectación de la audición a largo plazo
- Causante de fatiga
- Hipoacusia
- Estrés y nerviosismo
- Insomnio

1.7.7 Implicaciones del uso del vehículo eléctrico.

1.7.7.5 Impacto ambiental. Actualmente el uso de vehículos eléctricos contribuye a la sostenibilidad del medio ambiente, puesto que este tipo de tecnología favorece la movilidad de las personas y al mismo tiempo aporta al medio ambiente y la mejora de la calidad del aire y de este modo a disminución de enfermedades respiratorias relacionadas con la contaminación atmosférica.

1.7.7.6 Reducción en la contaminación atmosférica. Con el uso de este tipo de tecnología se garantiza una importante reducción en la emisión de gases contaminantes generados diariamente por las fuentes móviles, los cuales son causantes de algunas enfermedades respiratorias producto del uso de combustibles fósiles.

Al hacer uso de los vehículos eléctricos se reduce las emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx), monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC), Material particulado, evitando el uso de sustancias altamente contaminantes como el aceite de motor, líquidos refrigerantes.

1.7.7.7 Reducción en la contaminación auditiva. Otro beneficio que trae el uso de los vehículos eléctricos es la eliminación del ruido producido por los motores o sistemas de escape de los vehículos a combustión, de esta forma en las vías con alto flujo vehicular la cantidad de decibeles producidos por los vehículos disminuirá considerablemente, favoreciendo a la mejora de calidad de vida de las personas.

1.7.7.8 Beneficios del uso de vehículos eléctricos. Al hacer uso de esta tecnología se está contribuyendo en gran parte con la reducción de la contaminación atmosférica producida por las fuentes móviles, siendo la más significativa en cuanto a la emisión de material particulado PM10 y PM 25, los de mayor impacto según Las recomendaciones y los valores límites diarios para la protección de la salud humana de la Organización Mundial de la Salud humana.⁴¹

Estos vehículos en cuestión de uso y movilidad resultan ser más beneficiosos que los convencionales debido a que no existe restricción de tránsito es decir no aplican en la medida del pico y placa, puesto que no emiten agentes contaminantes al medio ambiente; adicionalmente se espera que, con la reforma tributaria implementada por el gobierno en el año 2017, se permita la importación de vehículos eléctricos con una cuota arancelaria del 0% con el motivo de incentivar el uso de este tipo de tecnología.

Una ventaja específica que ofrece el uso de un vehículo eléctrico al usuario es un ahorro económico en el valor energético consumido, en lo que se refiere al estudio financiero de las variables económica en relación con el valor comercial de la

electricidad y el precio actual del combustible, simplificando dicha comparación a una alta rentabilidad a largo plazo para el usuario en termino de costos.

Tabla 3. Matriz ambiental norma 14001 Mini Cooper a combustión

| Mini Cooper R-56 combustión | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|---------------|--|------------------------------------|------------------------------------|--------------|------------|-------------|----------|-------|------------------|
| Entrada | Sistema | Salida | Aspecto Ambiental | Impacto ambiental | Probabilidad | Incidencia | Importancia | Magnitud | Total | Significancia |
| Gasolina | potencia | Energía, material particulado | Consumo de combustibles fósiles | Agotamiento de los recursos | 10 | 10 | 10 | 10 | 40 | Significativo |
| | | | Generación de emisiones | contaminación del aire | 10 | 10 | 10 | 10 | 40 | Significativo |
| Aceite | | Reducción de fricción, residuos peligrosos | Generación de residuos peligrosos | Contaminación del suelo y del agua | 6 | 4 | 8 | 6 | 24 | No Significativo |
| Refrigerante | Refrigeración | Bajar temperatura, generación de vapores, residuos peligrosos | Generación de vertimientos | daño en los ecosistemas | 6 | 6 | 8 | 6 | 26 | No Significativo |
| | | | generación de residuos peligrosos | contaminación del suelo y del agua | 10 | 8 | 10 | 8 | 36 | Significativo |
| Aceites lubricantes/ Grasas | Lubricación | Lubricación interna del motor, generación de residuos peligrosos | Generación de residuos peligrosos | Contaminación del agua, suelo. | 6 | 4 | 10 | 8 | 28 | No Significativo |
| | | | generación de material particulado | contaminación del aire | 8 | 10 | 10 | 10 | 38 | Significativo |

| significancia | No significativo | Significativo |
|---------------|------------------|---------------|
| 232 | >8, <29 | >30 |

Fuente: elaboración propia

Tabla 4. Matriz ambiental norma 14001 Mini Cooper eléctrico

| Mini cooper R-56 Eléctrico | | | | | | | | | | |
|----------------------------|-------------|-------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|--------------|------------|-------------|----------|-------|------------------|
| Entrada | Sistema | Salida | Aspecto Ambiental | Impacto ambiental | Probabilidad | Incidencia | Importancia | Magnitud | Total | Significancia |
| Energía eléctrica | Potencia | Movimiento | Consumo de energía renovable | Agotamiento de los recursos | 2 | 2 | 2 | 2 | 8 | No Significativo |
| | | | No produce emisiones | Contaminación del aire | 0 | 0 | 2 | 0 | 2 | No Significativo |
| | | Almacenamiento | Generación de residuos peligrosos | Contaminación del suelo y del agua | 10 | 10 | 10 | 10 | 40 | Significativo |
| Grasas | Lubricación | Lubricar partes móviles | Generación de residuos peligrosos | Contaminación del agua, suelo. | 6 | 4 | 10 | 8 | 28 | No Significativo |

| significancia | No significativo | Significativo |
|---------------|------------------|---------------|
| 78 | >8, <29 | >30 |

Fuente: elaboración propia

1.7.7.9 Desecho de baterías. El uso de un vehículo eléctrico implica el empleo de baterías y consigo una relación directamente proporcional con el desgaste de las mismas, sin embargo se establece como residuos peligrosos con el fin de mantener la trazabilidad adecuada de las baterías, debido al tipo de elementos químicos que las componen; puesto que resultan altamente contaminantes para el medio ambiente si no se realiza una adecuada gestión de este tipo de residuos, para ello muchos fabricantes de baterías han optado ofrecer pequeños descuentos a sus clientes si estos llevan sus baterías antiguas esto con el fin de evitar una incorrecta disposición de este tipo de elementos.

Tabla 5. Normativa ambiental colombiana

| NORMATIVIDAD AMBIENTAL |
|--|
| Resolución 2254 de 2017 por la cual se adopta la norma de calidad del aire ambiente y se dictan otras disposiciones. Decreto 948 de 1995 Decreto 1188 de 2003 – Aceites usados Resolución 601 de 2006 - Modificada por la Resolución 610 de 2010 - "Por la cual se establece la Norma de Calidad del Aire o Nivel de Inmisión, para todo el territorio nacional en condiciones de referencia". Resolución 610 de 2010 - Calidad del Aire Resolución 651 de 2010 - Creación del SISAIRE Resolución 2154 de 2010 - Ajuste Protocolo Calidad del Aire Decreto 4741 de 2005 – Desechos peligrosos |

Fuente: RED POR LA JUSTICIA AMBIENTAL DE COLOMBIA. [sitio web]. Colombia: Red por la justicia ambiental de Colombia, legislación ambiental. [consulta 20 enero 2019]. Disponible en: <https://justiciaambientalcolombia.org/herramientas-juridicas/legislacion-ambiental/>

1.8 AUTONOMÍA ACTUAL DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO

Con los datos anteriores se puede concluir que la autonomía de un vehículo depende de cada uno de los componentes anteriormente descritos, lo que significa que el consumo del vehículo varía en función del recorrido que este realiza y a la velocidad en la que se moviliza, por ejemplo, un tipo de batería superior a las convencionales da una mayor autonomía del vehículo, el factor más importante es poder recargar el vehículo durante el trayecto que está recorriendo, por lo cual surge este proyecto de grado ya que la infraestructura colombiana carece de estaciones de recarga para vehículos eléctricos.

Otro aspecto muy importante es el peso de las baterías y su relación con el peso total del vehículo, ya que a mayor peso se requiere mayor fuerza para poder mover el vehículo, lo que implica que las baterías se descarguen más rápido.

La autonomía también tiene una gran importancia en las competencias de automotores, ya que han surgido casos en los que el vehículo con menor potencia, pero con mayor capacidad de carga han sido campeones en este tipo de competencias.

1.9 DIAGNOSTICO COMPARATIVO

Tabla 6. Diagnóstico de la autonomía de los vehículos eléctricos.

| Vehículo | Tipo de vehículo | Motor | Batería | Potencia | Peso | Autonomía |
|-----------------------|------------------|-----------------------------------|--------------------------|----------|---------|-----------|
| Toyota Prius | Híbrido | Imanes permanentes, 1.5L gasolina | Níquel, hidruro metálico | 136 CV | 1450 kg | 712 km |
| Tesla Roadster | Eléctrico | Eléctrico de 3 fases y 4 polos | Ion de litio | 248 CV | 1235 kg | 360 km |
| BYD e6 | Eléctrico | Síncrono AC sin escobillas | Fosfato de hierro | 121 CV | 2380 kg | 302 km |
| Citroën C-Zero | Eléctrico | Síncrono de imanes permanentes | Ion de litio | 67 CV | 1195 kg | 150 km |

Fuente: elaboración propia

En la tabla 6 se pueden observar diferentes configuraciones de vehículos eléctricos en los que varían sus componentes buscando la mejor relación entre el peso y la potencia para lograr una mejor autonomía.

³⁴ INDEX MUNDI. Consumo de petróleo crudo en Colombia por año. [En línea]. [consultado el 22 de diciembre de 2018]. Disponible en: (<http://www.indexmundi.com/energy.aspx?country=co&product=oil&graph=consumption>).

³⁵ BANCO MUNDIAL. Indicadores. [En línea]. [consultado el 22 de diciembre de 2018]. Disponible en: (<http://datos.bancomundial.org/indicador/IS.ROD.ENG.Y.ZS/countries>).

³⁶ PORTAFOLIO. Importaciones de petróleo y sus derivados en Colombia por año. [En línea]. [consultado el 22 de diciembre de 2018]. Disponible en: (<http://www.portafolio.co/negocios/importaciones-petroleo-y-sus-derivados-siguen-aumento>).

³⁷ INDEX MUNDI. Consumo de gasolina y ACPM en Colombia. [En línea]. [consultado el 22 de diciembre de 2018]. Disponible en: (<http://www.indexmundi.com/energy.aspx?country=co&product=gasoline&graph=consumption>).

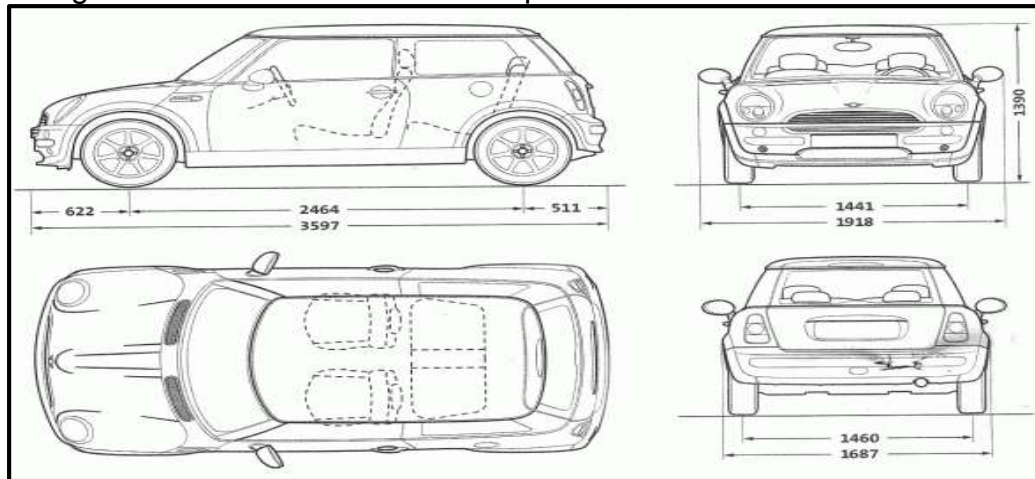
³⁸ AFICIONADOS A LA MECANICA. Emisión de gases de combustión. [En línea]. [consultado el 22 de diciembre de 2018]. Disponible en: (<http://www.aficionadosalamecanica.net/emision-gases-escape.htm>)

2. PARAMETROS Y REQUERIMIENTOS FUNCIONALES

2.1 PARAMETROS DE DISEÑO

2.1.5 Estructura. El sistema estará diseñado principalmente para un mini cooper r56 modelo 2010, el cual tiene las siguientes dimensiones de trabajo:

Imagen 14. Medidas de un mini cooper R56



Fuente: PRINTEREST. [sitio web]. Colombia: Printerest, minicooper r56. [consulta 20 diciembre 2018]. Disponible en: <https://co.pinterest.com/pin/853924779318883531/>

Para la selección de este modelo en particular se tuvieron diferentes características como:

- Volumen disponible.
- Bajo consumo energético.
- Fácil mantenimiento.
- Conducción entre 20 Km/h y 120 Km/h.
- Estructura funcional.

VOLUMEN DISPONIBLE: el volumen disponible que posee este vehículo en la parte frontal y su aerodinámica han hecho que la empresa EVCO (electric vehicles conversion) nos de este modelo en particular para el desarrollo de este proyecto, puesto que ellos se encargan de convertir vehículos de combustión en vehículos eléctricos, en este proceso es retirado el motor de combustión, tanque de gasolina, radiador, el motor eléctrico al ser más pequeño este ocupa menos espacio en el interior lo cual deja un volumen aprovechable en la parte frontal del vehículo

BAJO CONSUMO ENERGETICO: este bajo consumo energético esta dado porque, además la empresa limita el funcionamiento de los motores de sus vehículos al 30% con la finalidad de alargar la vida útil del motor y con esto también

se logra que la temperatura del motor y las baterías no sea tan elevada por lo tanto no es necesario un sistema de refrigeración.

FACILMANTENIMIENTO: esto hace referencia a que el vehículo al no contar con un motor de combustión sino con uno eléctrico reduce considerablemente el mantenimiento ya que el mantenimiento en un motor eléctrico es más sencillo que el de combustión.

CONDUCCION: el vehículo contara con los mismos sistemas de trasmisión dirección y suspensión, puesto que la empresa EVCO conserva todos estos sistemas intactos ya que ellos solo hacen un acople entre el motor eléctrico y el sistema de transmisión del vehículo.

ESTRUCTURA FUNCIONAL: la estética es un factor importante ya que la empresa no quiere que esta sea modifica con respecto al modelo original, este vehículo al ya no poseer un radiador en su parte frontal hace que sus entradas de aire queden totalmente libres para poder aprovechar parte de la energía potencial del vehículo cuando este es te en movimiento

El primer Mini Cooper fue fabricado a finales de los 50s, en Inglaterra, como la versión de un vehículo económico para la familia común. Desde entonces ha tenido una gran afinidad desde vehículo familiar hasta un vehículo de carreras lo cual lo convirtió en un icono a nivel mundial ³⁹.

2.1.5.5 Mini Cooper R56, EVCO. Para este proyecto se usa un Mini Cooper R56 de la empresa EVCO (electric vehicles conversion) la cual se encarga de hacer la conversion de vehículos a combustión a eléctricos, en este proceso es retirado el motor, radiador y tanque de combustible, demás sistemas como trasmisión, dirección, suspensión se mantienen intactos ya que solo es necesario un acople entre el motor eléctrico y la transmisión haciendo que sea un vehículo eléctrico con caja manual de cambios.

³⁹ PLACER VIAL. Mini Cooper. [En línea]. [consultado el 22 de diciembre de 2018]. Disponible en: (<http://www.placervial.com/2/mini/52-mini-prueba-de-manejo-en-placervialcom>)

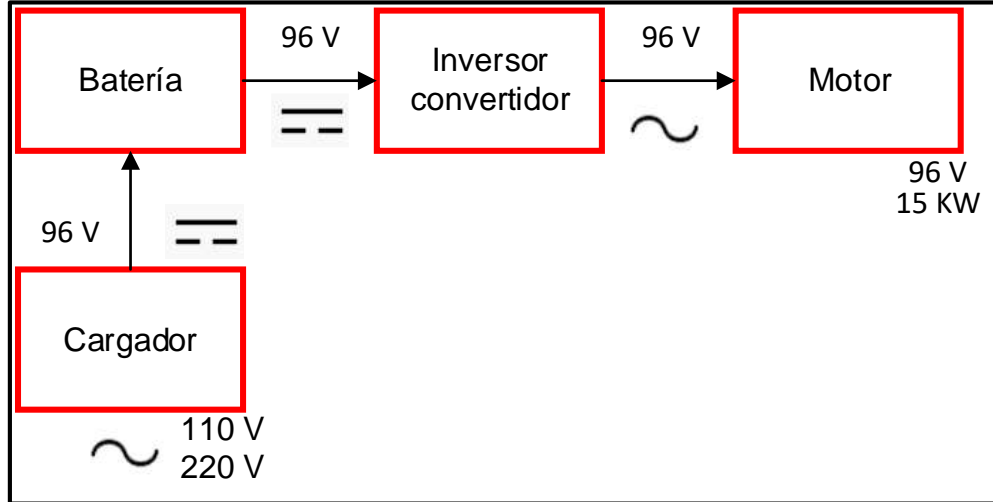
Tabla 7. Ficha técnica de Mini Cooper R56 eléctrico

| Motor eléctrico | |
|-------------------------------|---|
| Ubicación | Delantero- Transversal |
| Bloque | Motor de inducción asíncrono |
| Escobillas | Sin escobillas |
| Potencia | 60Hp |
| Torque | 133Nm |
| Baterías | Ion litio |
| Voltios | 96V |
| Cargador | 110/220 V |
| Amperaje | 150Ah |
| Tipo de vehículo | Plug in |
| Transmisión | |
| Caja de cambios | Manual de 6 velocidades |
| Tracción | Delantero |
| Chasis | |
| Dirección | Eléctrica |
| Suspensión delantera | McPherson con compensación de hundimiento |
| Suspensión trasera | De articulaciones con múltiples brazos |
| Frenos delanteros | De disco |
| Frenos traseros | De disco |
| Neumáticos | Run Flat 195/55 |
| Rines | 0.4064 cm en aleación ligera |
| Dimensiones | |
| Distancia entre ejes (metros) | 2.495 |
| Largo total (metros) | 3.699 |
| Ancho total (metros) | 1.912 |
| Alto (metros) | 1.414 |
| Peso (kilos) | 1.020 |
| Puertas | 3 |
| Capacidad | 4 pasajeros |

Fuente: elaboración propia con base en Electric vehicle conversion (EVCO).

En el siguiente diagrama se puede observar cómo está distribuido el sistema eléctrico del vehículo actualmente.

Diagrama 7. Sistema actual del Mini Cooper R56 eléctrico.



Fuente: elaboración propia

2.1.6 Sistema por diseñar. El sistema para diseñar esta principalmente compuesto por una turbina savonius y los componentes mecánicos necesarios que ayuden a darle un correcto funcionamiento de la mejor manera al sistema.

Debido a que se diseña un sistema complementario para un vehículo eléctrico y la dificultad de adoptar los diferentes procesos de manufactura modernos y sus costos elevados, tecnología en pleno desarrollo y su creciente demanda en el mercado de este tipo de vehículos, se presentan alternativas de diseño, la alternativa que sea más viable se escoge para la realización de su diseño detallado completo.

Por otra parte, cada una de sus piezas se selecciona con criterios basados en su precio de construcción, su fiabilidad y su importancia dentro del sistema; las piezas y componentes que no estén estandarizadas se diseñaran de la forma más sencilla y artesanal, es decir, sin la necesidad de materiales y herramientas de alto costo con un proceso de manufactura sencillo y completamente acomodado al país y la tecnología que hay en este.

2.1.7 Área de trabajo. Es importante definir el área en donde el sistema estará situado, puesto que el diseño del sistema depende de este espacio, de tal forma que tenga un fácil montaje, también teniendo en cuenta futuros mantenimientos y que tenga un acceso fácil. El modelo que se va a trabajar es un Mini Cooper R56 eléctrico. Convertido por la empresa EVCO el cual cuenta con un sistema de 96v con celdas de litio NCM de ciclo profundo, el motor eléctrico se encuentra alojado en la parte delantera con los sistemas de control, este motor está conectado directamente a la caja de transmisión situada en la parte delantera del vehículo.

Para el montaje de este sistema se cuenta con la parte frontal del vehículo como se muestran en las imágenes 15 y 16.

Imagen 15. Parte frontal del vehículo



Fuente: elaboración propia.

Imagen 16. Interior de la parte frontal



Fuente: elaboración propia

2.1.8 Nivel de autonomía. Actualmente el vehículo cuenta con una autonomía de 150 Km por carga, viajando a una velocidad entre 40 y 60 Km/h con una sola persona en el cual el 80% del recorrido es en línea recta y el 20% en una pendiente ascendente.

2.2 REQUERIMIENTOS DE DISEÑO

2.2.5 Capacidad del sistema. La potencia mínima requerida que debe entregar el sistema para que la carga en las baterías sea efectiva debe ser de 2.5Kw ya que con esta potencia se está garantizando una óptima carga en las baterías.

2.2.6 Variables de operación. Evco (Electric Vehicle Conversion) es una empresa la cual maneja dos tipos de sistemas para la conversión de sus vehículos a eléctricos, estos sistemas son de 72v y 96v, los cuales pueden ser alimentados con baterías de ciclo profundo, dichas celdas pueden ser de plomo ácido las cuales tiene una duración de 600 ciclos o celdas de litio NCM 15 KW que tienen un promedio de duración de 4000 ciclos; estas celdas además tienen un peso inferior a las baterías de plomo ácido.

Estos sistemas manejan controladores inversores los cuales son los encargados de tomar la corriente en las baterías y convertirla a corriente alterna con la cual así podremos alimentar el motor; la carga en las baterías se puede hacer a una tensión de 110 v lo cual hace que se pueda cargar las baterías en cualquier toma corriente casero, otra forma que hay de cargar las baterías es usar el motor como un generador siempre y cuando este valla descendiendo para que dicha carga sea efectiva tiene que ser al menos de 2.5kW, este sistema es bidireccional, lo que quiere decir que las baterías poseen dos entradas y dos salidas, lo cual nos permite usar las baterías ya instaladas en el vehículo, sin la necesidad de implementar un segundo juego de baterías, lo que aumentaría el peso del vehículo.⁴⁰

1.2.3 Potencia de carga. La potencia de carga está determinada por el cargador de las baterías que usa el vehículo, este cargador de baterías es un CH4100, el cual integra la carga por alta frecuencia, corrección del factor de potencia activa, medición y control de microordenador, resistente al agua, además incluye un amplio rango de entrada (100V / 250V) y una corriente de entrada de 22A, ya que este tipo de cargador al tener un rango de voltaje amplio se puede conectar a la red eléctrica doméstica la cual tiene un voltaje de 110V al estar conectado a esta tensión la potencia de funcionamiento es de 2420W. ⁴¹

2.2.3 Autonomía del vehículo.

La autonomía del vehículo es de 150Km de los cuales el 80% este hecho en un terreno plano y el otro 20% en una pendiente ascendente, esta información es suministrada por la empresa EVCO

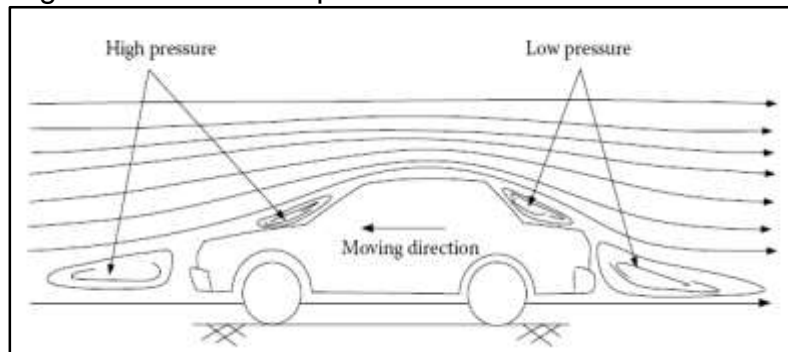
⁴⁰. UNISERRAL. Las infraestructuras de recarga para el vehículo eléctrico. [En línea] [consultado el 22 de diciembre de 2018]. Disponible en: http://www.uniserral.com/51449_es/LAS-INFRAESTRUCTURAS-DE-RECARGA-PARA-EL-VEHICULO-ELECTRICO/

⁴¹. Auto libre eléctrico. Cargador lineal CH4100. [En línea]. [Consultado el 22 de diciembre del 2018]. Disponible en: <https://www.scribd.com/document/415818555/Cargadores-Linea-CH-4100-Espanol-pdf>

2.2.4 Fuente de energía. Se centra en el modelado dinámico causado por la resistencia por aerodinámica de un vehículo, el cual tiene sometidos los fenómenos físicos principalmente a la carrocería de este mismo.

2.2.4.1 Resistencia por aerodinámica. Este fenómeno no se da principalmente en las llantas del vehículo, afecta a toda la estructura, se da debido a la fricción del cuerpo del vehículo mientras se mueve a través del viento, lo cual es debido a dos componentes esenciales la forma del vehículo y el coeficiente aerodinámico de este mismo. En el movimiento del vehículo se generan dos zonas de presión una alta y una baja, como se muestra a continuación.

Diagrama 8. Zonas de presión en un vehículo.



Fuente: TECHNICAL COURSES. [sitio web]. España: estudio de la aerodinámica de un vehículo. [consulta 22 diciembre 2018]. Disponible en: http://www.technicalcourses.net/portal/es/blog/blog_entrada.php?entrada_id=89

La resistencia aerodinámica se genera gracias al movimiento del vehículo a través del aire y esta está dada en función del área frontal, su forma, componentes externos como espejos, alerones y demás, entradas y salidas de aire y demás factores. Esta resistencia se puede calcular gracias a la fórmula:

2.2.4.2 Densidad del aire. Esta densidad del aire es tomada gracias al IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales). Para la ciudad de Bogotá- Colombia la cual es de 0.878Kg/m^3 .⁴²

2.2.5 Mantenimiento. El sistema será diseñado con el motivo de que su mantenimiento sea de la manera más fácil de efectuar, buscando así que se reduzcan los tiempos de parada y mantenimientos imprevistos que este pueda llegar a necesitar.

⁴². IDEAM. Atlas de Viento De Colombia. [En Línea]. [consultado el 22 de diciembre del 2018] disponible en: <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasVientos.html>.

2.2.6 Materiales. Los materiales para el diseño del sistema deben ser lo más livianos posible sin comprometer su calidad estructural y funcionalidad.

2.2.7 Fuente de energía. El sistema funcionará con la energía proveniente del viento, esta energía es producida por el del desplazamiento del vehículo, lo cual hará mover los alabes para transformas esa energía del viento en energía mecánica, que a su vez será trasformada en energía eléctrica para poder ser aprovechada en el vehículo.

2.2.8 Generador eólico. En este proyecto de grado se pretende dar a conocer un sistema que nos permite aprovechar la energía eólica que se produce dentro de un automóvil, para aumentar la autonomía de este mismo.

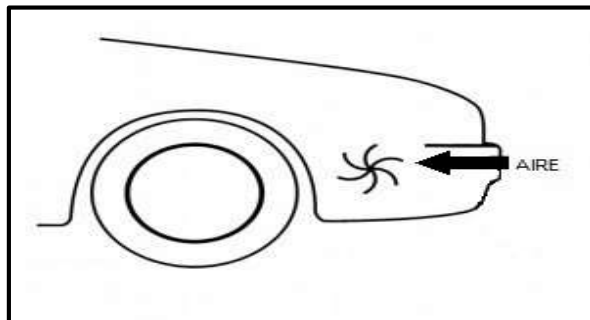
Este tipo de generador se basa en el aprovechamiento del aire que entra por la calandra frontal del vehículo, en este caso la calandra de un mini cooper R56, cuando este se está desplazando lo que produce energía eléctrica.

El generador eólico para vehículos funciona de la siguiente manera: el vehículo se pone en marcha generando la resistencia aerodinámica lo que causa una corriente de aire que se ve obligada a entrar mediante la calandra frontal, el cual incide sobre las palas de la turbina haciéndolas girar sobre su eje y al sistema de transmisión funcionando como rotor del generador el que está conectado directamente a este sistema de transmisión, el que traduce este movimiento en electricidad.

Esta electricidad generada se envía a los acumuladores eléctricos, empleándola para alimentar la batería del sistema, para así continuar el ciclo de funcionamiento del vehículo eléctrico. De esta forma se tratará de aumentar la autonomía del sistema.

A continuación, se muestra un diagrama de como quedara dispuesto el sistema dentro del vehículo.

Diagrama 9. Generador eólico para un vehículo.



Fuente: elaboración propia

Tabla 8. Parámetros funcionales, operacionales y de diseño

| Parámetros | | | | | | |
|---|--|--|--------------------------|---|-----------------------|------------------|
| Funcionales | | Operacionales | | Diseño | | |
| Fuente de energía | Fuerzas aerodinámicas generadas por el movimiento del vehículo | Autonomía actual del vehículo | 150 km | Estructura | Mini Cooper R56 | |
| Potencia necesaria para que la carga sea efectiva | 2,5 KW | Área toma de aire delantera del vehículo | 0,14 m ² | Espacio disponible para ubicar el sistema | 0,8125 m ³ | |
| Potencia del motor | 30kw pico | Potencia de las baterías | 15 KW | Controlador | 96 V 200 A | |
| El sistema suministra carga durante su operación, ya que este funciona únicamente con el aire que se genera al movilizar el vehículo a una determinada velocidad. | | Densidad del aire | 0,8878 Kg/m ³ | Velocidad máxima del vehículo | Max 120 km/h | |
| | | Peso del vehículo | 1020 kg | Materiales usados para el sistema | Turbina | Aluminio 2024-T4 |
| | | Alternativa de generación | Turbina | | Eje | AISI 1045 |
| | | | | | Poleas | Aluminio 2024-T4 |

Fuente: elaboración propia

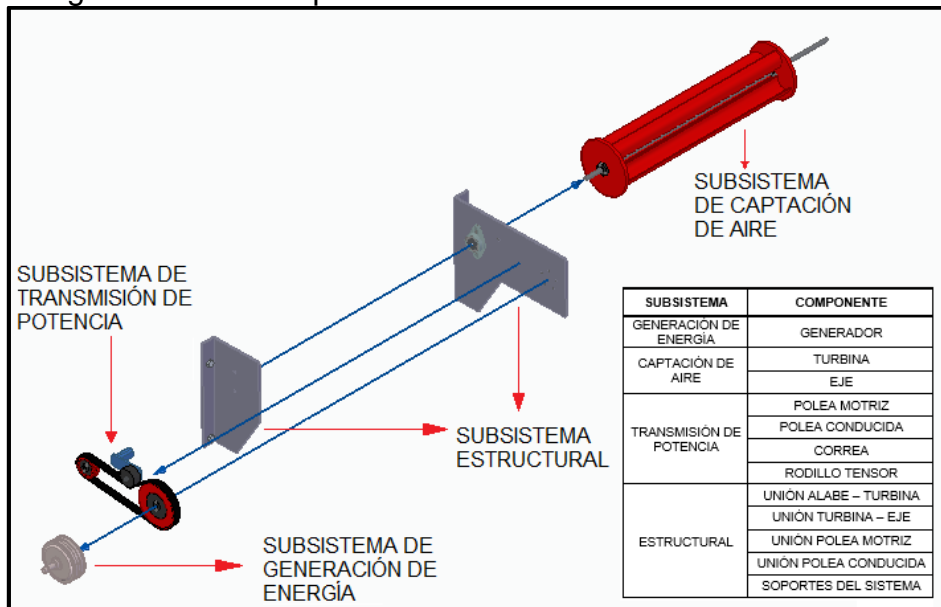
3. DISEÑO DETALLADO

El diseño se hará con base a una turbina savonius y un generador escogido previamente de un catálogo, se va a diseñar el sistema de transmisión de potencia que va conectado desde el eje de la turbina al eje del generador con base a las medidas establecidos por el generador y la turbina, para así poder cumplir satisfactoriamente los parámetros de diseño anteriormente descritos.

3.1. CONCEPTUALIZACION DEL DISEÑO

A continuación, se realiza el diseño detallado del sistema, como también la geometría de este, para así poder determinar los valores óptimos para lograr un buen funcionamiento.

Diagrama 10. Conceptualización del diseño



Fuente: elaboración propia

Este sistema cuenta de cinco subsistemas, los cuales son el subsistema de captación de aire, subsistema de transmisión de potencia, subsistema de generación de energía, el subsistema estructural y el subsistema de control. En cada uno de estos subsistemas se diseña o selecciona, según sea el caso, cada componente necesario que conforma dicho subsistema.

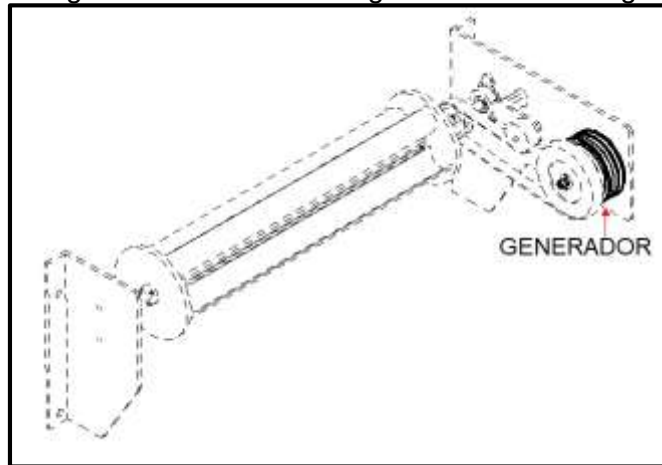
Existen varios modelos de sistemas que pretenden aprovechar el movimiento del aire, lo que busca este proyecto de grado es que el sistema diseñado sea de fácil instalación, mantenimiento y sea de simple construcción, pero eficaz. Para esto se seleccionarán los componentes con las siguientes especificaciones: que no ocupe

mucho espacio, sea económico y que funcione solamente con la corriente de aire sin que interfiera con la aerodinámica del vehículo.

3.2 SUBSISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGIA.

Este subsistema se compone por un generador eléctrico, el cual será el encargado de generar la energía del sistema.

Diagrama 11. Subsistema generación de energía



Fuente: elaboración propia

3.2.1. Selección del generador. Para la selección de este se tendrá en cuenta que sea de estructura compacta, tamaño pequeño y de un peso ligero, gran capacidad de sobrecarga, alta fiabilidad, libre de mantenimiento, larga vida útil, resistente al agua, resistente al polvo y que no supere los 50 grados centígrados cuando esté en funcionamiento continuo, ya que al no superar esta temperatura no es necesario un sistema de refrigeración. Para ello se seleccionará un generador de imanes permanentes de neodimio sin escobillas con los siguientes parámetros:

Tabla 9. Parámetros para la selección del generador

| | Diseño | Selección | Parámetros |
|-----------|--------|--------------------------------|---|
| Generador | | Generador de imanes permanente | Voltaje de salida Potencia del generador Torque de arranque Peso |

Fuente: elaboración propia

El generador es el mecanismo más importante para el funcionamiento del sistema ya que es el encargado de convertir la energía mecánica proveniente de la turbina en energía eléctrica la cual será la encargada de cargar las baterías.

Hay una gran variedad de generadores eléctricos en el mercado, cada uno de ellos con tecnologías y funcionamientos diferentes, para este proyecto se tienen en cuenta generadores de imanes permanentes, con características de bajo par de arranque, y de bajo peso principalmente.

A continuación, se realiza un análisis para la selección del generador y determinar cuál es el más óptimo para nuestro sistema, ya que la salida del generador se conecta a la entrada del cargador este tiene que tener un voltaje de salida entre 100v y 220v ac y entregar una potencia de 2,5kW

- Alternativa 1 (Generador Hiest 510 – 3.0 KW / 200 RPM). Este generador hace parte de una gran familia de una patente de bajo par de torsión, la cual hace que su par de arranque sea muy bajo, este generador no tiene escobillas, es de imanes permanentes de neodimio, además el fabricante nos permite variar el voltaje al que sea necesario.

Imagen 17. Generador Hiest 510 – 3.0 KW / 200 RPM



Fuente: ZHUJI HIEST MOTOR CO. [sitio web]. China: generadores eléctricos. [consulta 22 diciembre 2018]. Disponible en: http://www.motorhc.com/web/index_en.php?m=Product&a=prinfo&id=150

Tabla 10. Características del generador Hiest 510 – 3.0 KW / 200 RPM

| Model | Rated output power (KW) | Rated speed (RPM) | Rated output voltage | Weight (Kg) | |
|-----------|-------------------------|-------------------|----------------------------|----------------------|----|
| Hiest 710 | 10 | 250 | 380VAC | 145 | |
| | 7.5 | 200 | 380VAC | | |
| | 5 | 150 | 220VAC/380VAC | | |
| | 4 | 100 | 96VAC/240VAC | | |
| | 3 | 100 | 220VAC/380VAC | | |
| Hiest 560 | 15 | 400 | 300VAC | 135 | |
| | 10 | 250 | 380VAC | | |
| | 7.5 | 200 | 220VAC/380VAC | | |
| | 5 | 180 | 220VAC/380VAC | | |
| | Hiest 520 | 4 | 200 | 220VAC/380VAC | 90 |
| | | 3 | 180 | 220VAC/380VAC | |
| | | 2 | 130 | 112VDC/220VAC/380VAC | |
| | | 1.5 | 100 | 112VDC/220VAC/380VAC | |
| Hiest 520 | 1 | 100 | 56VDC/112VDC/220VAC/380VAC | 70 | |
| | 3 | 200 | 112VDC/220VAC/380VAC | | |
| | 2 | 150 | 112VDC/220VAC/380VAC | | |
| Hiest 520 | 1 | 90 | 56VDC/112VDC/220VAC | 70 | |

Fuente: ZHUJI HIEST MOTOR CO. [sitio web]. China: generadores eléctricos. [consulta 22 diciembre 2018]. Disponible en: http://www.motorhc.com/web/index_en.php?m=Product&a=prinfo&id=150

- Alternativa 2 (Generador PMG EN2000P). Este tipo de generador tiene un par de arranque mínimo, puesto que este pertenece a la clase de generadores que usa la patente de bajo par de torsión.

Imagen 18. Generador PMG EN2000P



Fuente: ENGELEC ENERGY. [sitio web]. USA: generadores eléctricos. [consulta 22 diciembre 2018]. Disponible en: <http://www.engelecenergy.com>

Tabla 11. Características del generador PMG-EN2000P

| Modelo | A-1000P | ES-2000P | ES-3000P | EN-5000P | A-10KP |
|--------------------------------------|---|----------|-----------|---------------|--------------------|
| Potencia nominal (w) | 1000w | 2000w | 3000w | 5000w | 10kw |
| Potencia máxima (w) | 1500w | 2500w | 4800w | 7000w | 13kw |
| Tensión nominal (v) | 48V | 120V | 96 / 120v | 96/120 / 220v | 120V / 220V / 240V |
| Velocidad rotada clasificada (r / m) | 500r / m | 500r / m | 300r / m | 300r / m | 170r / m |
| Peso neto superior (kg) | 14.5kg | 18kg | 70kg | 80kg | 180kg |
| Corriente de salida | C.A. | C.A. | C.A. | C.A. | C.A. |
| Par de arranque (N * M): | 0.62Nm | 0,78 Nm | 0.96Nm | 1.1Nm | 1,28 Nm |
| Par nominal (N * M): | 19,1 nm | 31,8 Nm | 95.5Nm | 159,2 Nm | 561,7 Nm |
| generador | Generador síncrono de imán permanente trifásico | | | | |

Fuente: ENGELEC ENERGY. [sitio web]. USA: generadores eléctricos. [consulta 22 diciembre 2018]. Disponible en: <http://www.engelecenergy.com/PMG-3KW-10KW-pd6827730.html>

- Alternativa 3 (Generador North Star). Este tipo de generador portátil de bajo peso y de alta eficiencia, es un diseño sin escobillas para un rendimiento confiable, su salida de voltaje es variable, el cabezal tiene que estar conectado a una potencia de 5hp para su accionamiento.

Imagen 19. Generador North Star



Fuente: NORTH STAR. [sitio web]. USA: generadores eléctricos. [consulta 22 diciembre 2018]. Disponible en: https://www.northerntool.com/shop/tools/product_21008_21008

Tabla 12. Especificaciones del generador North Star

| SPECIFICATIONS | |
|----------------------------|--|
| Item Number | #165915 |
| Maximum Output | 2900 Watts (W) |
| Continuous Output | 2600 Watts (W) |
| Voltage | 120 / 240 Volt (V) |
| Phase | Single phase (4-wire) |
| Frequency | 58.0-63.0 Hertz (Hz) |
| Power Factor | 1.0 p.f. |
| Minimum Recommended Engine | 5 Hp |
| Engine Speed | 3480-3780 RPM |
| Drive Shaft | 1.50" long, 3/16" keyway |
| 120 V Receptacle | 15 Amp (A) duplex (NEMA 5-15R) |
| 240 V Receptacle | 15 Amp (A) duplex (NEMA 6-15R) |
| Circuit Breaker | 11 Amp (A) thermal, push to reset style |
| Dimensions | |
| Length | 13.38" (35.2 cm) |
| Width | 6.75" (17.1 cm) |
| Height | 7.13" (18.1 cm) |
| Gross Weight | 32 lb. (14.5 kg) |

Fuente: NORTH STAR. [sitio web]. USA: generadores eléctricos. [consulta 22 diciembre 2018]. Disponible en: <https://www.northerntool.com/images/downloads/manuals/165915>

Evaluación de alternativas

Se llevará a cabo la evaluación de las alternativas anteriormente planteadas para la selección del generador, con la ayuda de una matriz de ponderación para la selección de la alternativa más pertinente.

Se asignarán los valores correspondientes para la ponderación de los criterios de evaluación de la matriz como se mostrará en la siguiente tabla, los valores de asignados para la evaluación irán de 1 al 5, siendo 5 el más importante y 1 el menos relevante.

Tabla 13. Criterio de ponderación

| Criterio | Ponderación |
|----------|-------------|
| voltaje | 5 |
| Arranque | 4 |
| Peso | 3 |
| Costo | 2 |

Fuente: elaboración propia

Los criterios se evalúan de la siguiente manera:

- Voltaje: este criterio hace referencia al voltaje necesario para la entrada del cargador ya que aquí es donde se entregará la energía producida por el generador.
- Arranque: este criterio es importante ya que necesitamos que esta fuerza sea inferior a la fuerza entregada por la turbina.
- Peso: con este criterio estamos garantizando no aumentar demasiado el peso en el vehículo ya que se quiere que el sistema sea lo más ligera posible.
- Costo: con este criterio estamos evaluando el costo ya que no se quiere que el sistema sea económico.

El resultado que se obtiene en la matriz de ponderación está dado mediante la multiplicación de cada valor obtenido en la alternativa por la ponderación de cada criterio evaluado, el valor que se le asignará a cada alternativa será de 1 a 9, siendo 1 el mínimo y 9 el máximo, de acuerdo con su cumplimiento

Tabla 14. Matriz de ponderación

| Criterio | Ponderación | Alternativa 1 Generador Hites | Alternativa 2 Generador PMG | Alternativa 3 Generador North Star |
|----------|-------------|-------------------------------------|-----------------------------------|--|
| Voltaje | 5 | 9 | 9 | 9 |
| Arranque | 4 | 5 | 7 | 2 |
| Peso | 3 | 5 | 8 | 8 |
| Costo | 2 | 6 | 7 | 6 |
| Puntaje | | 92 | 111 | 89 |

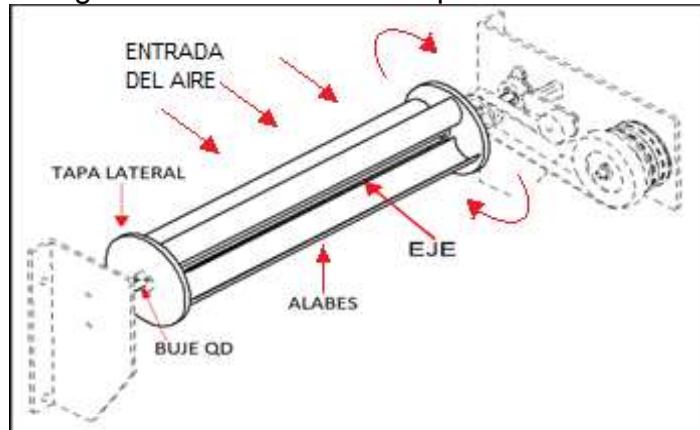
Fuente: elaboración propia

Al desarrollar la matriz de ponderación se puede evidenciar que la opción más adecuada para el proyecto que se está realizando es la alternativa 2 (generador PMG EN2000P), ya que esta cuenta con varios aspectos fundamentales que permiten satisfacer la necesidad del proyecto cabe aclarar que la matriz de ponderación fue realizada por los autores del proyecto.

3.3 SUBSISTEMA DE CAPTACIÓN DE AIRE

Este subsistema se compone la rejilla frontal del vehículo, una turbina y el eje de dicha turbina.

Diagrama 12. Subsistema captación de aire



Fuente: elaboración propia

Tabla 15. Parámetros para el diseño del sistema de captación de aire.

| Diseño | Selección | parámetros | |
|------------------------------|---------------------|------------------------|-----------------------|
| Turbina | Alabes | Área de la calandra | |
| | | velocidad del vehículo | |
| | Tapas Laterales | Área de contacto | |
| | | Tipo de Alabes | |
| | | velocidad del vehículo | |
| | | Fuerza | |
| | Eje | Buje QD | Velocidad de giro |
| | | Rodamientos UC201-8 | Soporte de rodamiento |
| | Anillo retenedor | | Diámetro del eje |
| | | | Material |
| Torque nominal del generador | | | |
| Peso de la turbina | | | |
| Peso de la polea conductora | | | |
| | Diámetro del eje | | |
| | cargas estáticas | | |
| | Cargas Dinámicas | | |
| | Diámetro del eje | | |
| | Tamaño de la ranura | | |

Fuente: elaboración propia

3.3.1 Rejilla frontal del vehículo. Las entradas de aire son lugares dispuestos en el vehículo, que le permiten alcanzar un balance térmico al interior de este, como ventilar el cárter del motor y otras piezas, aquí también se encuentra alojado radiador el cual se encarga de refrigerar el motor de combustión, en este vehículo se ha retirado el radiador puesto que este ya no es necesario y al no contar con este, la parte frontal queda totalmente libre y despejada.

Imagen 20. Área de toma de aire frontal.



Fuente: elaboración propia

Este vehículo cuenta con una toma de aire frontal la cual tiene un área de 0.14 m^2 , esta área se determinó mediante el programa Solid edge usando una escala 1:1 del modelo original.

3.3.2 Diseño de la turbina. La turbina es un elemento de gran importancia para el óptimo funcionamiento del sistema, ya que esta es la encargada de tomar la energía aerodinámica proveniente del vehículo en movimiento y transformarla en energía mecánica.

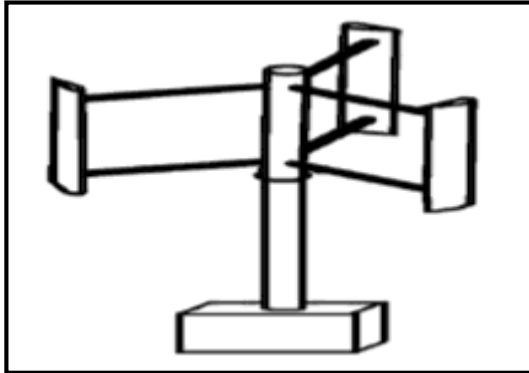
Existen diferentes tipos de turbinas cada una con diferente funcionamiento y dimensiones, para este proyecto se toman en cuenta las turbinas tipo savonius, Darrieus y una turbina tripala.

A continuación, se realizará un análisis de la selección de la turbina, para determinar cuál tipo de turbina es el más óptimo, para el sistema teniendo en cuenta que lo más importante es el espacio disponible para ello se plantearán tres alternativas de solución.

- Alternativa 1. (Turbina Darrieus H.). Las turbinas Darrieus no necesitan un sistema de orientación ya que son capaces de tomar la energía del viento desde cualquier dirección lo cual les permite ser instalado en cualquier terreno

esta turbina consta de tres finas palas que están dispuestas a los extremos del rotor.

Imagen 21. Turbina Darrieus H



Fuente: RESERCH GATE. [sitio web]. USA: turbinas eólicas. [consulta 22 diciembre 2018]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/>

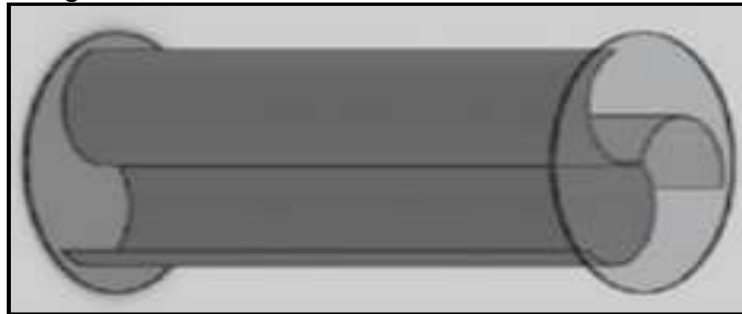
Tabla 15. ventajas y desventajas alternativa 1

| Ventajas | Desventajas |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Es ligera al no tener alabes tan robustos. | <ul style="list-style-type: none"> • No puede arrancar por sí mismo • Posee un perfil complejo de fabricar |

Fuente: elaboración propia

- Alternativa 2. (Turbina Savonius). Las turbinas savonius son turbinas aerodinámicamente simples ya que consta de perfiles semicirculares lo cual facilita su fabricación, este capta la energía del viento que llegue en cualquier dirección este tipo de turbina no necesita direccionamiento del flujo.

Imagen 22. Turbina savonius



Fuente: SCIELO. [sitio web]. Chile: scielo, modelo computacional turbina savonius. [consulta 20 enero 2019]. Disponible en: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-33052015000300009

Tabla 16. Ventaja y desventajas de la alternativa 2

| Ventajas | Desventajas |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Fácil construcción • Arranca por si misma • Empieza a funcionar a bajas velocidades. | <ul style="list-style-type: none"> • Posee alabes más robustos |

Fuente elaboración propia

- Alternativa 3. (Turbina tripala). Este tipo de turbinas funciona bajo el principio de sustentación para lo cual es necesario la selección de un perfil NACA, además este tipo de turbinas necesita un sistema de direccionamiento ya que esta solo puede captar el viento en una sola dirección, pero en este caso al encontrarse en la parte fija en la que se garantiza que siempre abra un flujo de aire cuando el vehículo se encuentre en movimiento

Imagen 23. Turbina tripala



Fuente: DREAM STIME. [sitio web]. Estados unidos: dream stime, turbina tripala. [consulta: 20 enero 2019]. Disponible en: <https://es.dreamstime.com/foto-de-archivo-rotor-de-una-turbina-de-viento-tripala-image81923407>

Tabla 17. Ventajas y desventajas de la alternativa 3

| Ventajas | Desventajas |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Fácil ensamble • Es más ligera | <ul style="list-style-type: none"> • No se aprovecha toda el are frontal disponible a la entrada. • Perfiles más complejos de fabricación. • Genera ruidos. |

Fuente: elaboración propia

- Evaluación de alternativas. Continuación, se realizará la respectiva evaluación de las alternativas planteadas, mediante una matriz de ponderación, con la finalidad de seleccionar la más pertinente.

Se establecerán los valores correspondientes para la ponderación de los criterios, así como se muestra en la siguiente tabla. Dicho valor ira de 1 a 5 siendo 5 el más importante y 1 el menos relevante

Tabla 18. Criterios de ponderación

| Criterio | Ponderación |
|---------------|-------------|
| Costo | 5 |
| Autonomía | 4 |
| Fabricación | 3 |
| Mantenimiento | 2 |

Fuente: elaboración propia

- Costo: este criterio se hace referencia al valor del costo de fabricación de la turbina.
- Autonomía: la capacidad de poderse poner en marcha fácil mente
- Fabricación: al momento de ser fabricada la turbina este resulte fácil de maquinar
- Mantenimiento: con este criterio se evalúa la complejidad y el número d tareas necesarias para llevar acabo el mantenimiento.

El resultado que se obtiene en la matriz de ponderación está dado mediante la multiplicación de cada valor obtenido en la alternativa por la ponderación de cada criterio evaluado, el valor que se le asignará a cada alternativa será de 1 a 9, siendo 1 el mínimo y 9 el máximo, de acuerdo con su cumplimiento.

Tabla 19. Matriz de ponderación

| Criterio | Ponderación | Alternativa 1 | Alternativa 2 | Alternativa 3 |
|---------------|-------------|---------------|---------------|---------------|
| Costo | 5 | 9 | 8 | 7 |
| Autonomía | 4 | 3 | 9 | 4 |
| Fabricación | 3 | 5 | 7 | 5 |
| Mantenimiento | 2 | 5 | 5 | 5 |
| Puntaje | | 82 | 105 | 76 |

Fuente: elaboración propia

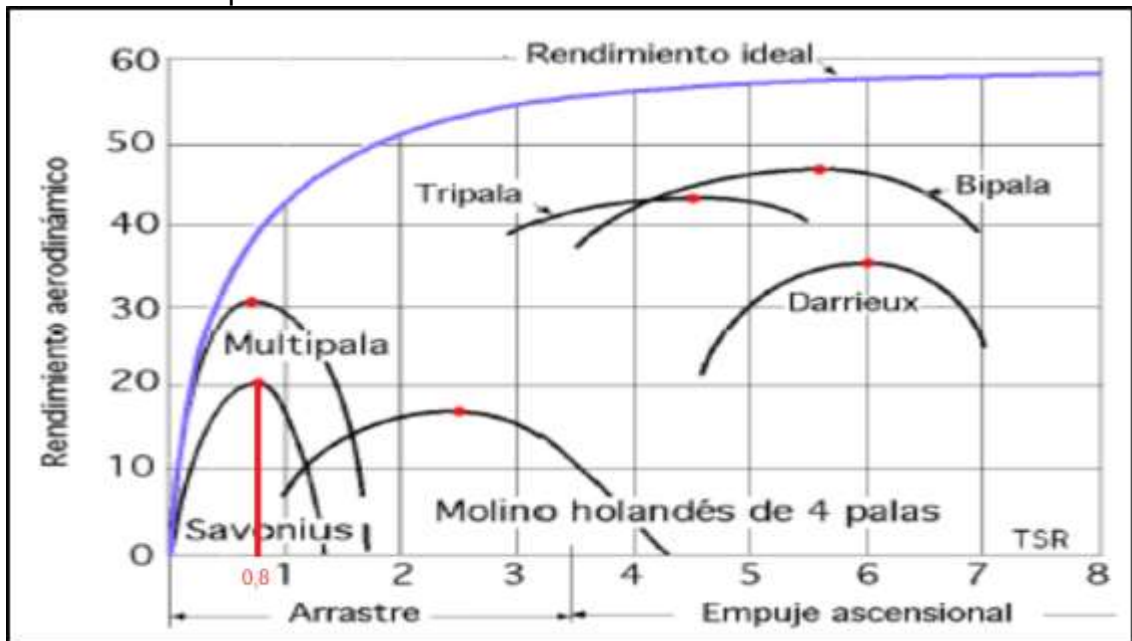
Al desarrollar la matriz de ponderación se puede evidenciar que la opción más adecuada para el proyecto que se está realizando es la alternativa número 2, ya

que esta cuenta con varios aspectos fundamentales que permiten satisfacer la necesidad del cliente.

La turbina que mejor se nos acomoda a nuestro proyecto es una turbina savonius.

En este caso se diseño con base a una turbina Savonius. Por su TSR (TOP SPEED RATIO), el cual es el rendimiento maximo alcanzado por la turbina, ya que es bajo en este tipo de turbinas las cuales giran con velocidades del viento bajas; una de las principales razones de escoger una turbina savonius es que esta alcanza su potencia maxima cuando el TSR es relativamente bajo, de 0,8, como se obserba en el grafico 3. Tambien se tiene en cuenta su bajo peso y minimos componentes que la hacen el modelo ideal para la generacion de energia con este sistema ya que es de facil instalacion, mantenimiento, no genera nigung tipo de fuerza que implique negativamente en la aerodinamica del vehículo, su funcionamiento es unicamente exclusivo por parte del aire, no necesita de otro y su simplicidad ocupa el poco espacio que se tiene para trabajar.

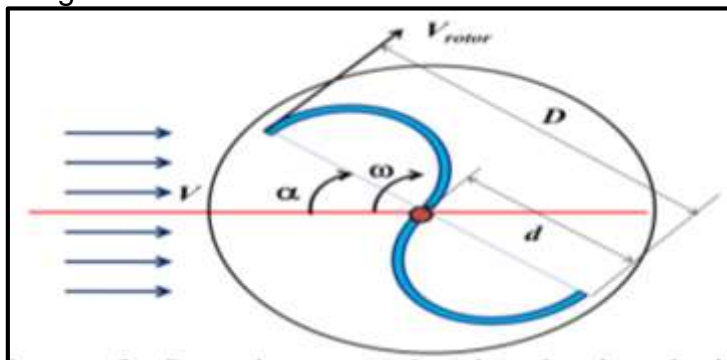
Grafico 3.TSR para turbinas.



Fuente: UDISTRITAL REPOSITORY. [sitio web]. Colombia: rendimiento turbinas eólicas. [consulta 22 diciembre 2018]. Disponible en: <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/6000/1/Gonz%C3%A1lezCastroCristianReynel2017.pdf>

En el proceso de diseño se determina que los alabes de la turbina son semicirculares, ya que al ser simetricos se simplifica su diseño y construccion. En el sigueinte diagrama se observa como se comporta este tipo de alabes con una velocidad de aire de entrada.

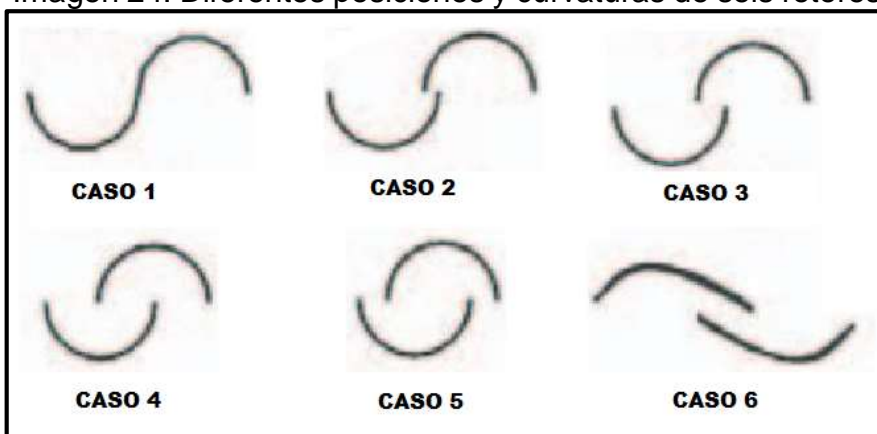
Diagrama 13. Fuerzas sobre una turbina savonius



Fuente: J.F. Manwell, J.G. McGowan and A.L. Rogers, "Wind Energy Explained, Theory, Design and Application"

El traslape entre los alabes puede mejorar la potencia de la turbina, dependiendo del posicionamiento de estos, como se puede observar en la imagen 24, en los cuales se ven 6 diferentes casos y se escogera el caso que menos presente fuerza de oposicion a la fuerza del viento, y el que tenga un mayor coeficiente de potencia.

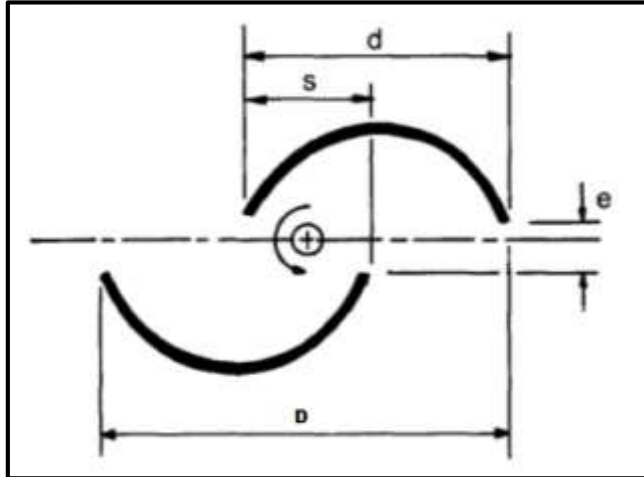
Imagen 24. Diferentes posiciones y curvaturas de seis rotores



Fuente: UDISTRITAL REPOSITORY. [sitio web]. Colombia: rendimiento turbinas eólicas. [consulta 22 diciembre 2018]. Disponible en: <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/6000/1/Gonz%C3%A1lezCastroCristianReynel2017.pdf>

Se usa el TSR para hallar los coeficientes de potencia de los diferentes casos de las posiciones y curvaturas de los alabes para una turbina savonius. Con lo cual se aprecia que al existir en traslape entre los alabes el coeficiente aumenta, pero cuando el traslape sobrepasa una distancia especifica este coeficiente comienza a disminuir.

Diagrama 14. Parámetros de un rotor savonius



Fuente: RESEARCH GATE. [sitio web]. Colombia: turbinas eólicas. [consulta 22 diciembre 2018]. Disponible en: https://www.researchgate.net/figure/a-The-basic-geometrical-parameters-of-the-Savonius-wind-turbine-b-the-virtual-wind_fig3_277592753

A continuación, se debe determinar la velocidad del viento nominal o de diseño, la cual para este caso es la velocidad del vehículo, para la cual se realiza un promedio de los límites de velocidad establecidos por la secretaria de movilidad y transporte del país.

Tabla 20. Límites de velocidad en Colombia.

| Zona | Velocidad (km/h) |
|---------------------------|------------------|
| Urbana | 50 |
| Sector perimetral | 60 |
| Carreteras | 80 |
| Curvas en carretera | 50 |
| Velocidad promedio | 60 |

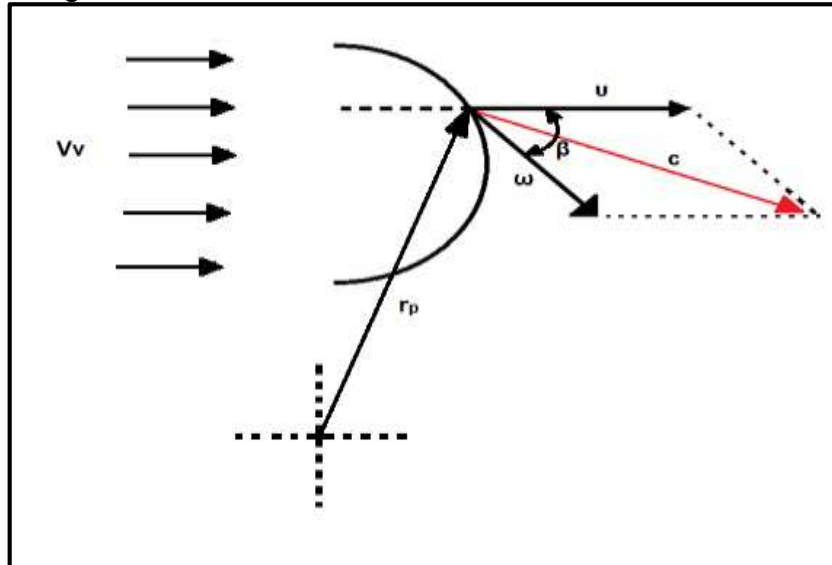
Fuente: elaboración propia. Con base en LA SECRETARIA DE MOVILIDAD Y TRANSPORTE.

Con los datos obtenidos se puede observar que la velocidad promedio en la que se puede movilizar un vehículo dentro de la ciudad de Bogotá y sus alrededores es de

60 Km/h. que transformado a metros sobre segundo son 16.67 m/s.

Con los parámetros totalmente establecidos se empieza hallando las fuerzas que existen sobre la turbina mediante un triángulo de velocidades. Como se evidencia a continuación.

Diagrama 15. Fuerzas sobre el alabe.



Fuente: elaboración propia

Donde:

U: es la velocidad del fluido

ω : velocidad angular

C: es la velocidad relativa

Vv: velocidad del viento

r_p : radio de trabajo

β : ángulo entre la velocidad fluido y la velocidad.

Al ser un perfil semicircular solo se calcula el triángulo de velocidades a la entrada de este, y en un punto que no sea ni el comienzo, ni la mitad ni el final del alabe ya que en estos puntos las velocidades son totalmente paralelas.

Velocidad :50 Km/h

$$\beta = 15,46^\circ$$

$$r_p = 0.09949\text{m}$$

$$V_v = 13.888 \text{ m/s}$$

ω = velocidad angular

F_t = fuerza total

τ = torque

$$\omega = \frac{TSR * Vv}{rp}$$

$$\omega = \frac{0.8 * 13.888 \frac{m}{s}}{0,09949m} = 111,6735 \frac{rad}{s}$$

$$\omega = 111,6735 \frac{rad}{s} * 0,09949m = 11,1103 \frac{m}{s}$$

$$\omega x = 11,1103 \frac{m}{s} * \cos(15,46) = 10,3209 \frac{m}{s}$$

$$\omega y = 11,1103 \frac{m}{s} * \text{sen}(15,46) = 10,7083 \frac{m}{s}$$

$$Ux = 13,888 \frac{m}{s} \quad Uy = 0 \frac{m}{s}$$

$$Cx = Ux + \omega x = 13,888 \frac{m}{s} + 10,3209 \frac{m}{s} = 24,2089 \frac{m}{s}$$

$$Cy = Uy + \omega y = 0 \frac{m}{s} + 10,7083 \frac{m}{s} = 10,7083 \frac{m}{s}$$

$$Ct = \sqrt{\left(24,2089 \frac{m}{s}\right)^2 + \left(10,7083 \frac{m}{s}\right)^2} = 26,4714 \frac{m}{s}$$

$$FT = \rho * Q * Ct$$

$$Q = A * Vv = 0,14m^2 * 13,888 \frac{m}{s} = 1,9443 \frac{m^3}{s}$$

$$FT = 0,8878 \frac{kg}{m^3} * 1,9443 \frac{m^3}{s} * 26,471 \frac{m}{s}$$

$$FT = 45,6929N$$

$$\tau = FT * rp$$

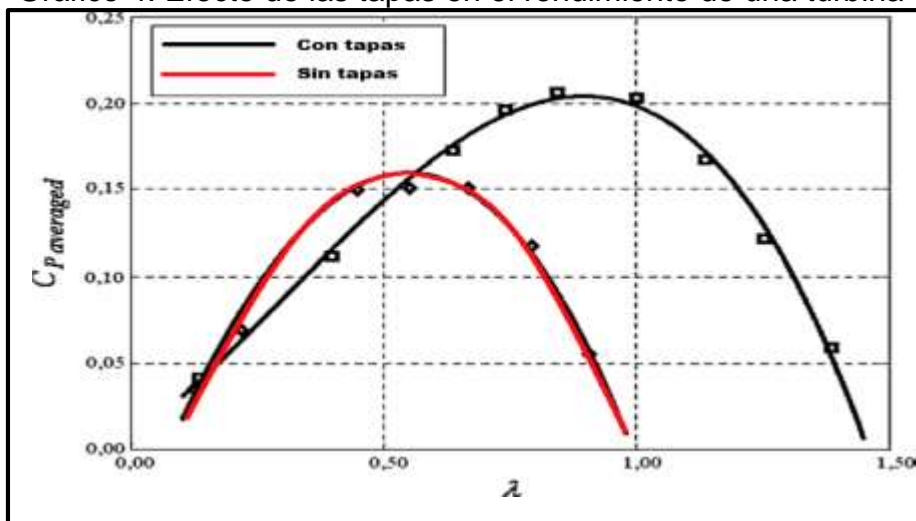
$$\tau = 45,6929N * 0.09949m = 4,54598Nm$$

- **Diseño de las tapas de la turbina**

Las tapas de un aerogenerador son de simple construcción, pero son de gran ayuda para aumentar el rendimiento de la turbina y el coeficiente de potencia, ya que al existir este tipo de tapas evitan el escape de aire por los laterales de los álabes hacia el exterior, manteniendo la presión en la parte cóncava y convexa de los álabes.

En el siguiente grafico se puede observar la relación entre el Cp promedio y el λ , comparando la misma turbina con tapas y sin tapas.

Gráfico 4. Efecto de las tapas en el rendimiento de una turbina



Fuente: Optimun design configurations and performance of Savonius rotors," *Wind Eng.*, vol. 12, pp. 59–75, 1988

Para dar mejor rendimiento aerodinámico. Existe una relación entre el diámetro de las tapas con respecto al diámetro del rotor, el cual debe ser aproximadamente 10% más grande.

$$d_t = (1,1) * d$$

$$d_t = (1,1) * 220 \text{ mm} = 242 \text{ mm}$$

Este cálculo es de gran importancia ya que si el diámetro de las tapas excede la relación anteriormente explicada el momento de inercia del rotor aumenta. El grosor de las tapas es insignificante con respecto al largo total del aerogenerador por lo cual se toma un espesor de 15 mm para este caso.

- **Inercia de las tapas**

$$I = \frac{1}{2} MR^2$$

$$I = \frac{1}{2} (1,931744 \text{ kg})(0,242\text{m})^2$$

$$I = 0,056 \text{ Kg} * \text{m}^2$$

3.3.2.1 Selección de las uniones de la turbina

- **Soporte de los alabes con las tapas.**

Para esta unión se utilizan pequeñas laminas en forma de L, los tornillos de unión son tornillos de acero M4 de cabeza cilíndrica con ranura de pala.

A continuación, se realiza el análisis de los tornillos necesarios para las uniones entre las tapas y los alabes de la turbina, en base al libro de “DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA DE SHIGLEY” 8va edición, capítulo 8 Tornillos, sujetadores y diseño de uniones no permanentes.

Se usa un tornillo de acero SAE grado 4.

Imagen 25. Especificaciones y resistencias de la SAE para pernos de acero.

| Especificaciones y resistencias de la SAE para pernos de acero | | | | | |
|--|--|-------------------------------------|---|--|---------------------------------|
| Número de grado de la SAE | Intervalo del tamaño del diám. ext. (in) | Resistencia de prueba mínima (kpsi) | Resistencia a la fluencia mínima (kpsi) | Resistencia a la tensión mínima (kpsi) | Material |
| 1 | 0.25-1.5 | 33 | 36 | 60 | bajo o medio carbono |
| 2 | 0.25-0.75 | 55 | 57 | 74 | bajo o medio carbono |
| 2 | 0.875-1.5 | 33 | 36 | 60 | bajo o medio carbono |
| 4 | 0.25-1.5 | 65 | 100 | 115 | medio carbono, forjado en frío |
| 5 | 0.25-1.0 | 85 | 92 | 120 | medio carbono, Q&T* |
| 5 | 1.125-1.5 | 74 | 81 | 105 | medio carbono, Q&T |
| 5.2 | 0.25-1.0 | 85 | 92 | 120 | martensita al bajo carbono, Q&T |
| 7 | 0.25-1.5 | 105 | 115 | 133 | aleación al medio carbono, Q&T |
| 8 | 0.25-1.5 | 120 | 130 | 150 | aleación al medio carbono, Q&T |
| 8.2 | 0.25-1.0 | 120 | 130 | 150 | martensita al bajo carbono, Q&T |

*Templado y revenido

Fuente: DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA DE SHIGLEY” 8va edición, capítulo 8 Tornillos, sujetadores y diseño de uniones no permanentes

Con base en el libro se realiza la siguiente tabla resumen donde se evidencian los datos más importantes para el análisis de los tornillos que se han de usar para sujetar las tapas de la turbina a los alabes de esta misma, con el fin de poder ensamblar la turbina al eje. Se necesitan tres tornillos para fijar el alabe a cada una de las tapas.

Tabla 21. Análisis de los tornillos.

| Descripción | Símbolo | Magnitud | Unidades |
|--|------------------|-------------|-----------------|
| Módulo de Young (tornillo) | E | 30000000 | psi |
| Módulo de Young (material) | Em | 30000000 | psi |
| Diámetro de unión | D | 0,35 | in |
| Diámetro del vástago | D | 0,19685 | in |
| Resistencia de prueba mínima | Sp | 65000 | psi |
| Longitud de la unión | L | 0,66 | in |
| Carga aplicada | P | 55,3735902 | lb |
| Área de esfuerzo de tensión | At | 0,0524 | in ² |
| Precarga | Fi | 3065,4 | lb |
| Longitud del perno | Lp | 1,16 | in |
| Longitud de la cuerda | L. cuerda | 0,8937 | in |
| Longitud del vástago | Ls | 0,2663 | in |
| L. rosca en la zona de sujeción | Lt | 0,3937 | in |
| Área del vástago | Ab | 0,030434118 | in ² |
| Rigidez del perno | 1/Kb | 5,42114E-07 | Lb/in |
| Constante del vástago | Kb | 1844631,939 | N/a |
| Rigidez del material | Km | 2989870,775 | Lb/in |
| Factor de rigidez de la unión | C | 0,38 | N/a |
| Porción carga aplicada perno | Pb | 21,04196428 | lb |
| Porción carga aplicada al material | Pm | 34,33162592 | lb |
| Carga resultante en el perno | Fb | 3086,441964 | lb |
| Carga resultante en el material | Fm | 3031,068374 | lb |
| Esfuerzo de tensión máx en el perno | Σb | 58901,5642 | psi |
| Límite de fluencia perno | Sy | 100000 | psi |
| Factor de seguridad contra la fluencia | Ny | 1,697747782 | N/a |
| Carga requerida para separar la unión | Po | 4944,193548 | lb |
| Factor de seguridad contra la separación | N. Separación | 89,28793547 | N/a |

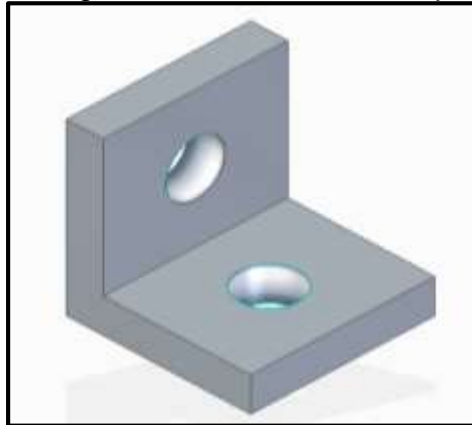
Fuente: elaboración propia.

Ya que estos tornillos soportaran un mínimo esfuerzo no se hace un análisis detallado.

Estos soportes se ubican en medio del alabe y en cada uno de sus extremos.

Estos soportes no se tienen en cuenta para el análisis del eje, ya que su peso es despreciable en comparación con los demás que se ubican sobre este, y no influye en el comportamiento del flujo del aire dentro del sistema.

Imagen 26. Unión alabes - tapas

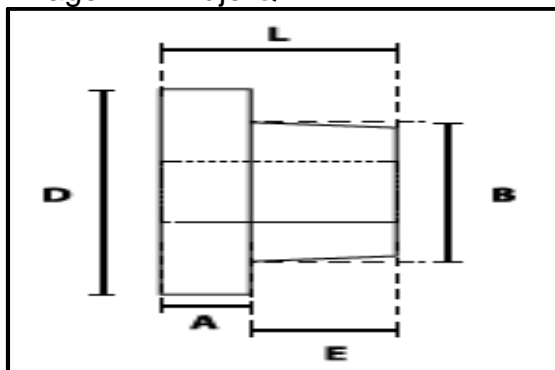


Fuente: elaboración propia

- **Soporte de las tapas de la turbina.**

Se recomiendan los bujes QD ya que son más seguros y robustos que otros tipos de bujes que pueden fallar más fácilmente.

Imagen 27. Buje QD



Fuente: INTERMEC. [sitio web].
Bogotá: Intermec, manual de poleas.
[consulta: 15 febrero 2019]. Disponible en:
https://www.intermec.com.co/poleas_v.php

El buje de la turbina se escoge de la siguiente tabla en la cual se muestra los detalles de este mismo.

Tabla 22. Dimensiones principales de los bujes QD

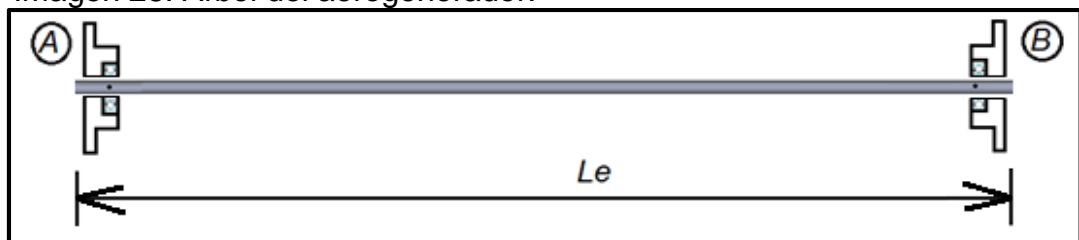
| Ref. Buje | Hueco máximo permisible con cuñero estándar | | A (mm) | B (mm) | D (mm) | E (mm) | L (mm) | Tornillos requeridos | |
|-----------|---|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------|-------------|
| | (mm) | (pulg) | | | | | | cantidad | tamaño |
| JA | 25.4 | 1 | 9.5 | 34.9 | 50.8 | 17.5 | 27.0 | 3 | No.10 x 1 |
| SH | 34.9 | 1-3/8 | 11.1 | 47.5 | 68.3 | 22.2 | 33.3 | 3 | 1/4 x 1-3/8 |
| SDS | 42.9 | 1-11/16 | 12.7 | 55.5 | 81.0 | 22.2 | 34.9 | 3 | 1/4 x 1-3/8 |
| SD | 42.9 | 1-11/16 | 12.7 | 55.5 | 81.0 | 33.3 | 46.0 | 3 | 1/4 x 1-7/8 |

Fuente: INTERMEC. [sitio web]. Bogotá: Intermecc, manual de poleas. [consulta: 15 febrero 2019]. Disponible en: https://www.intermec.com.co/poleas_v.php

El buje escogido es de referencia JA ya que el árbol del sistema es de 20 mm, se necesitan dos, para fijar la turbina al eje del sistema, la turbina esta previamente preparada para ser fijada con este tipo de buje

3.3.3. Diseño del eje. Los ejes son elementos de máquinas, cuya principal función es soportar componentes giratorios, giran al mismo tiempo que estos componentes lo cual les permite transmitir la potencia de estos a otros elementos. Las principales especificaciones que se deben tener en cuenta para el diseño de este son la transmisión de potencia y la velocidad de rotación. Para este proyecto se usa un eje de diámetro de 14 mm.

Imagen 28. Árbol del aerogenerador.



Fuente: elaboración propia

Para la selección del eje se tendrán en cuenta varios parámetros de este mismo, como material, diámetro y tipos de fuerza aplicadas sobre este. El material que se

evalúa será acero ANSI 1045, ya que el libro de diseño de elementos de máquinas de Robert Mott octava edición, recomienda el uso de este ya que tiene las siguientes propiedades, un límite de fluencia de 310 MPa, un esfuerzo máximo de 565 MPa es dúctil y uniforme el cual cumple con todos los requisitos necesarios para la fabricación de elementos de transmisión de potencia, estos datos se evidencian en la siguiente tabla. Una vez que se ha seleccionado el material se define un factor de seguridad de 3 como lo sugieren varios autores en el diseño de ejes de transmisión.

Tabla 23. Propiedades AISI 1045

| Acero AISI 1045 | | |
|------------------------|-----|-----|
| Dureza | 163 | HB |
| Esfuerzo de fluencia | 310 | MPa |
| Esfuerzo máximo | 565 | MPa |
| Elongación | 16 | % |
| Reducción | 40 | % |
| Módulo de elasticidad | 200 | GPa |
| Maquinabilidad | 57 | % |

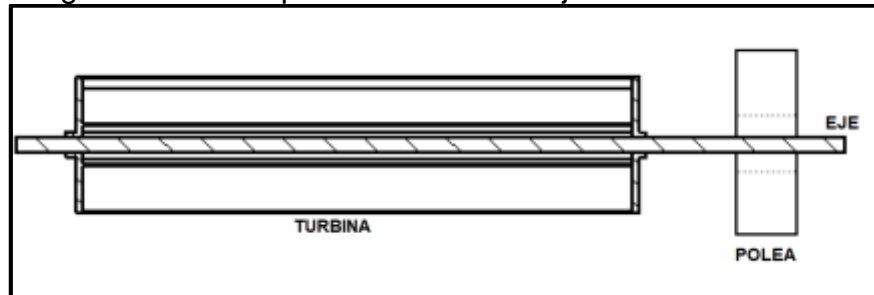
Fuente: SUMITECCR. [sitio web]. Colombia: AISI 1045. [consulta 22 diciembre 2018]. Disponible en: <http://www.sumiteccr.com/acero/maquinaria/AM05.pdf>

Las fuerzas que el eje soportara son el peso de la turbina y la polea conductora y las reacciones que estos componentes generan al estar en movimiento como se observa en el diagrama 16.

En este diseño se analiza la resistencia, rigidez y frecuencias críticas. Se requiere un análisis geométrico de las dimensiones del eje.

En el libro de diseño de elementos de máquinas de Robert Mott, en la sección de diseño de ejes se listan los aspectos más importantes para tener en cuenta en el diseño de elementos de transmisión de potencia.

Diagrama 16. Componentes sobre el eje



Fuente: elaboración propia

- Fácil montaje, desmontaje y mantenimiento
- Debe ser de fácil fijación para los elementos que van sobre este
- Se deben evitar los cambios bruscos de secciones
- Generalmente los árboles se soportan en sus extremos para reducir los problemas de alineamiento

Para hallar el diámetro mínimo del eje se usa la siguiente ecuación, para una sección circular maciza, el esfuerzo cortante máximo, S_s , producido por el par torsor máximo se halla mediante la siguiente ecuación:

$$s_s = \frac{T_p C}{J} = \frac{16 T_n}{\pi d_e^3}$$

Donde:

J es el momento polar de inercia

C es el radio de la sección transversal

d_e es el diámetro de la sección transversal

Despejando el diámetro de la ecuación anterior y teniendo en cuenta que el esfuerzo cortante de diseño, S_{sd} , debe ser mayor al esfuerzo cortante usado en la ecuación. Por lo cual se toma el mismo valor de la resistencia del material.

$$d_e \geq \left(\frac{16 T_n}{\pi S_{sd}} \right)^{1/3}$$

$$d_e \geq \left(\frac{16 (31,8 Nm)}{\pi (565 \times 10^6 Pa)} \right)^{1/3}$$

$$d_e \geq 0,0065935 m = 6,5935 mm$$

El diámetro mínimo para el eje debe ser de 6,5935 mm con lo cual se verifica que el diámetro escogido del eje está por encima del diámetro mínimo. Para hallar el momento flexionante se hace de la siguiente manera, primero se definen las fuerzas que el eje soportara, las cuales son producidas por el peso de los dos componentes que están sobre el eje, los cuales son la turbina y la polea conductora.

A continuación, se detallan los principales componentes del sistema que estarán sobre el eje, lo cual para un análisis estático es necesario para saber que cargas son las que afectan directamente al árbol de la turbina.

Peso de la turbina

Esta turbina cuenta con 4 alabes semi circulares cada una la cual tiene un radio interior de 0.01875m y de radio exterior 0.020m con una longitud de 0.890m

$$V1 = \pi * r1^2 * h$$

$$V2 = \pi * r2^2 * h$$

$$Va = v2 - v1$$

$$Va = \frac{1}{2} ((\pi * r2^2 * h) - (\pi * r1^2 * h))$$

$$Va = \frac{1}{2} \pi * h * (r2^2 - r1^2)$$

Se multiplica por 4 ya que son 4 alabes

$$Va = 4 \left(\frac{1}{2} \pi * h * (r2^2 - r1^2) \right)$$

$$Va = 2\pi * h * (r2^2 - r1^2)$$

$$Va = 2 * \pi * (0.890m) * ((0.020m)^2 - (0.01875m)^2)$$

$$Va = 2.7086 \times 10^{-4} m^3$$

Peso de las tapas laterales de la turbina

$$Vt = \pi * r1^2 * h$$

Vt = Se multiplica por 2 ya que son dos tapas

$$Vt = 2\pi * r1^2 * h$$

$$Vt = 2\pi * (0.0121m)^2 * 0.015m$$

$$Vt = 1,379817414 \times 10^{-3} m^3$$

Volumen completo de la turbina es la suma del volumen de las tapas más el volumen de los alabes

$$VT = Va + Vt$$

$$VT = 2.7086 \times 10^{-4} \text{ m}^3 + 1,379817414 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$VT = 1,6506774 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

Para saber el peso de total de la turbina necesitamos la densidad del aluminio 2024 t4 la cual es de 2800 Kg/m^3

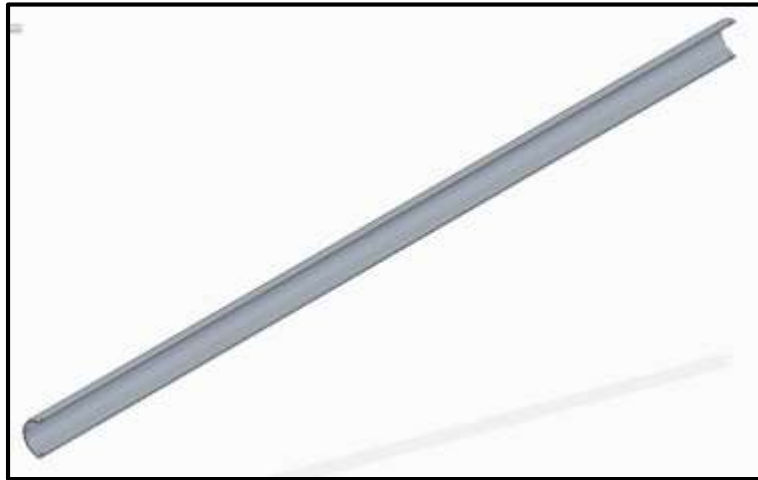
$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$\rho * V = m$$

$$m = 2800 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 1.6506774 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$m = 4.62188 \text{ Kg}$$

Imagen 29. Alabe de la turbina.



Fuente: elaboración propia.

A la turbina se le agrega el peso de cada uno de los bujes que se necesitan para fijar esta al eje para así poder transmitir la potencia. Cada uno de estos bujes pesa $1,10 \text{ Kg}$.

Peso de la polea

Esta polea está construida de aluminio 2024 t4 el cual tiene una densidad de 2800Kg/m³ para poder determinar su volumen fue necesario separarla por partes con el fin de simplificar su geometría

Parte1.

$$V1 = \pi * r1^2 * h$$

$$V2 = \pi * r2^2 * h$$

$$Vp1 = V2 - V1$$

$$Vp1 = ((\pi * r2^2 * h) - (\pi * r1^2 * h))$$

$$Vp1 = \pi * h * (r2^2 - r1^2)$$

$$Vp1 = \pi * 0.015m * ((0.076m)^2) - (0.070m)^2)$$

$$Vp1 = 4,1280X10 - 5 m^3$$

Parte 2.

$$V1 = \pi * r1^2 * h$$

$$V2 = \pi * r2^2 * h$$

$$Vp2 = V2 - V1$$

$$Vp2 = ((\pi * r2^2 * h) - (\pi * r1^2 * h))$$

$$Vp3 = \pi * h * (r2^2 - r1^2)$$

$$Vp2 = \pi * 0.015m * ((0.090m)^2) - (0.070m)^2)$$

$$Vp2 = 7,539822X10 - 5 m^3$$

Parte 3.

$$V1 = \pi * r1^2 * h$$

$$V2 = \pi * r2^2 * h$$

$$Vp3 = V2 - V1$$

$$Vp3 = ((\pi * r2^2 * h) - (\pi * r1^2 * h))$$

$$Vp3 = \pi * h * (r2^2 - r1^2)$$

$$Vp3 = \pi * 0.0075m * ((0.076m)^2) - (0.070m)^2)$$

$$Vp3 = 7,539822 \times 10^{-5} m^3$$

Volumen total de la polea es la suma de todas sus partes

$$VT = Vp1 + Vp2 + Vp3$$

$$VT = 4,1280 \times 10^{-5} m^3 + 7,539822 \times 10^{-5} m^3 + 7,539822 \times 10^{-5} m^3$$

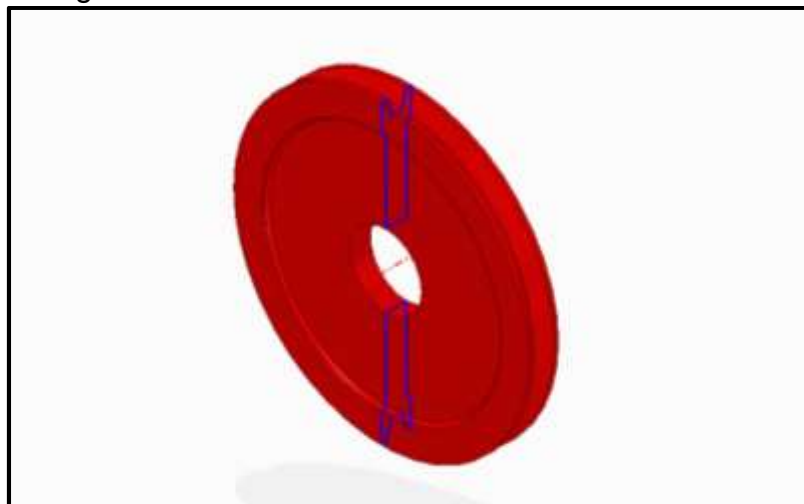
$$VT = 19.207644 \times 10^{-4} m^3$$

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$\rho * V = m$$

$$m = 2800 \frac{Kg}{m^3} * 19.207644 \times 10^{-4} m^3 = 0,537814 Kg$$

Imagen 30. Polea conductora



Fuente: elaboración propia.

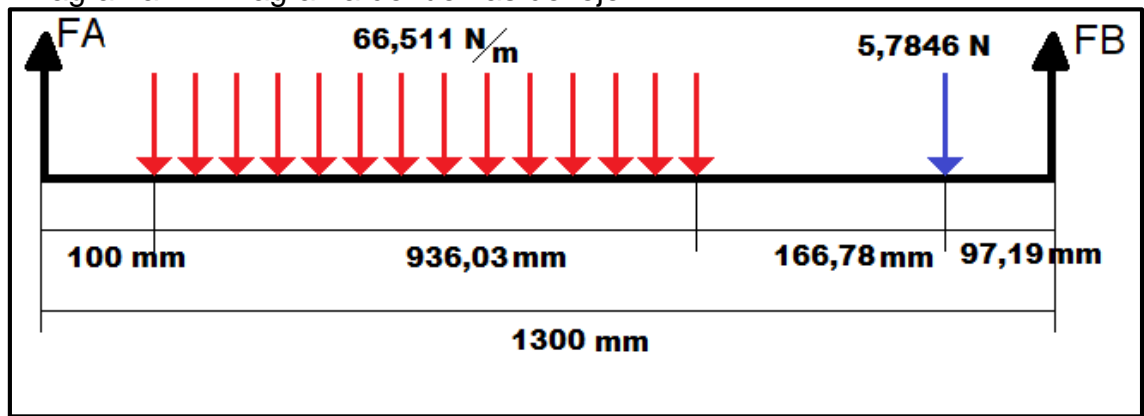
Tabla 24. Fuerzas sobre el eje

| Componente | Material | Masa (kg) solid edge | Masa (kg) solid edge | Fuerza |
|------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------|---------------|
| Turbina | Aluminio 2024 – T4 | 6,780 | 6,231 | 66,511 N/m |
| Polea conductora | Aluminio 2024 – T4 | 0,58967 | 0,537814 | 5,784 N |

Fuente: elaboración propia

Las fuerzas están distribuidas a lo largo del eje de la siguiente manera:

Diagrama 17. Diagrama de fuerzas del eje



Fuente: elaboración propia

Se realiza la sumatoria de fuerzas en X, Y, y la sumatoria de momentos para calcular las reacciones que las fuerzas generan sobre los soportes del eje.

$$\sum f_x = 0$$

$$\sum f_y = 0 = f_A + (-62,256N) + (-5,7846N) + f_B$$

$$f_A = 68,0406 N - f_B$$

$$\sum M = 0$$

$$\sum M = (f_A * 0) + (-62,256N * 0,568015m) + (-5,7846N * 1,20281m) + (f_B * 1,3m)$$

$$\sum M = 0 + (-42,32011 Nm) + (f_B * 1,3m)$$

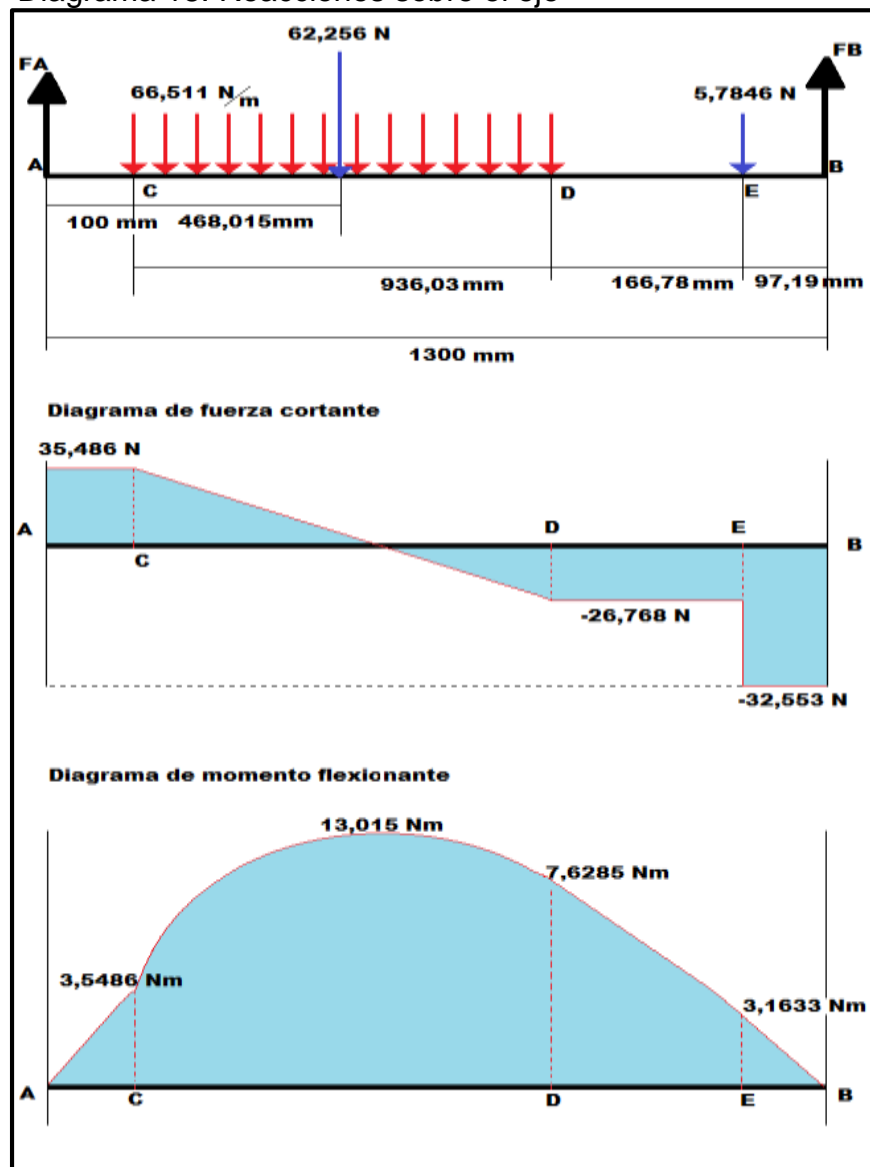
$$f_B = \frac{42,32011 \text{ Nm}}{1,3 \text{ m}} = 32,553 \text{ N}$$

$$f_A = 68,0406 \text{ N} - 32,553 \text{ N}$$

$$f_A = 35,486 \text{ N}$$

A continuación, se muestra el diagrama de esfuerzo cortante y momento flector que causan las fuerzas aplicadas sobre el eje.

Diagrama 18. Reacciones sobre el eje



Fuente: elaboración propia

Análisis estático:

En este análisis se verifica que el eje no falle al aplicar las cargas que cada componente ejerce sobre este. Es necesario para comprobar la resistencia estática a cargas nominales.

Ya que se trata de un eje de sección transversal uniforme, circular y sólida se calcula el diámetro mediante Von Mises:

$$d_e = \left[\frac{16 N}{\pi S_y} (4M^2 + 3T^2)^{1/2} \right]^{1/3}$$

Con ayuda de la teoría de falla estática al punto más crítico, en el cual están presentes el momento máximo (13,015 Nm) y el par torsor máximo (31,8 Nm). Se tiene un S_y de 531 MPA y se asume un factor de seguridad de 2.

$$d_e = \left[\frac{16 (2)}{\pi \left(531 \times 10^6 \frac{N}{m^2} \right)} (4(13,015 \text{ Nm})^2 + 3(31,8 \text{ Nm})^2)^{1/2} \right]^{1/3} = 0,01031742 \text{ m}$$

Por la teoría de falla el diámetro para el eje debe ser de 10,31742 mm. Este debe ser el diámetro mínimo que soporta las cargas a las que es sometido el eje, con lo cual se verifica que el diámetro escogido del eje está por encima del diámetro mínimo.

Análisis de fatiga:

Los ejes deben ser capaces de soportar cargas normales de trabajo y las cargas máximas que se pueden generar durante el funcionamiento del sistema, ya que al ser cargas variables de debe verificar la resistencia a la fatiga y las cargas dinámicas que se presentan en el árbol.

Para este análisis se usa el método propuesto por la ASME, según la norma ANSI/ASME B106. 1M – 1985, ya que en el proyecto se tienen todos los datos para aplicar este método

$$D = \left[\frac{32 * N}{\pi} * \sqrt{\left(K_f * \frac{M}{S_n} \right)^2 + \frac{3}{4} * \left[\frac{T}{S_y} \right]^2} \right]^{1/3}$$

Donde:

D es el diámetro mínimo del eje

K_f es la concentración de esfuerzos

N es el factor de diseño.

S_n es el valor de resistencia a la fatiga corregida.

M es el momento flexionante.

T es el torque máximo al que es sometido el eje.

S_y es el esfuerzo de fluencia.

Primero se deben hallar los valores de K_f y S_n

El factor de concentrador de esfuerzo se halla de la siguiente manera:

$$K_f = 1 + q(K_t - 1)$$

Donde q es el índice de sensibilidad a la entalla y K_t es el coeficiente teórico de concentración de esfuerzo. Debido a que en el eje se fijan los componentes a su lugar mediante anillos retenedores, por lo tanto, existen concentradores de esfuerzos y se tiene que q es de 0 y K_t es de 1,5.

Para la resistencia a la fatiga corregida, S_n , se toma en cuenta el efecto del estado superficial, del tamaño, de la confiabilidad, y del tipo de carga. Ya que el material es acero y para este está considerado un número de ciclos mayores a 10^6 . Se halla de la siguiente manera:

$$S_n = K S'_e$$

Donde

K es el coeficiente que modifica la resistencia

S'_e es el límite de fatiga

El límite de fatiga se halla con el esfuerzo último del material que para este caso es de 565 Mpa.

$$S'_e = 0,5 S_u$$

$$S'_e = 0,5 (565 \text{ MPa}) = 282,5 \text{ MPa}$$

Para hallar el factor de diseño en un material dúctil se tiene en cuenta la siguiente información.

Imagen 29. Factor de diseño para materiales dúctiles.

| Materiales dúctiles | |
|---------------------|--|
| 1. | $N = 1.25$ a 2.0 . El diseño de estructuras bajo cargas estáticas, para las que haya un alto grado de confianza en todos los datos del diseño. |
| 2. | $N = 2.0$ a 2.5 . Diseño de elementos de máquina bajo cargas dinámicas con una confianza promedio en todos los datos de diseño. Es la que se suele emplear en la solución de los problemas de este libro. |
| 3. | $N = 2.5$ a 4.0 . Diseño de estructuras estáticas o elementos de máquina bajo cargas dinámicas con incertidumbre acerca de las cargas, propiedades de los materiales, análisis de esfuerzos o el ambiente. |
| 4. | $N = 4.0$ o más. Diseño de estructuras estáticas o elementos de máquinas bajo cargas dinámicas, con incertidumbre en cuanto a alguna combinación de cargas, propiedades del material, análisis de esfuerzos o el ambiente. El deseo de dar una seguridad adicional a componentes críticos puede justificar también el empleo de estos valores. |

Fuente: “Cargas variables,” en Diseño de elementos de máquinas, Universidad Tecnológica de Pereira

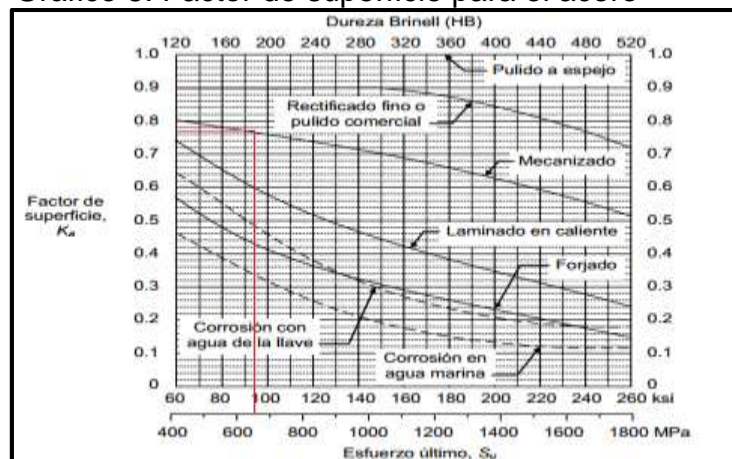
Para calcular el coeficiente que modifica la resistencia, se tiene:

$$K = K_a K_b K_c K_d K_e K_{car}$$

Donde:

- K_a : factor de superficie

Gráfico 5. Factor de superficie para el acero



Fuente: “Cargas variables,” en Diseño de elementos de máquinas, Universidad Tecnológica de Pereira

El gráfico anterior nos da el factor de superficie, ya que el acabado va a ser mecanizado el factor de superficie es de 0,77.

- K_b : Factor de tamaño

Imagen 30. Factor de tamaño

| | |
|--|---------------------|
| $K_b = 1, \quad \text{si } d_e \leq 8 \text{ mm (0.3 in)}$ $K_b = 1.189 d_e^{-0.097}, \quad \text{si } 8 \text{ mm} < d_e \leq 250 \text{ mm}$ $(K_b = 0.869 d_e^{-0.097}, \quad \text{si } 0.3 \text{ in} < d_e \leq 10 \text{ in})$ $K_b = 0.6, \quad \text{si } d_e > 250 \text{ mm (10 in),}$ | } Flexión o torsión |
|--|---------------------|

Fuente: "Cargas variables," en Diseño de elementos de máquinas, Universidad Tecnológica de Pereira

Ya que el diámetro del eje es de 14 mm, se tiene que:

$$K_b = 1,189 d_e^{-0,097} = 1,189 (14 \text{ mm})^{-0,097} = 0,92046533$$

- K_c : Factor de confiabilidad

Tabla 25. Factores de confiabilidad.

| Confiabilidad (%) | 50 | 90 | 99 | 99.9 | 99.99 | 99.999 |
|-------------------|----|-------|-------|-------|-------|--------|
| K_c | 1 | 0.897 | 0.814 | 0.753 | 0.702 | 0.659 |

Fuente: "Cargas variables," en Diseño de elementos de máquinas, Universidad Tecnológica de Pereira

Ya que se busca una confiabilidad del 99%, el K_c es de 0,814.

- K_d : Factor de temperatura

Debido a que la temperatura de funcionamiento es menor a 450 °C, el K_d es de 1.

- K_e : Factor de efectos varios

Ya que se considera que no abra corrosión, ni algún tipo de efecto residual, se tiene que K_e es de 1.

- K_{car} : Factor de carga

Este factor es la relación que existe entre el tipo de carga y el límite de fatiga, esta relación da que el K_{car} es de 1 para flexión.

Finalmente, con los factores hallados anteriormente se puede hallar la resistencia a la fatiga corregida.

$$S_n = (0,77)(0,92046533)(0,814)(1)(1)(1)(282,5 \text{ MPa}) = 162,982516 \text{ MPa}$$

Por lo tanto, tenemos los datos necesarios para halla el diámetro mínimo para el eje

$$D = \left[\frac{32 * 2}{\pi} * \sqrt{\left(1 * \frac{13,015 \text{ Nm}}{162,982516 \times 10^6 \text{ Pa}}\right)^2 + \frac{3}{4} * \left[\frac{31,8 \text{ Nm}}{531 \times 10^6 \text{ Pa}}\right]^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$D = 0,012471485 \text{ m} = 12,471485 \text{ mm}$$

El diámetro mínimo del eje para soportar las cargas producidas por los diferentes componentes que hacen parte del sistema es de 12,471485 mm, con lo cual se verifica que el diámetro escogido del eje está por encima del diámetro mínimo.

Resistencia del eje a deflexión máxima:

El momento flector máximo es el causante de la deflexión máxima del eje, este se da en el punto más crítico, tiene un valor de 13,015 Nm y está a 568,015 mm.

La condición para que el eje sea capaz de soportar la deflexión máxima está condicionada a la siguiente expresión:

$$\frac{M}{W_x} \leq \frac{S_y}{N}$$

Donde

W_x es el momento de resistencia:

$$W_x = \frac{\pi d_e^3}{32}$$

$$W_x = \frac{\pi (0,0127\text{m})^3}{32} = 6,4012 \times 10^{-8} \text{ m}^3$$

Con este valor verificamos que la relación se cumpla

$$\frac{13,015 \text{ Nm}}{6,4012 \times 10^{-8} \text{ m}^3} \leq \frac{531 \times 10^6 \text{ Pa}}{2}$$

$$203,3213515 \times 10^6 \text{ Pa} \leq 265,5 \times 10^6 \text{ Pa}$$

La relación se cumple, lo cual indica que el árbol soporta la deflexión máxima a la cual está sometido.

La deflexión máxima se halla mediante:

$$\delta_{max} = \frac{F_v L_{AB}^3}{48 EI}$$

Donde

F_v es la fuerza que ejercen los componentes sobre el eje

L_{AB} es la distancia entre rodamientos

E es el módulo de elasticidad

I es el momento de inercia

El momento de inercia se halla mediante la siguiente formula:

$$I = \frac{\pi}{64} d_e^4 = \frac{\pi}{64} (0,014\text{m})^4$$

$$I = 1,88574 \times 10^{-9} \text{ m}^4$$

Con este valor ya se puede hallar el valor de la deflexión máxima

$$\delta_{max} = \frac{68,0406 \text{ N} * (1,3 \text{ m})^3}{48 (200 \times 10^9 \text{ Pa})(1,88574 \times 10^{-9} \text{ m}^4)} = 0,00825743 \text{ m}$$

La deflexión máxima que sufre el árbol es de 0,00825743 mm. Para calcular el ángulo máximo de deflexión se usa:

$$\theta_{max} = \frac{F_v L_{AB}^2}{16 EI}$$

$$\theta_{max} = \frac{68,0406 \text{ N} (1,3)^2}{16 (200 \times 10^9 \text{ Pa})(1,88574 \times 10^{-9} \text{ m}^4)} = 0,0190556 \text{ rad}$$

El ángulo de deflexión máximo es de 0,0190556 rad lo cual equivale a 1,091805°, este valor es necesario para seleccionar el tipo de rodamiento a utilizar, ya que este tiene un ángulo permisible, el cual tiene que ser mayor.

Inercia del eje

Para hallar el momento de inercia del árbol se usa la siguiente ecuación:

$$I = \frac{1}{2} * M * R^2$$

Donde:

I es el momento de inercia

M es la masa del eje

R es el radio del eje

$$I = \frac{1}{2} * 1,274 \text{ Kg} * (0,635 \text{ cm})^2$$

$$I = 0,0000256854325000 \text{ Kg} * m^2$$

También se halla el momento de inercia teniendo en cuenta la longitud total del eje, se evaluará en el centro y en el extremo de este. Estas se hallan mediante las ecuaciones:

$$I_{Dcentral} = \left(\frac{1}{4} * M * R^2 \right) + \left(\frac{1}{12} * M * L^2 \right)$$

$$I_{Dextremo} = \left(\frac{1}{4} * M * R^2 \right) + \left(\frac{1}{3} * M * L^2 \right)$$

$$I_{Dcentral} = \left(\frac{1}{4} * 1,274 \text{ Kg} * (0,635 \text{ cm})^2 \right) + \left(\frac{1}{12} * 1,274 \text{ Kg} * (0,635 \text{ cm})^2 \right)$$

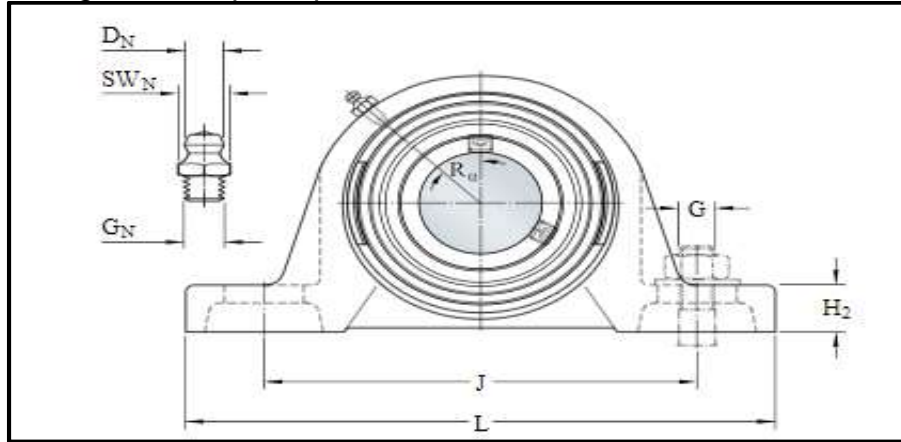
$$I_{Dextremo} = \left(\frac{1}{4} * 1,274 \text{ Kg} * (0,635 \text{ cm})^2 \right) + \left(\frac{1}{3} * 1,274 \text{ Kg} * (0,635 \text{ cm})^2 \right)$$

$$I_{Dcentral} = 0,179434509 \text{ Kg} * m^2$$

$$I_{Dextremo} = 0,7176995093829170 \text{ Kg} * m^2$$

3.3.3.1. Selección del soporte del eje. Estos soportes son rodamientos, este es un apoyo para evitar flexiones en el eje, se utilizarán dos ubicados en ambos extremos de este. Para su selección se debe conocer las cargas tanto estáticas como dinámicas, La carga dinámica que se presenta en el sistema se halla de acuerdo con la carga axial la cual es la misma carga aerodinámica y la carga estática según los pesos de los componentes que afectan al eje.

Imagen 31. Soporte para rodamientos



Fuente: SKF [sitio web]. Colombia: soporte para rodamientos. [consulta 22 diciembre 2018]. Disponible en: <https://www.skf.com>

- **Selección de rodamientos**

Los rodamientos son los elementos que permiten girar al eje libremente, para esta selección se tiene como parámetro principal el diámetro del árbol. Y aspectos secundarios como el espacio disponible, el tipo de cargas que soporta el eje.

Imagen 32. Capacidad de carga relativa para rodamientos.

| Tipo de rodamiento | Capacidad carga radial | | | | Capacidad carga axial | | | |
|---|------------------------|---|---|---|-----------------------|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Rodamientos rígidos de bolas de una hilera de ranura profunda | █ | | | | █ | | | |
| Rodamientos de bolas de contacto angular de una sola hilera | █ | | | | █ | █ | | |
| Rodamientos de rodillos(1) cilíndricos | █ | █ | | | | | | |

Fuente: NSK [sitio web]. Colombia: rodamientos. [consulta 22 diciembre 2018]. Disponible en: Catálogo rodamientos NSK CAT No. E1102c

Para este caso se seleccionan los rodamientos de bolas rígidos de una hilera de ranura profunda, ya que son adecuados para soportar las cargas generadas en el eje.

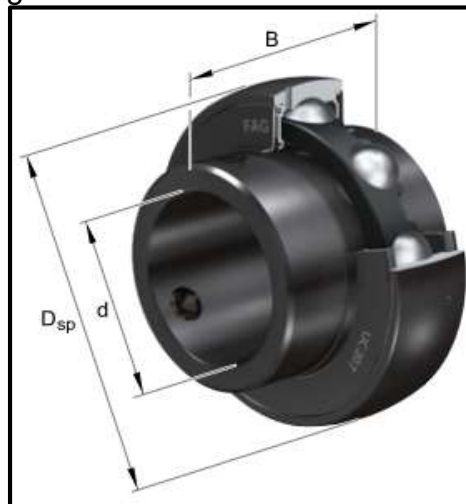
Considerando que el eje tiene un diámetro de 12,7 mm donde se ubican los rodamientos, se selecciona un rodamiento de bolas rígidos de una hilera de ranura profunda, serie UC de ASAHI, se debe verificar que el rodamiento soporte las cargas estáticas como dinámicas a las que este está sometido.

Tabla 26. Dimensiones de rodamientos de bolas serie UC.

| Referencias | Peso m ≈kg | Dimensiones | | | | | | | | | | | Capacidades de carga | |
|-------------|------------------|-------------|-------|-----------------|----|----------------|----|------|----------------|-----|---|-----|-----------------------------|------------------------------|
| | | d | | D _{sp} | C | C ₂ | B | S | d ₁ | Ca | A | W | dín. C _r N | est. C _{0r} N |
| | | mm | inch | | | | | | | | | | | |
| UC201 | 0,2 | 12 | - | 47 | 17 | 16,8 | 31 | 12,7 | 27,56 | 4,2 | 5 | 3 | 13 600 | 6 600 |
| UC201-08 | 0,2 | 12,7 | 1/2 | | | | | | | | | 1/8 | | |
| UC202-09 | 0,19 | 14,29 | 9/16 | | | | | | | | | 1/8 | | |
| UC202 | 0,18 | 15 | - | | | | | | | | | 3 | | |
| UC202-10 | 0,18 | 15,88 | 5/8 | | | | | | | | | 1/8 | | |
| UC203 | 0,17 | 17 | - | | | | | | | | | 3 | | |
| UC203-11 | 0,17 | 17,46 | 11/16 | | | | | | | | | 1/8 | | |
| UC204-12 | 0,16 | 19,05 | 3/4 | | | | | | | | | 1/8 | | |
| UC204 | 0,15 | 20 | - | | | | | | | | | 3 | | |

Fuente: ASAHI. [sitio web]. Japón: ASAHI, Catálogo rodamientos. [consulta 10 abril 2019]. Disponible en: <https://www.asahiseiko.co.jp/english/catalog.html>

Imagen 33. Dimensiones rodamiento



Fuente: ASAHI. [sitio web]. Japón: ASAHI, Catálogo rodamientos. [consulta 10 abril 2019]. Disponible en: <https://www.asahiseiko.co.jp/english/catalog.html>

Para verificar el rodamiento se hace un análisis de cargas estáticas y dinámicas con las fuerzas que están presentes en este. A continuación, se desarrolla en cálculo de la carga estática equivalente y dinámica equivalente:

Tabla 27. Parámetros carga dinámica

| b | $\frac{F_a}{F_r} \leq b$ | | $\frac{F_a}{F_r} > b$ | |
|------|--------------------------|-----|-----------------------|------|
| | X | Y | X | Y |
| 0.19 | 1 | 0 | 0.56 | 2.30 |
| 0.22 | 1 | 0 | 0.56 | 1.99 |
| 0.26 | 1 | 0 | 0.56 | 1.71 |
| 0.28 | 1 | 0 | 0.56 | 1.55 |
| 0.30 | 1 | 0 | 0.56 | 1.45 |

Fuente: NSK MOTION D CONTROL. [sitio web].
 Barcelona: NSK, manual. [consulta: 10 abril 2019].
 Disponible en
<https://www.nskeurope.es/es/company/news-search/2016-press/nsk-updates-rolling-bearings.html#>

Análisis rodamiento A

- Carga dinámica equivalente

La carga dinámica equivalente de los rodamientos de bolas de contacto angular se obtiene de la siguiente manera:

$$P_{de} = X * F_r + Y * F_a$$

Donde

F_a es la fuerza axial
 F_r es la fuerza radial

$$\frac{F_a}{F_r} = 0 \leq b$$

Lo que se obtiene que:

$$P_{de} = F_r$$

$$P_{de} = 35,486 \text{ N}$$

Con el valor de P_{de} del rodamiento se verifica que la relación para que el rodamiento soporte las cargas.

$$\frac{C_r}{P_{de}} > 1$$

$$\frac{13600 \text{ N}}{35,486 \text{ N}} > 1$$

$$383,242 > 1$$

La relación se cumple, lo que verifica que el rodamiento A es capaz de soportar la carga dinámica a la cual es sometido.

- Carga estática equivalente

La carga estática equivalente de los rodamientos de bolas de contacto angular se obtiene de la siguiente manera:

$$\frac{F_a}{F_r} > 0,8 \rightarrow P_o = 0,6 * F_r + 0,5 * F_a$$

$$\frac{F_a}{F_r} < 0,8 \rightarrow P_o = F_r$$

$$P_o = 35,486 \text{ N}$$

Con el valor de P_o del rodamiento se verifica que la relación para que el rodamiento soporte las cargas.

$$\frac{C_{or}}{P_o} > 1$$

$$\frac{6600 \text{ N}}{35,486 \text{ N}} > 1$$

$$185,985 > 1$$

La relación se cumple, lo que verifica que el rodamiento A es capaz de soportar la carga estática a la cual es sometido.

Análisis rodamiento B

- Carga dinámica equivalente

La carga dinámica equivalente de los rodamientos de bolas de contacto angular se obtiene de la siguiente manera:

$$P_{de} = X * F_r + Y * F_a$$

Donde

F_a es la fuerza axial

F_r es la fuerza radial

$$\frac{F_a}{F_r} = 0 \leq b$$

Lo que se obtiene que:

$$P_{de} = F_r$$

$$P_{de} = 32,553 \text{ N}$$

Con el valor de P_{de} del rodamiento se verifica que la relación para que el rodamiento soporte las cargas.

$$\frac{C_r}{P_{de}} > 1$$

$$\frac{13600 \text{ N}}{32,553 \text{ N}} > 1$$

$$417,768 > 1$$

La relación se cumple, lo que verifica que el rodamiento B es capaz de soportar la carga dinámica a la cual es sometido.

- Carga estática equivalente

La carga estática equivalente de los rodamientos de bolas de contacto angular se obtiene de la siguiente manera:

$$\frac{F_a}{F_r} > 0,8 \rightarrow P_o = 0,6 * F_r + 0,5 * F_a$$

$$\frac{F_a}{F_r} < 0,8 \rightarrow P_o = F_r$$

$$P_o = 32,553 \text{ N}$$

Con el valor de P_o del rodamiento se verifica que la relación para que el rodamiento soporte las cargas.

$$\frac{C_{or}}{P_o} > 1$$

$$\frac{6600 \text{ N}}{32,553 \text{ N}} > 1$$

$$202,740 > 1$$

La relación se cumple, lo que verifica que el rodamiento B es capaz de soportar la carga estática a la cual es sometido.

Tabla 28. Rodamientos seleccionados.

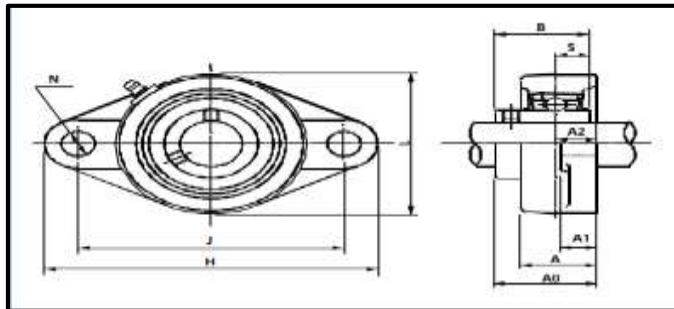
| Rodamiento | Tipo | d (mm) | D _{sp} (mm) | B (mm) | Referencia |
|------------|--|--------|----------------------|--------|------------|
| A | Rodamientos de bolas de contacto angular | 20 | 47 | 31 | UC 201-08 |
| B | | | | | |

Fuente: elaboración propia.

- **Selección del soporte para rodamientos**

Para unir el rodamiento seleccionado con la estructura del Mini Cooper se usa un soporte de rodamiento.

Imagen 34. Especificaciones para soportes de rodamientos



Fuente: ASAHI [sitio web]. Colombia: soporte para rodamientos. [consulta 22 diciembre 2018]. Disponible en: Catálogo rodamientos ASAHI

Para soporte de rodamientos se escoge un tipo brida rómbica con tornillos de apriete.

Tabla 29. Especificaciones del soporte para rodamientos seleccionado.

| Referencia | D *P (mm) | K (mm) | J (mm) | A2 (mm) | A1 (mm) | A (mm) | N (mm) | L (mm) | A0 (mm) | F (mm) | S (mm) | Tamaño | Roda- miento | Soporte | Peso (Kg) |
|------------|-----------------|-----------|-----------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|--------|-----------------|---------|--------------|
| UCFL201 | 12 | 113 | 90 | 15 | 12 | 25.5 | 12 | 60 | 33.3 | 3.1 | 12.7 | M10 | UC201 | R. 204 | 0.47 |
| UCFL202 | 15 | 113 | 90 | 15 | 12 | 25.5 | 12 | 60 | 33.3 | 3.1 | 12.7 | M10 | UC202 | R. 204 | 0.45 |
| UCFL204 | 20 | 113 | 90 | 15 | 12 | 25.5 | 12 | 60 | 33.3 | 3.1 | 12.7 | M10 | UC204 | R. 204 | 0.4 |
| UCFL206 | 30 | 140 | 117 | 18 | 14 | 31 | 16 | 80 | 40.2 | 38.1 | 15.9 | M14 | UC206 | R. 206 | 0.9 |
| UCFL207 | 35 | 161 | 130 | 19 | 16 | 34 | 16 | 90 | 44.4 | 42.9 | 17.5 | M14 | UC207 | R. 207 | 1.2 |
| UCFL208 | 40 | 175 | 144 | 21 | 16 | 36 | 16 | 100 | 51.2 | 49.2 | 19 | M14 | UC208 | R. 208 | 1.5 |
| UCFL209 | 45 | 188 | 148 | 22 | 18 | 38 | 19 | 108 | 52.2 | 49.2 | 19 | M16 | UC209 | R. 209 | 1.9 |
| UCFL210 | 50 | 197 | 157 | 22 | 18 | 40 | 19 | 115 | 54.6 | 51.6 | 19 | M16 | UC210 | R. 210 | 2.2 |
| UCFL211 | 55 | 224 | 184 | 25 | 20 | 43 | 19 | 130 | 58.4 | 55.6 | 22.2 | M16 | UC211 | R. 211 | 3.2 |
| UCFL212 | 60 | 250 | 202 | 29 | 20 | 48 | 23 | 140 | 66.7 | 65.1 | 25.4 | M20 | UC212 | R. 212 | 4.1 |
| UCFL213 | 65 | 276 | 210 | 30 | 24 | 50 | 23 | 155 | 69.7 | 65.1 | 25.4 | M20 | UC213 | R. 213 | 5.1 |
| UCFL214 | 70 | 285 | 216 | 31 | 24 | 54 | 23 | 160 | 75.4 | 74.6 | 30.2 | M20 | UC214 | R. 214 | 6.0 |
| UCFL215 | 75 | 275 | 225 | 34 | 24 | 56 | 23 | 165 | 78.5 | 77.8 | 33.3 | M20 | UC215 | R. 215 | 6.5 |
| UCFL216 | 80 | 290 | 233 | 34 | 24 | 58 | 25 | 180 | 83.3 | 82.6 | 33.3 | M22 | UC216 | R. 216 | 8.0 |
| UCFL217 | 85 | 335 | 248 | 36 | 26 | 63 | 25 | 190 | 87.6 | 85.7 | 34.1 | M22 | UC217 | R. 217 | 9.5 |
| UCFL218 | 90 | 320 | 265 | 40 | 26 | 68 | 25 | 205 | 96.3 | 96 | 39.7 | M22 | UC218 | R. 218 | 11.9 |

Fuente: ASAHI [sitio web]. Colombia: soporte para rodamientos. [consulta 22 diciembre 2018]. Disponible en: Catálogo rodamientos ASAHI

El soporte para rodamiento más adecuado es el FL 204

3.3.3.2. Selección de los anillos retenedores. Los anillos retenedores se seleccionan mediante el catálogo de SKF, estos se seleccionan teniendo en cuenta el diámetro de la sección del eje donde estos van a ir ubicados, el cual es de 12,7 mm.

Tabla 30. Anillos retenedores.

| NO. DE ANILLO | DIAMETRO DEL EJE | | | TAMANO DE RANURA | | | | | | TAMANO Y PESO DEL ANILLO | | | | DIAM. LIMITE | | | CARGA DE EMPUJE (lb) | |
|---------------|------------------|---------|-------|------------------|---------|---------|---------|-------------|------|--------------------------|------|------------|------|----------------------|------------------------|--------------------|---------------------------|--|
| | | | | DIAMETRO | | ANCHURA | | PROFUNDIDAD | | DIAMETRO LIBRE | | ESPESOR*** | | Peso por 1000 piezas | Expandido Sobre el Eje | Liberado la Ranura | Lmites de esquinas rectas | |
| | Ds DEC | Ds FRAC | Ds mm | Dg Tol. | W Tol. | d | Df Tol. | T Tol. | Tol. | Tol. | lbs. | L1 | L2 | Pr | Pg | | | |
| **SH-12 | 125 | 1/8 | 3.2 | 117 | | 012 | | .004 | .112 | | .010 | | .018 | 222 | 214 | 112 | 36 | |
| **SH-15 | 156 | 5/32 | 4.0 | 146 | | 012 | | .005 | .142 | | .010 | | .037 | 27 | 260 | 132 | 55 | |
| **SH-18 | 188 | 3/16 | 4.8 | 175 | ± .0015 | 018 | + .002 | .006 | .168 | + .002 | .015 | | .069 | 298 | 286 | 244 | 80 | |
| **SH-19 | 197 | - | 5.0 | 185 | .0015* | 018 | - .000 | .006 | .179 | .004 | .015 | | .063 | 319 | 307 | 254 | 85 | |
| **SH-21 | 219 | 7/32 | 5.6 | 205 | | 018 | | .007 | .196 | | .015 | | .074 | 338 | 324 | 284 | 110 | |
| **SH-23 | 236 | 15/64 | 6.0 | 222 | | 018 | | .007 | .215 | | .015 | | .086 | 355 | 341 | 316 | 120 | |
| SH-25 | 250 | 1/4 | 6.4 | 230 | | 029 | | .010 | .225 | | .025 | | .21 | 45 | 43 | 599 | 175 | |
| SH-27 | 276 | - | 7.0 | 255 | | 029 | | .010 | .250 | | .025 | | .23 | 48 | 46 | 660 | 195 | |
| SH-28 | 281 | 9/32 | 7.1 | 261 | | 029 | | .010 | .256 | | .025 | | .24 | 49 | 47 | 670 | 200 | |
| SH-31 | 312 | 5/16 | 7.9 | 290 | | 029 | | .011 | .281 | | .025 | | .27 | 54 | 52 | 751 | 240 | |
| SH-34 | 344 | 11/32 | 8.7 | 321 | ± .002 | 029 | | .011 | .309 | | .025 | | .31 | 57 | 55 | 812 | 265 | |
| SH-35 | 354 | - | 9.0 | 330 | .002* | 029 | | .012 | .320 | + .002 | .025 | | .35 | 59 | 57 | 832 | 300 | |
| SH-37 | 375 | 3/8 | 9.5 | 352 | | 029 | | .012 | .338 | + .005 | .025 | | .39 | 61 | 59 | 883 | 320 | |
| SH-39 | 394 | - | 10.0 | 369 | | 029 | | .012 | .354 | | .025 | | .42 | 62 | 60 | 954 | 335 | |
| SH-40 | 405 | 13/32 | 10.3 | 382 | | 029 | | .012 | .366 | | .025 | | .43 | 63 | 61 | 964 | 350 | |
| SH-43 | 438 | 7/16 | 11.1 | 412 | | 029 | | .013 | .396 | | .025 | | .50 | 66 | 64 | 1035 | 400 | |
| SH-46SP1 | 461 | - | 11.7 | 435 | | 029 | | .013 | .420 | | .025 | | .51 | 68 | 66 | 1110 | 460 | |
| SH-46 | 460 | 15/32 | 11.9 | 443 | | 029 | | .013 | .428 | | .025 | | .54 | 68 | 66 | 1117 | 460 | |
| SH-50 | 500 | 1/2 | 12.7 | 468 | ± .002 | 039 | + .003 | .016 | .461 | | .035 | | .91 | 77 | 74 | 1675 | 550 | |
| SH-55 | 551 | - | 14.0 | 519 | .004* | 039 | - .000 | .016 | .509 | | .035 | ± .002 | .90 | 81 | 78 | 1800 | 600 | |
| SH-56 | 562 | 9/16 | 14.3 | 530 | | 039 | | .016 | .521 | | .035 | | 1.1 | 82 | 79 | 1978 | 650 | |
| SH-59 | 594 | 19/32 | 15.1 | 559 | | 039 | | .017 | .550 | | .035 | | 1.2 | 86 | 83 | 1979 | 750 | |
| SH-62 | 625 | 5/8 | 15.9 | 588 | | 039 | | .018 | .579 | | .035 | | 1.3 | 90 | 87 | 2091 | 800 | |
| SH-66 | 669 | - | 17.0 | 629 | | 039 | | .020 | .621 | + .005 | .035 | | 1.4 | 93 | 89 | 2233 | 950 | |

Fuente: SKF [sitio web]. Colombia: anillos retenedores. [consulta 22 diciembre 2018]. Disponible en: SKF.com/anillos_retenedores/

Los más adecuados son los anillos SH-50

Imagen 35. Ubicación de los anillos retenedores

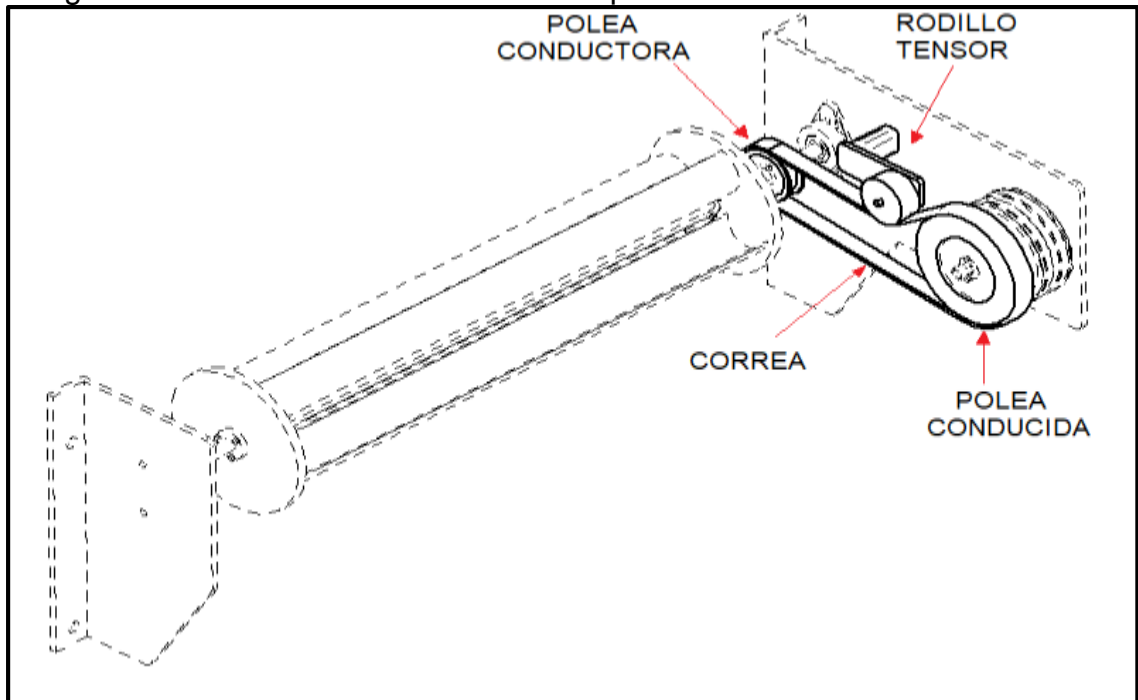


Fuente: elaboración propia

3.4. SUBSISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA.

Este subsistema se compone por el eje de la turbina, el sistema de transmisión de potencia necesario para transmitir la potencia de la turbina al generador y el rodillo tensor.

Diagrama 19. Subsistema transmisión de potencia



Fuente: elaboración propia

Tabla 31. Parámetros de diseño del sistema de transmisión de potencia

| | Diseño | Selección | Parámetros |
|-------------|----------------------|---------------------|--|
| Transmisión | Polea PQ 1-3V 90 | | RPM del eje motriz Potencia Efectiva |
| | Polea PQ 1-3V 105 | | RPM del eje motriz Diámetro de la Polea motriz |
| | | Correa A41 | RPM eje conducido RPM del eje más rápido Distancia entre ejes |
| | | Buje taper 1610 | Diámetro del eje Diámetro de la polea mayor |
| | | Rodillo tensor SE11 | Perfil de la correa Diámetro de la polea menor Numero de correas |

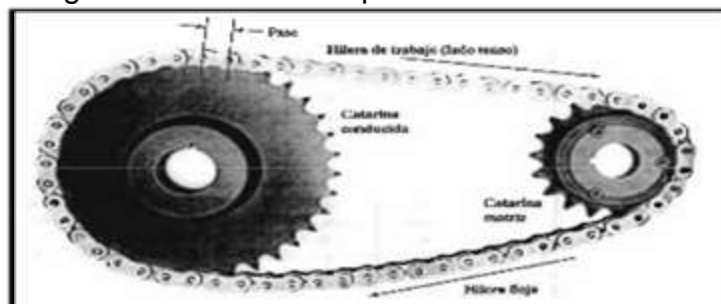
Fuente: elaboración propia

3.4.1. Selección del sistema de transmisión de potencia. A continuación, se realizará una un análisis del subsistema de transmisión de potencia para así poder determinar el más óptimo, para ello se plantearán tres alternativas de solución, las cuales tienen funcionamiento distinto, pero logran una misma eficiencia.

- Transmisión por cadena.

Sistema de transmisión por cadena. Este elemento de transmisión de potencia se encuentra conformado por una serie de eslabones, con los cuales es transmitido el movimiento, estas pasaran sobre una rueda dentada correspondiente llamada Catarina, en donde se tienen dos o más ejes, los cuales estarán conectados por medio de una cadena a una Catarina, la cual ara mover el otro eje y así de esta manera ir multiplicando los rpm hasta llegar a las revoluciones requeridas.

Imagen 36. Transmisión por cadena



Fuente: Diseño elementos de máquina- Robert L. Mott. Cuarta edición

Tabla 32. Ventajas y desventajas Alternativa 1

| Ventajas | Desventajas |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Posee componentes ligeros. • Poco desgaste entre componentes • Fácil instalación | <ul style="list-style-type: none"> • Algo ruidosas • Producen pequeñas vibraciones • Los ejes tienen que estar alineados |

Fuente: elaboración propia.

- Transmisión por correas en V.

Sistema de transmisión por Bandas en “V”. las bandas en “V” son fabricadas con elastómeros y reforzadas con hilos metálicos para aumentar su resistencia, la polea posee una ranura en “V” igual a la de la correa lo cual permite la sucesión, puesto que esta trabaja a tensión, de esta manera permitiendo llegar a las revoluciones requeridas

Imagen 37. Transmisión por correa en “V”



Fuente: INTERMEC. [sitio web]. Colombia: intermec, Manual de poleas en “V”. [consulta 18 de abril 2019]. Disponible en: https://www.intermec.com.co/poleas_v.php

Tabla 33. Ventajas y desventajas alternativa 2

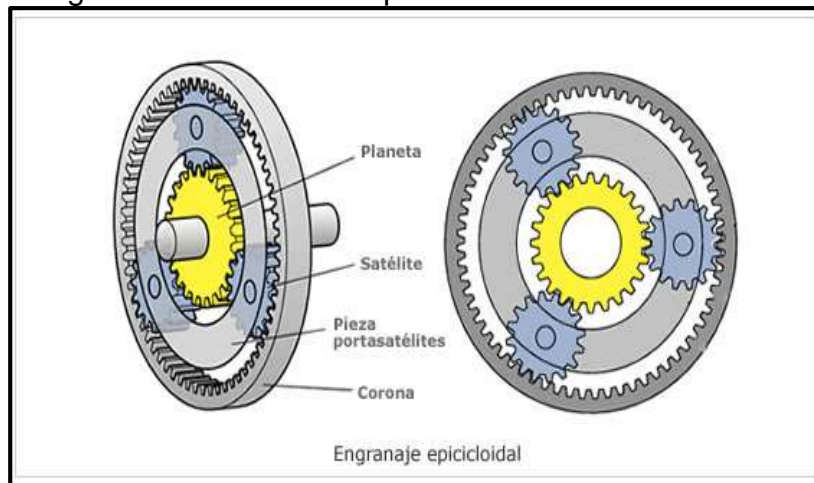
| Ventajas | Desventajas |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Posee componentes ligeros. • Son silenciosas y suave. • Permite la trasmisión entre ejes no paralelos. • Fácil mantenimiento | <ul style="list-style-type: none"> • Control en el tensado de la correa. • Las correas son más susceptibles a factores ambientales |

Fuente: elaboración propia.

- Transmisión epicicloidal.

Sistema de transmisión epicicloidal. Este sistema cuenta con un engranaje central, el cual estará acoplado a otros tres engranajes que son denominados satélites los cuales están sujetos por un brazo llamado porta satélites y dispuesto a 120° cada uno de los satélites, todo este conjunto estará alojado en el interior de un engrane con dentado interno llamado Corona. A continuación, podremos observar un sistema planetario.

Imagen 38. Transmisión epicicloidal.



Fuente: AFICIONADOS A LA MECANICA [sitio web]. Colombia: caja de cambios. [consulta 20 abril 2019]. Disponible en: <http://www.aficionadosalamecanica.net/caja-cambios3>.

Tabla 34. Ventajas y desventajas alternativa 3

| Ventajas | Desventajas |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Mínimo mantenimiento. • Alta capacidad de carga • Tamaño compacto • Fácil instalación | <ul style="list-style-type: none"> • Fabricación un poco compleja. |

Fuente: elaboración propia

- Evaluación de la alternativa

A continuación, se realizará la respectiva evaluación de las alternativas planteadas, mediante la utilización de una matriz de ponderación, con la finalidad de seleccionar la más pertinente.

Enseguida serán asignados los correspondientes valores de ponderación para los criterios que solicita el cliente, así como se muestra en la siguiente tabla. El valor ira de 1 a 5 siendo el número 1 el menos relevante y 5 el más importante.

Tabla 35. Criterio de ponderación

| CRITERIO | PONDERACIÓN |
|---------------|-------------|
| Costo | 5 |
| Tamaño | 4 |
| Mantenimiento | 3 |
| Instalación | 2 |

Fuente: elaboración propia

- Costo: con este criterio se hace referencia al valor de diseño del sistema de transmisión.
- Tamaño: con este criterio se hace referencia al espacio disponible para la instalación del sistema.
- Mantenimiento: con este criterio se evalúa la complejidad y el número de tareas necesarias para llevar a cabo el mantenimiento.
- Instalación: con este criterio se hace referencia a la complejidad que tiene el sistema para ser instalado en el espacio dispuesto.

El resultado que se obtiene en la matriz de ponderación está dado mediante la multiplicación de cada valor obtenido en la alternativa por la ponderación de cada criterio evaluado, el valor que se le asignará a cada alternativa será de 1 a 9, siendo 1 el mínimo y 9 el máximo, de acuerdo con su cumplimiento.

Tabla 36. Matriz de ponderación

| Criterio | Ponderación | Alternativa 1 | Alternativa 2 | Alternativa 3 |
|------------------|-------------|---------------|---------------|---------------|
| | n | a 1 | a 2 | a 3 |
| Costo | 5 | 7 | 9 | 5 |
| Tamaño | 4 | 4 | 7 | 6 |
| Mantenimiento | 3 | 7 | 7 | 9 |
| o Instalación | 2 | 3 | 8 | 7 |
| Puntaje | | 78 | 110 | 90 |

Fuente: elaboración propia.

Al desarrollar la matriz de ponderación se puede evidenciar que la opción más adecuada para el proyecto que se está realizando es la alternativa número 2, ya que esta cuenta con varios aspectos fundamentales que permiten satisfacer la necesidad del cliente cabe aclarar que la matriz de ponderación fue realizada por los autores del proyecto.

Si el generador se conecta directamente a la turbina este girará a 1280 RPM, pero el generador debe girar a 2000 RPM lo cual hace necesario el uso de un sistema de transmisión de potencia que transmita las RPMs de la turbina al generador.

Como se evaluó anteriormente la mejor alternativa para este tipo de transmisión es el uso de poleas y correas. Se calcula un sistema simple de poleas ya que el espacio con el que se cuenta para la instalación de este sistema es muy reducido.

El primer paso que se debe hacer es escoger el tipo de correa que se debe usar, la cual va a ser una correa trapezoidal (en V).

Para seleccionar el tipo de correa necesaria para la transmisión se requiere conocer:

- Tipo de maquina a accionar y Distancia aproximada entre ejes.
- Condiciones ambientales de funcionamiento. (humedad, polvo, aceite, temperatura, intemperie, entre otros)
- Horas de funcionamiento.
- Potencia efectiva de la transmisión P_e . $P_e = \text{Potencia nominal} * F_s$.
- condiciones de arranque.
- Potencia de la máquina.
- Velocidad de la máquina.
- Diámetro exterior y tipo de las poleas a usar.

Información sobre el generador:

Generador (arranque normal) = 2,5 Kw

Velocidad requerida = 200 RPM

Tipo de correa a usar = Correa en V

Velocidad del eje = 428,8032 RPM. Se toman las mínimas ya que se busca que el generador funcione a velocidades bajas.

Para hallar el factor de servicio se usa la siguiente tabla:

Como para este sistema se usará un generador de corriente alterna con par de arranque normal, trifásico. El factor de servicio es de 1,1 ya que este sistema tiene

un servicio intermedio ya que depende de la velocidad a la que el vehículo se moviliza.

Tabla 37: Factores de servicio.

| CLASE DE TRABAJO | EJEMPLOS DE MÁQUINAS ACCIONADAS | TIPOS DE MÁQUINAS MOTRICES | | | | | |
|------------------|---|---|------------|-----------|--|------------|-----------|
| | | Motores de Corriente Alterna con par de Arranque Normal | | | Motores de Corriente Alterna con par de Arranque Elevado | | |
| | | Horas de Servicio Diarias | | | Horas de Servicio Diarias | | |
| | | Menos de 10 | De 10 a 16 | Más de 16 | Menos de 10 | De 10 a 16 | Más de 16 |
| Ligero | Agitadores para líquidos. Aspiradores. Bombas y compresores centrifugos. Transportadores de cinta para carga ligera. Ventiladores y bombas hasta 7,5 Kw. | 1 | 1.1 | 1.2 | 1.1 | 1.2 | 1.3 |
| Mediano | Amasadoras. Cizallas y prensas. Cribas rotativas y vibrantes. Generadores y excitatrices. Máquinas herramientas. Maquinaria para artes gráficas. Maquinaria para lavanderías. Transportadores de cinta para carga pesada. Ventiladores y bombas a partir de 7,5 Kw. | 1.1 | 1.2 | 1.3 | 1.2 | 1.3 | 1.4 |

Fuente: Diseño mecánico, selección de elementos mecánicos, bandas.

Con estos datos se halla la potencia efectiva del generador el cual se obtiene mediante la siguiente ecuación

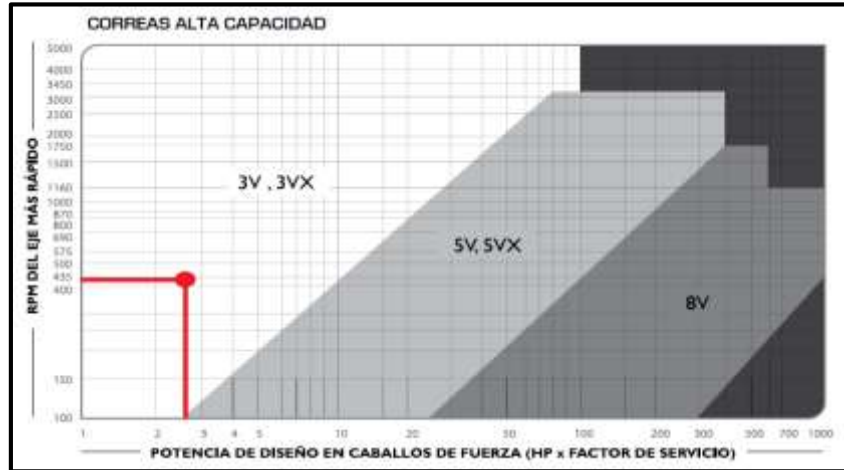
$$P_e = P_{no} * F_s$$

$$P_e = 2,5 \text{ Kw} * 1,1$$

$$P_e = 2,75 \text{ Kw}$$

Con esta potencia anteriormente hallada se selecciona la sección de correa con la siguiente gráfica.

Gráfico 6. Elección de la Sección de las Correas Clásicas



Fuente: INTERMEC. [sitio web]. Colombia: intermec, Manual de poleas en "V". [consulta 18 de abril 2019]. Disponible en: https://www.intermec.com.co/poleas_v.php

Según la gráfica anterior para este sistema la correa que mejor cumple los requisitos necesarios es una correa en V tipo 3V.

Estas poleas son de una canal y tipo 3V por esto se selecciona una polea de referencia PQ 1-3V, ambas poleas van a ser de este tipo.

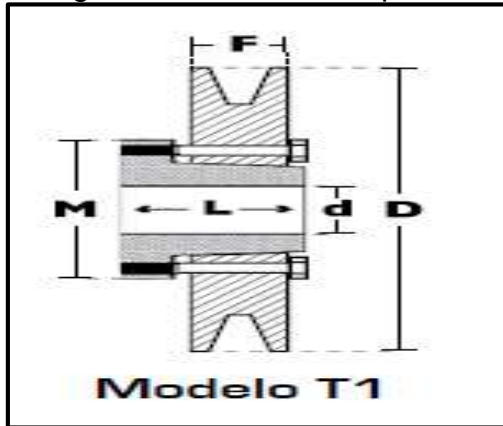
Tabla 38. Medidas poleas PQ 1-3V

| 1 CANAL | | | | | | | | | |
|-----------------------|-----|------------------|-----------|--------------------------------------|-------|-----------------------------|-----------------------------|--------|---------------------|
| Ancho (F) = 17.5 mm | | | | | | | | | |
| Diámetro Exterior (D) | | Referencia Polea | Ref. Buje | Hueco máximo con cuñero estándar (d) | | Longitud del Buje en mm (L) | Diámetro del buje en mm (M) | Modelo | Peso sin Buje en Lb |
| pulg | mm | | | mm | pulg | | | | |
| 2.0 | 50 | PQ 1-3V50 | JA | 25.4 | 1 | 27 | 50 | T1 | 0.6 |
| 2.2 | 55 | PQ 1-3V55 | JA | 25.4 | 1 | 27 | 50 | T1 | 0.7 |
| 2.3 | 60 | PQ 1-3V60 | JA | 25.4 | 1 | 27 | 50 | T1 | 0.8 |
| 2.5 | 65 | PQ 1-3V65 | JA | 25.4 | 1 | 27 | 50 | T1 | 0.8 |
| 2.6 | 67 | PQ 1-3V67 | JA | 25.4 | 1 | 27 | 50 | T1 | 0.9 |
| 2.8 | 70 | PQ 1-3V70 | JA | 25.4 | 1 | 27 | 50 | T1 | 0.9 |
| 3.0 | 75 | PQ 1-3V75 | JA | 25.4 | 1 | 27 | 50 | T1 | 1.0 |
| 3.1 | 80 | PQ 1-3V80 | JA | 25.4 | 1 | 27 | 50 | T1 | 1.0 |
| 3.2 | 85 | PQ 1-3V85 | JA | 25.4 | 1 | 27 | 50 | T1 | 1.1 |
| 3.6 | 90 | PQ 1-3V90 | SH | 34.9 | 1-3/8 | 33 | 70 | T1 | 1.3 |
| 3.9 | 100 | PQ 1-3V100 | SH | 34.9 | 1-3/8 | 33 | 70 | T1 | 1.6 |
| 4.1 | 105 | PQ 1-3V105 | SH | 34.9 | 1-3/8 | 33 | 70 | T1 | 1.7 |
| 4.3 | 110 | PQ 1-3V110 | SH | 34.9 | 1-3/8 | 33 | 70 | T1 | 2.0 |
| 4.5 | 115 | PQ 1-3V115 | SH | 34.9 | 1-3/8 | 33 | 70 | T1 | 2.1 |
| 4.7 | 120 | PQ 1-3V120 | SH | 34.9 | 1-3/8 | 33 | 70 | T1 | 2.5 |
| 5.0 | 125 | PQ 1-3V125 | SH | 34.9 | 1-3/8 | 33 | 70 | T1 | 2.8 |
| 5.1 | 130 | PQ 1-3V130 | SH | 34.9 | 1-3/8 | 33 | 70 | T1 | 2.9 |
| 5.3 | 135 | PQ 1-3V135 | SH | 34.9 | 1-3/8 | 33 | 70 | T1 | 3.0 |
| 5.6 | 140 | PQ 1-3V140 | SH | 34.9 | 1-3/8 | 33 | 70 | T1 | 3.2 |
| 6.0 | 150 | PQ 1-3V150 | SH | 34.9 | 1-3/8 | 33 | 70 | T1 | 3.5 |

Fuente: INTERMEC. [sitio web]. Colombia: intermec, Manual de poleas en "V". [consulta 18 de abril 2019]. Disponible en: https://www.intermec.com.co/poleas_v.php

Para la polea conductora se escoge una polea PQ 1-3V 90.

Imagen 39. Dimensiones polea PQ



Fuente: INTERMEC. [sitio web]. Colombia: intermec, Manual de poleas en "V". [consulta 18 de abril 2019]. Disponible en: https://www.intermec.com.co/poleas_v.php

Con la formula general se puede obtener el diámetro de la polea que está conectada al generador para poder girar a las 200 RPMs necesarias para que este funcione efectivamente.

$$RPM_{eje\ motriz} * d_{pm} = RPM_{eje\ conducido} * d_{pc}$$

Donde:

$RPM_{eje\ motriz}$ son las RPM a las que gira el eje de la turbina. 428,56 RPM
 $RPM_{eje\ conducido}$ son las RPM a las que gira el eje del generador. 500 RPM.
 d_{pm} es el diámetro de la polea motriz. 90 mm
 d_{pc} es el diámetro de la polea conducida.

$$D_{pc} = \frac{RPM_{eje\ motriz} * D_{pm}}{RPM_{eje\ conducido}}$$

$$D_{pc} = \frac{428,56\ RPM * 90\ mm}{500\ rpm}$$

$$D_{pc} = 105,0028\ mm$$

Según lo anterior obtenemos que el diámetro de la polea conducida debe ser de 105 mm para que así cumpla con los requerimientos del sistema. Para hallar la

distancia mínima y máxima entre ejes para las poleas se usan las siguientes formulas:

Distancia mínima:

$$C_{min} = 0,7(D_{pm} + D_{pc})$$

$$C_{min} = 0,7(90 \text{ mm} + 105 \text{ mm})$$

$$C_{min} = 136,5 \text{ mm}$$

Distancia máxima:

$$C_{max} = 2(D_{pm} + D_{pc})$$

$$C_{max} = 2(90 \text{ mm} + 105 \text{ mm}) = 390 \text{ mm}$$

La distancia que se tomara es de 380 mm ya que se acomoda al espacio en el cual ira el sistema que se está diseñando en este proyecto de grado.

Para hallar la longitud primitiva de la correa que se va a usar se utiliza la siguiente formula:

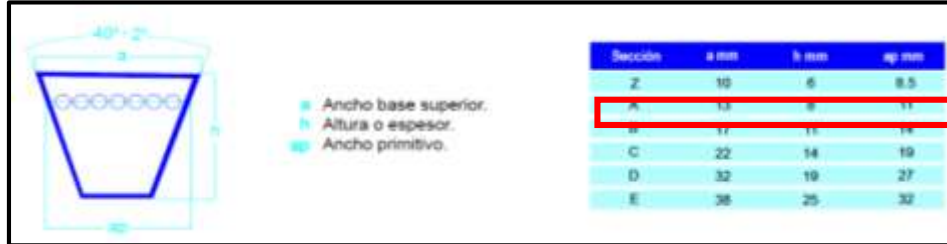
$$L = 2C + 1,57(D + d) + \frac{(D - d)^2}{4C}$$

$$L = 2(380 \text{ mm}) + 1,57(105 \text{ mm} + 90 \text{ mm}) + \frac{(105 \text{ mm} - 90 \text{ mm})^2}{4(380 \text{ mm})}$$

$$L = 1066,29 \text{ mm} \approx 48 \text{ in}$$

Ya que las correas vienen normalizadas se toma la longitud primitiva que esté por encima del valor que obtuvimos anteriormente. Para la correa se selecciona una correa de sección A ya que esta correa ofrece una elevada duración del sistema de transmisión.

Imagen 40. Dimensiones de correas 3V



Fuente: DUNLOP. [sitio web]. Buenos aires: Dunlop, manual Correas de transmisión industrial. [consulta: 25 abril 2019]. Disponible en: https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/objetos/figutut121/Correas_Dunlop.pdf

Tabla 39. Longitud primitiva nominal.

| Tabla Nº 6 | | Longitud primitiva nominal | | |
|-------------|----------------|----------------------------|----------------|----------------|
| Correa (in) | Sección Z (mm) | Sección A (mm) | Sección B (mm) | Sección C (mm) |
| 41 | 1066 | 1075 | 1086 | - |
| 42 | 1092 | 1106 | 1100 | - |
| 43 | 1117 | 1134 | 1140 | - |
| 44 | 1143 | 1153 | 1156 | 1191 |
| 45 | 1168 | 1186 | 1184 | 1217 |
| 46 | 1193 | 1199 | 1204 | 1242 |
| 47 | 1219 | 1232 | 1237 | 1267 |
| 48 | 1244 | 1262 | 1268 | 1293 |
| 49 | 1270 | 1280 | 1288 | 1318 |

Fuente: DUNLOP. [sitio web]. Buenos aires: Dunlop, manual Correas de transmisión industrial. [consulta: 25 abril 2019]. Disponible en: https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/objetos/figutut121/Correas_Dunlop.pdf

La correa que se selecciono es una correa A41.

Para tensionar la correa existen varios métodos, para este proyecto se usará un rodillo tensor, el cual aplica una carga en la correa tensionándola por la parte exterior del sistema.

Imagen 41. Tensado por rodillo



Fuente: TRACA [sitio web]. Colombia: tensores automáticos. [consulta 25 abril 2019]. Disponible en: <https://www.tracsa.com/images/imagenes/catalogos/Tensores-Automaticos-ROSTA.pdf>

Para seleccionar el rodillo más adecuado, según el manual para rodamientos ROSTA, se selecciona de la siguiente tabla.

Tabla 40. Rodamientos ROSTA.

| Perfil Correa | Diam. Polea menor [mm] | Fuerza inicial F1**[N] | Fuerza de funcionamiento Fe** [N] | Tamaño SE (excepto SE-W y SE-B) | | | | |
|---------------|------------------------|------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|----------|-----------|-----------|-----------|
| | | | | 1 correa | 2 correa | 3 correas | 4 correas | 5 correas |
| Z | 56-100 | | | SE 11 | SE 11 | SE 11 | SE 15 | SE 15 |
| A | 80-140 | 10 - 15 | | SE 11 | SE 15 | SE 18 | SE 18 | SE 18 |
| B | 125-200 | 20 - 30 | | SE 15 | SE 18 | SE 18 | SE 27 | SE 27 |
| C | 200-400 | 40 - 60 | | SE 18 | SE 27 | SE 27 | SE 38 | SE 38 |
| D | 355-600 | 70 - 105 | | SE 18 | SE 27 | SE 38 | SE 38 | SE 45 |
| 3V | 68-85 | 25 | 21 | SE 11 | SE 18 | SE 18 | SE 18 | SE 18 |
| | 90-104 | 28 | 24 | SE 11 | SE 18 | SE 18 | SE 18 | SE 27 |
| | 115-142 | 33 | 28 | SE 15 | SE 18 | SE 18 | SE 18 | SE 27 |
| | 152-270 | 38 | 32 | SE 15 | SE 18 | SE 18 | SE 27 | SE 27 |
| 5V | 180-215 | 71 | 60 | SE 18 | SE 18 | SE 27 | SE 27 | SE 38 |
| | 228-299 | 80 | 69 | SE 18 | SE 27 | SE 27 | SE 38 | SE 38 |
| | 317-406 | 93 | 78 | SE 18 | SE 27 | SE 38 | SE 38 | SE 38 |
| 8V | 317-431 | 182 | 150 | SE 27 | SE 38 | SE 45 | SE 45 | SE 50 |
| | 457-569 | 213 | 175 | SE 27 | SE 38 | SE 45 | SE 45 | SE 50 |
| SPZ | 56-71 | 20 | 16 | SE 11 | SE 18 | SE 18 | SE 18 | SE 18 |
| | 75-90 | 22 | 18 | SE 11 | SE 18 | SE 18 | SE 18 | SE 27 |
| | 95-125 | 25 | 20 | SE 15 | SE 18 | SE 18 | SE 18 | SE 27 |
| | ≥ 125 | 28 | 22 | SE 15 | SE 18 | SE 18 | SE 27 | SE 27 |
| SPA | 80-100 | 28 | 22 | SE 15 | SE 18 | SE 18 | SE 27 | SE 27 |
| | 106-140 | 38 | 30 | SE 15 | SE 18 | SE 27 | SE 27 | SE 27 |
| | 150-200 | 45 | 36 | SE 18 | SE 18 | SE 27 | SE 27 | SE 27 |
| SPB | ≥ 200 | 50 | 40 | SE 18 | SE 18 | SE 27 | SE 27 | SE 38 |
| | 112-160 | 50 | 40 | SE 18 | SE 18 | SE 27 | SE 27 | SE 38 |
| | 170-224 | 62 | 50 | SE 18 | SE 18 | SE 27 | SE 27 | SE 38 |
| | 236-355 | 77 | 62 | SE 18 | SE 27 | SE 38 | SE 38 | SE 38 |
| SPC | ≥ 355 | 81 | 65 | SE 18 | SE 27 | SE 38 | SE 38 | SE 38 |
| | 224-250 | 87 | 70 | SE 18 | SE 27 | SE 38 | SE 38 | SE 38 |
| | 265-355 | 115 | 92 | SE 27 | SE 38 | SE 38 | SE 45 | SE 45 |
| | ≥ 355 | 144 | 115 | SE 27 | SE 38 | SE 38 | SE 45 | SE 45 |

Fuente: TRACA [sitio web]. Colombia: tensores automáticos. [consulta 22 diciembre 2018]. Disponible en: <https://www.tracsa.com/images/imagenes/catalogos/Tensores-Automaticos-ROSTA.pdf>

Ya que la correa es tipo 3V, con la polea menor de 90mm de diámetro y siendo el subsistema de transmisión de 1 correa el rodillo tensor más adecuado es el tipo SE-11.

Para calcular la fuerza necesaria de funcionamiento de este rodillo se utiliza la siguiente formula.

$$F = F_i * z * 2$$

Donde:

F es la fuerza de tensado resultante de un ángulo de pretensión de 20°

F_i es la fuerza de funcionamiento indicada por el fabricante

z es el número de correas

2 es el coeficiente para evitar posibles deslizamientos durante el arranque

$$F = 24 N * 1 * 2 = 48N$$

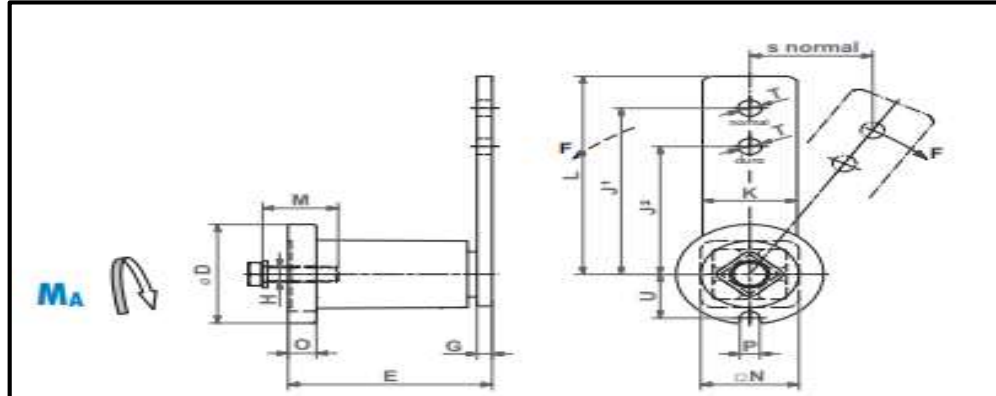
A continuación, se muestran las dimensiones del rodillo tensor SE-11

Tabla 41. Dimensiones del rodillo tensor SE

| Tipo | D | E | G | H | J ¹ | J ² | K | L | M | N | O | P | T | U | Peso (kg) |
|-----------------------------|----|-----------------------------|---|-----|----------------|----------------|----|-------|----|----|------|-----|------|------|-----------|
| SE 11 SE 11-G | 35 | 51 ^{+1 -0.3} | 5 | M6 | 80 | 60 | 20 | 90 | 20 | 22 | 6 | 8 | 8.5 | 16.5 | 0.2 |
| SE 15 SE 15-G SE 15-W | 45 | 64 ^{+1 -0.3} | 5 | M8 | 100 | 80 | 25 | 112.5 | 25 | 30 | 8 | 8.5 | 10.5 | 20.8 | 0.4 |
| SE 18 SE 18-G SE 18-W | 58 | 79 ^{+1.5 -0.3} | 7 | M10 | 100 | 80 | 30 | 115 | 30 | 35 | 10.5 | 8.5 | 10.5 | 25.3 | 0.6 |

Fuente: TRACA [sitio web]. Colombia: tensores automáticos. [consulta 22 diciembre 2018]. Disponible en: <https://www.tracsa.com/images/imagenes/catalogos/Tensores-Automaticos-ROSTA.pdf>

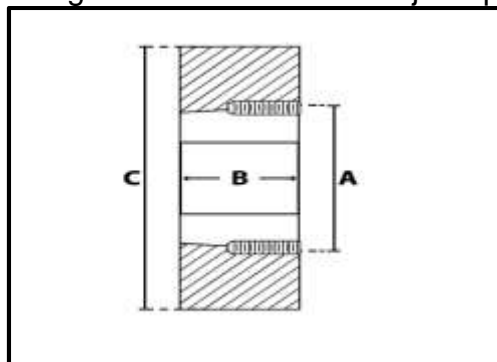
Imagen 42. Dimensiones del rodillo SE



Fuente: TRACA [sitio web]. Colombia: tensores automáticos. [consulta 22 diciembre 2018]. Disponible en: <https://www.traca.com/images/imagenes/catalogos/Tensores-Automaticos-ROSTA.pdf>

3.4.1.1. Selección del soporte de la polea conductora. El buje de la polea conductora se escoge de la siguiente tabla en la cual se muestra los detalles de este mismo, el buje es un tipo Taper.

Imagen 43. Dimensiones buje Taper



Fuente: INTERMEC. [sitio web]. Colombia: intermec, Manual de poleas en "V". [consulta 26 de abril 2019]. Disponible en: https://www.intermec.com.co/poleas_v.php

Tabla 42. Bujes para poleas 3V

| TIPO 3V | | | | | | | | | | |
|-----------------------|-----|-------------------|---|---|---|---|---|---|----|--|
| Diámetro exterior (D) | | Número de canales | | | | | | | | |
| pulg. | mm | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 8 | 10 | |
| 2.6 | 67 | 1108 | | | | | | | | |
| 2.8 | 70 | | | | | | | | | |
| 3.0 | 75 | | | | | | | | | |
| 3.1 | 80 | | | | | | | | | |
| 3.3 | 85 | | | | | | | | | |
| 3.5 | 90 | | | | | | | | | |
| 3.9 | 100 | | | | | | | | | |
| 4.1 | 105 | | | | | | | | | |
| 4.3 | 110 | | | | | | | | | |
| 4.5 | 115 | 1610 | | | | | | | | |
| 4.7 | 120 | | | | | | | | | |
| 4.9 | 125 | | | | | | | | | |
| 5.1 | 130 | | | | | | | | | |
| 5.3 | 135 | | | | | | | | | |
| 5.5 | 140 | | | | | | | | | |

Fuente: INTERMEC. [sitio web]. Colombia: intermec, Manual de poleas en "V". [consulta 26 de abril 2019]. Disponible en: https://www.intermec.com.co/poleas_v.php

Como se observa en la tabla anterior el buje más adecuado para la polea PQ 1-3V 90 es un buje taper 1610.

Tabla 43. Bujes taper polea conductora

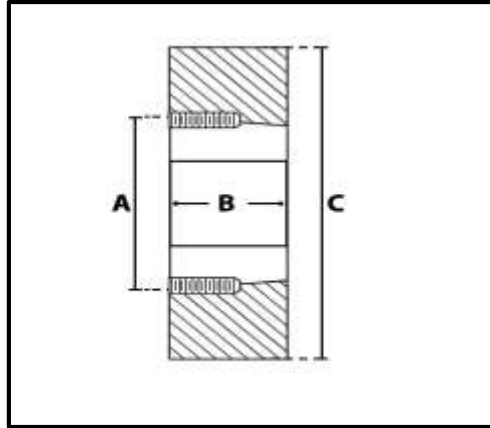
| Ref. Buje | Hueco máximo permisible con cuñero estándar | | A (mm) | B (mm) | C* (mm) | Tornillos requeridos | |
|-----------|---|--------|--------|--------|---------|----------------------|-----------|
| | (mm) | (pulg) | | | | cant. | tamaño |
| 1008 | 22.2 | 7/8 | 35.2 | 22.2 | 49.2 | 2 | 1/4 x 1/2 |
| 1108 | 25.4 | 1 | 38.4 | 22.2 | 52.4 | 2 | 1/4 x 1/2 |
| 1210 | 31.7 | 1-1/4 | 47.6 | 25.4 | 73.0 | 2 | 3/8 x 5/8 |
| 1215 | 31.7 | 1-1/4 | 47.6 | 38.1 | 66.7 | 2 | 3/8 x 5/8 |
| 1310 | 34.9 | 1-3/8 | 50.8 | 25.4 | 76.2 | 2 | 3/8 x 5/8 |
| 1610 | 38.1 | 1-1/2 | 63.5 | 25.4 | 82.5 | 2 | 3/8 x 5/8 |

Fuente: INTERMEC. [sitio web]. Colombia: intermec, Manual de poleas en "V". [consulta 26 de abril 2019]. Disponible en: https://www.intermec.com.co/poleas_v.php

El buje escogido es de referencia 1610 ya que la polea conducida tiene un cuñero previamente mecanizado y la polea conductora se selecciona bajo este parámetro y es una polea PQ 1-3V 90.

3.4.1.2. Selección del soporte de la polea conducida. El buje de la polea conducida se escoge de la siguiente tabla en la cual se muestra los detalles de este mismo, el buje es un tipo Taper.

Imagen 44. Dimensiones buje Taper



Fuente: INTERMEC. [sitio web]. Colombia: intermec, Manual de poleas en "V". [consulta 26 de abril 2019]. Disponible en: https://www.intermec.com.co/poleas_v.php

Tabla 44. Bujes para poleas 3V

| Diámetro exterior (D) | | Número de canales | | | | | | | |
|-----------------------|-----|-------------------|---|---|---|---|---|---|----|
| pulg. | mm | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 8 | 10 |
| 2.6 | 67 | | | | | | | | |
| 2.8 | 70 | | | | | | | | |
| 3.0 | 75 | | | | | | | | |
| 3.1 | 80 | | | | | | | | |
| 3.3 | 85 | | | | | | | | |
| 3.5 | 90 | | | | | | | | |
| 3.9 | 100 | | | | | | | | |
| 4.1 | 105 | | | | | | | | |
| 4.3 | 110 | | | | | | | | |
| 4.5 | 115 | | | | | | | | |
| 4.7 | 120 | | | | | | | | |
| 4.9 | 125 | | | | | | | | |
| 5.1 | 130 | | | | | | | | |
| 5.3 | 135 | | | | | | | | |
| 5.5 | 140 | | | | | | | | |
| 5.9 | 150 | | | | | | | | |
| 6.3 | 160 | | | | | | | | |
| 6.5 | 165 | | | | | | | | |
| 6.7 | 170 | | | | | | | | |
| 6.9 | 175 | | | | | | | | |
| 7.0 | 180 | | | | | | | | |
| 7.5 | 190 | | | | | | | | |
| 7.9 | 200 | | | | | | | | |
| 9.0 | 230 | | | | | | | | |

Adicionalmente, el diagrama muestra un perfil de buje con los siguientes números de parte: 1108, 1210, 1610 (destacado con un recuadro rojo) y 2517.

Fuente: INTERMEC. [sitio web]. Colombia: intermec, Manual de poleas en "V". [consulta 26 de abril 2019]. Disponible en: https://www.intermec.com.co/poleas_v.php

Tabla 45. Dimensiones principales de los bujes taper polea conducida

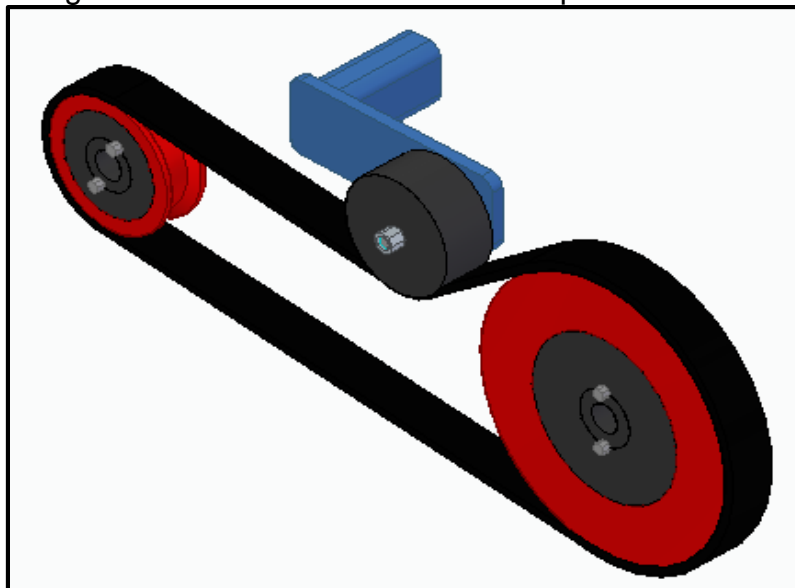
| Ref. Buje | Hueco máximo permisible con cuñero estándar | | A (mm) | B (mm) | C* (mm) | Tornillos requeridos | |
|-----------|---|--------|--------|--------|---------|----------------------|------------|
| | (mm) | (pulg) | | | | cant. | tamaño |
| 1008 | 22.2 | 7/8 | 35.2 | 22.2 | 49.2 | 2 | 1/4 x 1/2 |
| 1108 | 25.4 | 1 | 38.4 | 22.2 | 52.4 | 2 | 1/4 x 1/2 |
| 1210 | 31.7 | 1-1/4 | 47.6 | 25.4 | 73.0 | 2 | 3/8 x 5/8 |
| 1215 | 31.7 | 1-1/4 | 47.6 | 38.1 | 66.7 | 2 | 3/8 x 5/8 |
| 1218 | 34.9 | 1-3/8 | 50.8 | 25.4 | 76.2 | 2 | 3/8 x 5/8 |
| 1610 | 38.1 | 1-1/2 | 63.5 | 25.4 | 82.5 | 2 | 3/8 x 5/8 |
| 1615 | 38.1 | 1-1/2 | 63.5 | 38.1 | 76.2 | 2 | 3/8 x 5/8 |
| 2012 | 47.6 | 1-7/8 | 69.8 | 31.7 | 98.4 | 2 | 7/16 x 7/8 |
| 2517 | 57.1 | 2-1/4 | 85.7 | 44.4 | 111.1 | 2 | 1/2 x 1 |

Fuente: INTERMEC. [sitio web]. Colombia: intermec, Manual de poleas en "V". [consulta 26 de abril 2019]. Disponible en: https://www.intermec.com.co/poleas_v.php

El buje escogido es de referencia 1610 ya que la polea conducida tiene un cuñero previamente mecanizado y la polea conducida se selecciona bajo este parámetro y es una polea PQ 1-3V 105.

En el siguiente esquema se muestra cómo queda dispuesto el sistema de transmisión de potencia.

Diagrama 20. Subsistema transmisión por correas en V

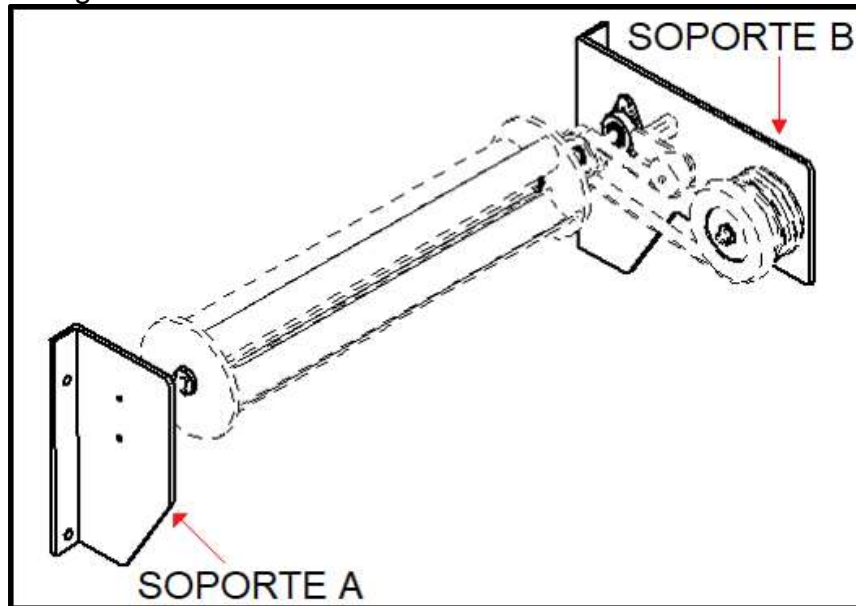


Fuente: elaboración propia

3.5. SUBSISTEMA ESTRUCTURAL

Este subsistema es el encargado de fijar los componentes del sistema a su lugar respectivo. En este subsistema se calculan los soportes del sistema y la manera en que se fijara el sistema al chasis del vehículo.

Diagrama 21. Subsistema estructural



Fuente: elaboración propia

Tabla 46. Parámetros de diseño del subsistema estructural

| | Diseño | Selección | Parámetros |
|-------------|---------------|-----------|-------------------|
| Estructural | Soporte A y B | | Cargas |
| | | | Material |
| | | | Espesor |
| | | | Puntos de anclaje |

Fuente: elaboración propia

3.5.1. Selección del soporte del sistema. Para este soporte se usa los mismos anclajes que se tienen para fijar la carcasa del radiador a la estructura del vehículo, para así no tener que perforar ni modificar el vehículo, lo cual puede perjudicar su estabilidad estructural. Serán dos soportes, los cuales serán brazos que fijen el sistema a la estructura. El soporte A solo soportara un lado del sistema mientras que el soporte B soportara además al generador, el cual deja fija la carcasa del generador para que el eje sea quien gire y así genere la electricidad.

Este soporte se atornilla al chasis del vehículo mediante tornillos M20 y a la carcasa del generador mediante tuercas M10.

Imagen 45. Soporte de la carcasa del radiador.

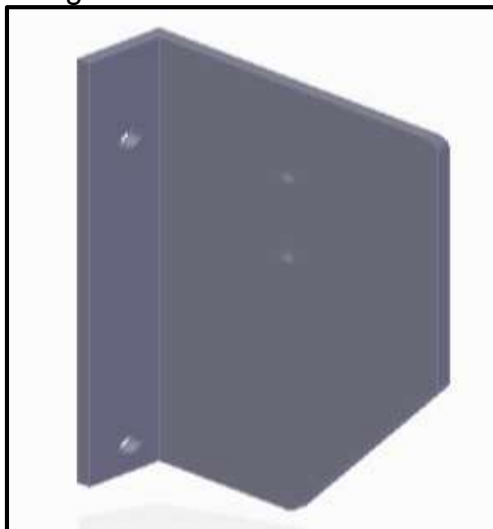


Fuente: elaboración propia

- **SOPORTE A**

Este brazo soporta solamente un lateral del sistema de mejora de autonomía.

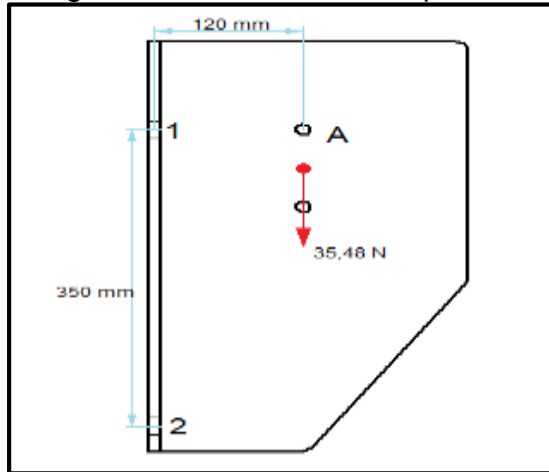
Imagen 46. Brazo A



Fuente: elaboración propia

Análisis del soporte A

Diagrama 22. Análisis del soporte A



Fuente: elaboración propia

Ya que la única fuerza actuante en el soporte está en dirección Y los puntos 1 y 2 tendrán las mismas reacciones solo que el punto 1 está a tensión, mientras que el punto 2 está a compresión.

$$\sum f_y = 0$$

$$\sum f_y = F_1 + F_A$$

$$F_1 = -F_A$$

$$F_1 = -(-35,48N)$$

$$F_1 = (35,48N)$$

$$\cup \sum M = 0$$

$$\cup \sum M = (f_1 * 0) + (-35,48N * 0,12m)$$

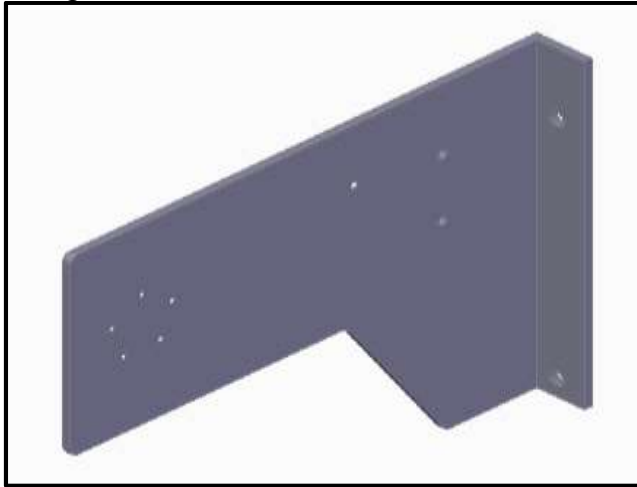
$$\cup \sum M = 4,2576 Nm$$

SOPORTE B

Este brazo B soporta el otro lateral del sistema de mejora de autonomía y el generador.

Este mismo brazo soporta el rodillo tensor de la correa del subsistema de transmisión de potencia. El cual va anclado mediante tornillos M12.

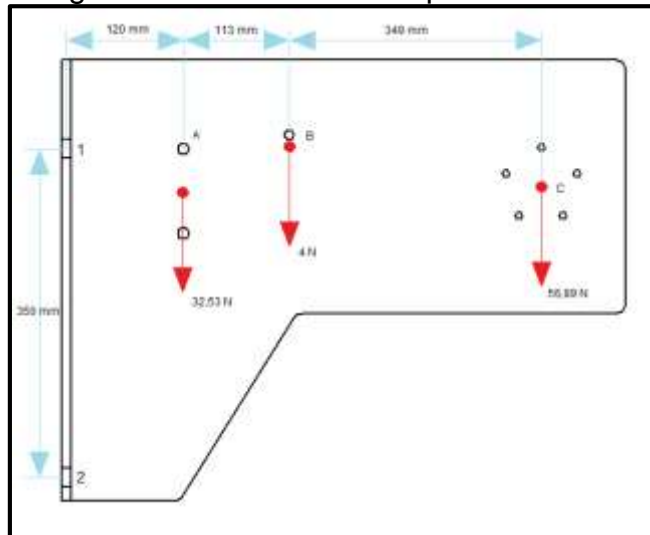
Imagen 47. Brazo B



Fuente: elaboración propia

Análisis del soporte B

Diagrama 23. Análisis del soporte B



Fuente: elaboración propia

Ya que las fuerzas actuantes en el soporte están en dirección Y los puntos 1 y 2 tendrán las mismas reacciones solo que el punto 1 está a tensión, mientras que el punto 2 está a compresión.

$$\sum f_y = 0$$

$$\sum f_y = F_1 + F_A + F_B + F_C$$

$$F_1 = -F_A - F_A - F_B - F_C$$

$$F_1 = -(-35,48N) - (-4N) - (-56,89N)$$

$$F_1 = (93,42N)$$

$$\sum M = 0$$

$$\sum M = (f_1 * 0) + (-35,48N * 0,12m) + (-4N * 0,233m) + (-56,89N * 0,588m)$$

$$\sum M = 37,94 Nm$$

3.6. SUBSISTEMA DE CONTROL

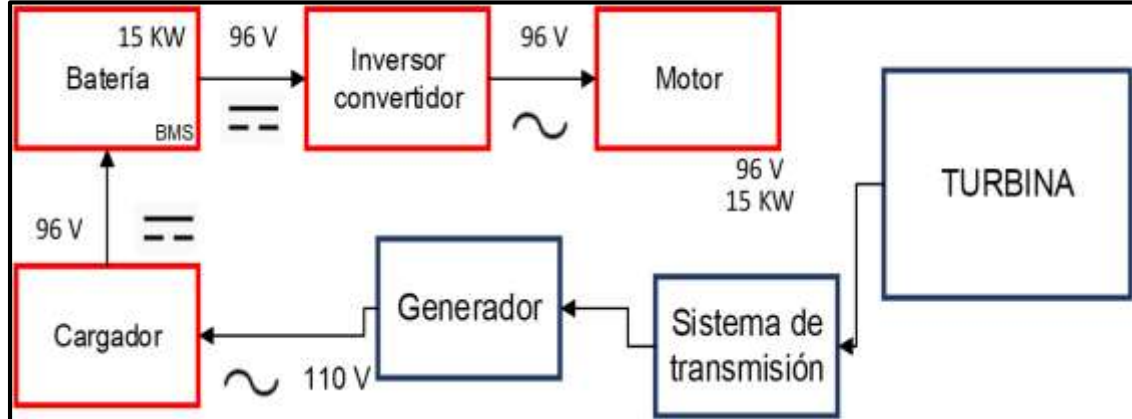
Para garantizar que la batería no se sobrecargue se implementa una BMS (Batería Management System), el cual es un sistema electrónico que gestiona las baterías recargables.

Este sistema ya está previamente instalado en el vehículo por parte de los sistemas que ofrece la empresa EVCO, para la conversión de un vehículo a combustión a eléctrico, ya que se usa las mismas baterías del sistema.

Se garantiza que las baterías no sufran ninguna sobrecarga por parte del sistema que se diseña en este proyecto de grado.

El siguiente diagrama muestra cómo se incorporará el sistema de mejora de autonomía al sistema actual del vehículo eléctrico.

Diagrama 24. Incorporación del sistema de mejora al sistema actual.



Fuente: elaboración propia

3.7. ANALISIS DE AUMENTO DE AUTONOMÍA

Con la implementación de este sistema se busca que parte de la energía proveniente del viento que se genera cuando el vehículo está en movimiento sea aprovechada para ayudar en el consumo energético que tiene el vehículo de manera favorable

Tabla 47. Mejora de autonomía.

| Kw | horas | Kw/h | Autonomía % |
|-----|-------|------|-------------|
| 2,5 | 4 | 10 | |
| 30 | 9 | 270 | 3,7037037 |

Fuente: elaboración propia.

Para este cálculo de la autonomía está basado en un promedio de horas de funcionamiento del sistema con respecto a las horas de funcionamiento del vehículo y poder comparar los consumos energéticos con el cual determino un porcentaje de energía producida con respecto a la consumida, para lo cual al implementar este sistema se logra aumentar en un 3.7% su autonomía.

4. SIMULACION POR ELEMENTOS FINITOS.

En este capítulo se simulan diferentes aspectos del sistema, las cargas estáticas y dinámicas que se presentan dentro de este. Se hace un análisis estático, dinámico y de fatiga al eje, ya que es el punto más crítico del sistema, en el cual se analizarán los esfuerzos, la deflexión, y las reacciones que arroje el método de los elementos finitos.

Se aclara que el peso de los tornillos dentro del sistema para estos casos es mínimo en comparación con los demás componentes del sistema, por lo cual se desprecian.

Para estas simulaciones se debe seguir los siguientes pasos:

- Modelar cada uno de los componentes del sistema mediante un programa CAD.
- Simular las condiciones de carga que se presentan en el sistema por medio del análisis por elementos finitos proporcionado por un CAD.
- Validar el diseño del sistema con cada uno de sus componentes.

Para este objetivo se implementa el software CAD SolidWorks, el cual es una herramienta computacional 3D que permite diseñar, modelar y simular objetos.

Para este análisis se definen los materiales a trabajar:

Tabla 48. Propiedades mecánicas del sistema.

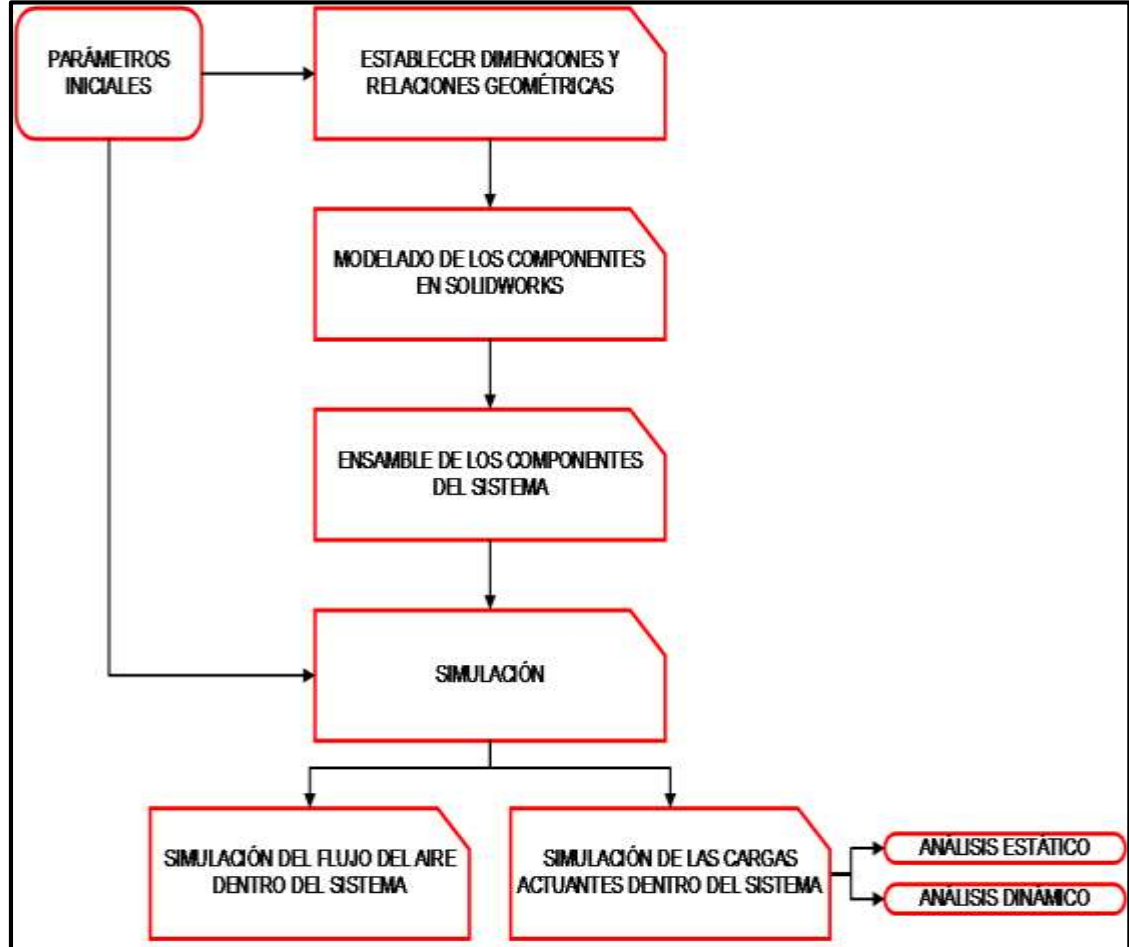
| Componente | Material | Límite de fluencia (mpa) | Esfuerzo ultimo (mpa) | Densidad (kg/m ³) | Masa (kg) |
|------------|---------------|--------------------------|-----------------------|-------------------------------|-----------|
| Eje | AISI 1045 | 310 | 565 | 1,274 | 3,199 |
| Turbina | Aluminio 2024 | 1378,951 | 31,026 | 1024 | 6,780 |
| Polea | Aluminio 2024 | 1378,951 | 31,026 | 1024 | 0,589 |

Fuente: elaboración propia

Estos análisis se realizan con el fin de evaluar los diferentes componentes del sistema, con materiales ya establecidos para que cumplan con los requerimientos principales del sistema para evitar resultados no deseados, con lo cual se tendría que tomar medidas como cambio de material, cambio de secciones o dimensiones.

A continuación, se muestra de manera general los procesos que se deben seguir para realizar la simulación del sistema completo satisfactoriamente.

Diagrama 25. Procesos para la simulación.



Fuente: elaboración propia.

4.1. MODELADO DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA

Para el modelado de cada una de las piezas se usa el programa Solid Edge ST10, con el cual nos facilita el diseño de cada una de estas. Se tienen en consideración todos los parámetros descritos en el capítulo 3 para el modelado.

A continuación, se muestra el modelado de cada subsistema del sistema de mejora de autonomía, los cuales son:

- Modelado de la turbina savonius
- Modelado del árbol
- Modelado del subsistema de transmisión

Imagen 48. Modelado 3D de la turbina



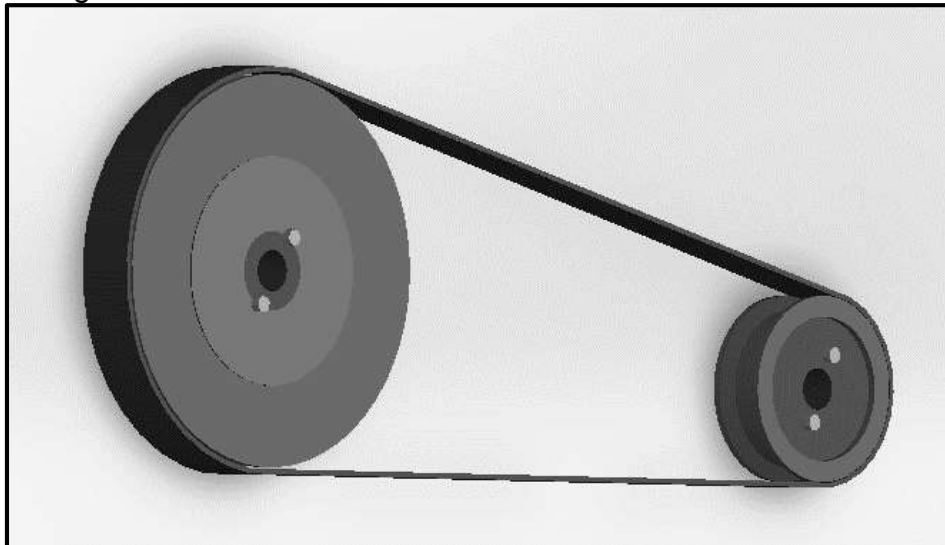
Fuente: elaboracion propia

Imagen 49. Modelado 3D del árbol



Fuente: elaboración propia

Imagen 50. Modelado del subsistema de transmisión

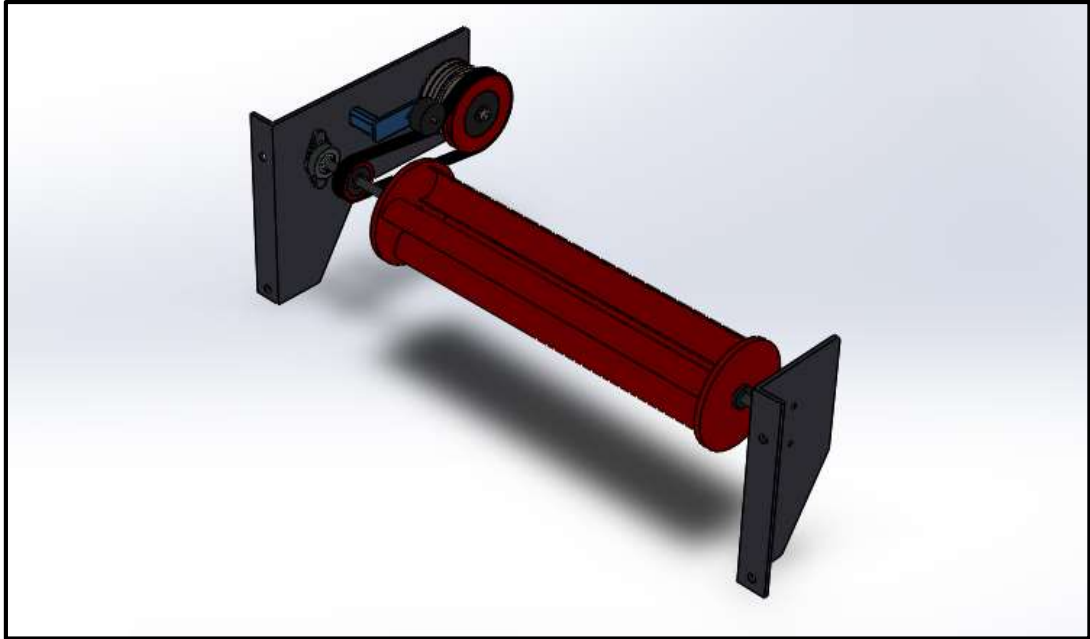


Fuente: elaboración propia

4.2. ENSAMBLE DEL SISTEMA DE MEJORA DE AUTONOMIA

Para el ensamble de cada uno de los componentes se realiza mediante relaciones geométricas de posición que nos permite integrar cada componente en su lugar y fijarlos a cada movimiento que este ha de realizar.

Imagen 51. Ensamble de los componentes



Fuente: elaboración propia

4.3. ANÁLISIS DEL ÁRBOL

Para este análisis se tomará en cuenta cuando los componentes del sistema están sobre el eje, ya que es el punto más crítico.

Para las cargas que se presentan sobre el eje se toman las diferentes fuerzas que ejercen los componentes del sistema sobre el eje.

Donde la carga 1 es debida a la turbina y la carga 2 a la polea PQ 1-3V 90.

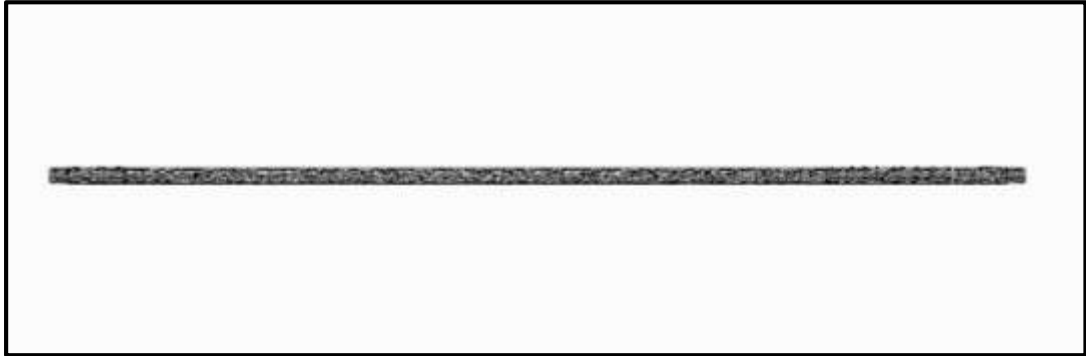
$$Carga = masa * g$$

$$Carga\ 1 = 6,780\ Kg * 9,81 \frac{m}{seg^2} = 66,511\ Nm$$

$$Carga\ 2 = 0,58967\ Kg * 9,81 \frac{m}{seg^2} = 5,784\ N$$

Para empezar, se define el tipo de malla que se ha de realizar en el elemento que se va a simular que en este caso es una malla de tamaño 1,78 mm ya que es la más adecuada para este tipo de elemento.

Imagen 52. Mallado del eje

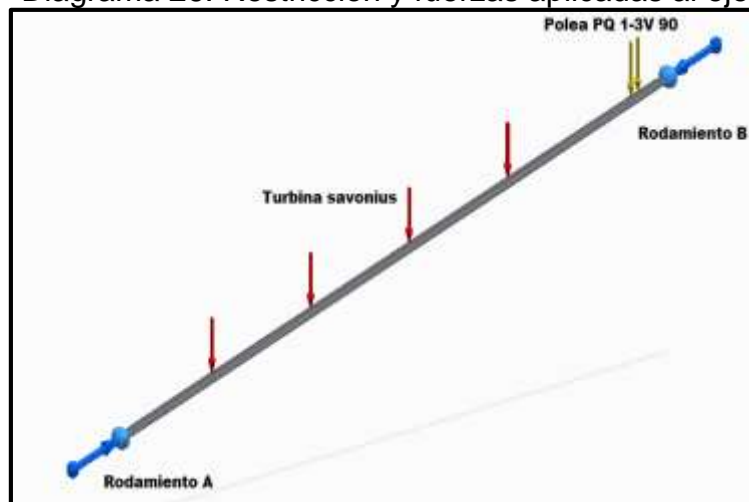


Fuente: elaboración propia

4.3.1. Análisis estático. Para este análisis se definen los apoyos y las cargas generadas sobre el eje, para este caso los apoyos son dos rodamientos cada uno en cada extremo del eje, lo que le da al eje un solo grado de libertad el cual es la rotación sobre sí mismo. Se aplicarán las cargas donde están ubicadas la turbina y la polea PQ 1-3V 90.

Ya que la turbina se apoya a lo largo del árbol la fuerza se aplicará en el lugar de esta como una fuerza distribuida.

Diagrama 26. Restricción y fuerzas aplicadas al eje

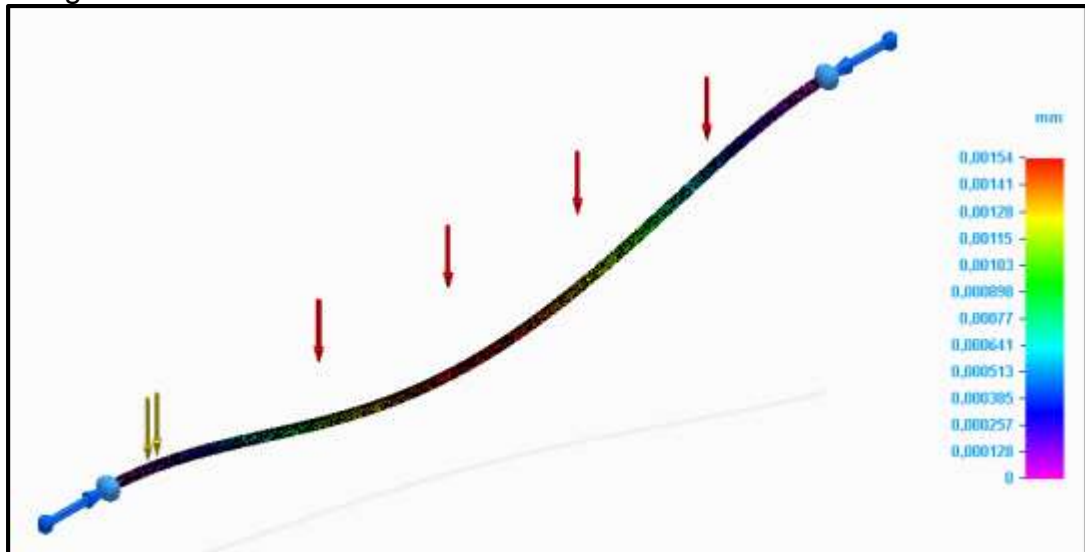


Fuente: elaboración propia

Las fuerzas aplicadas en este análisis son el peso de la turbina savonius, la polea PQ 1-3V 90 y la gravedad. Las restricciones son causadas por los rodamientos que fijan el árbol al chasis del vehículo.

Se analiza la deformación causada por las fuerzas aplicadas sobre el árbol y también se hace un análisis de tensión por Von mises.

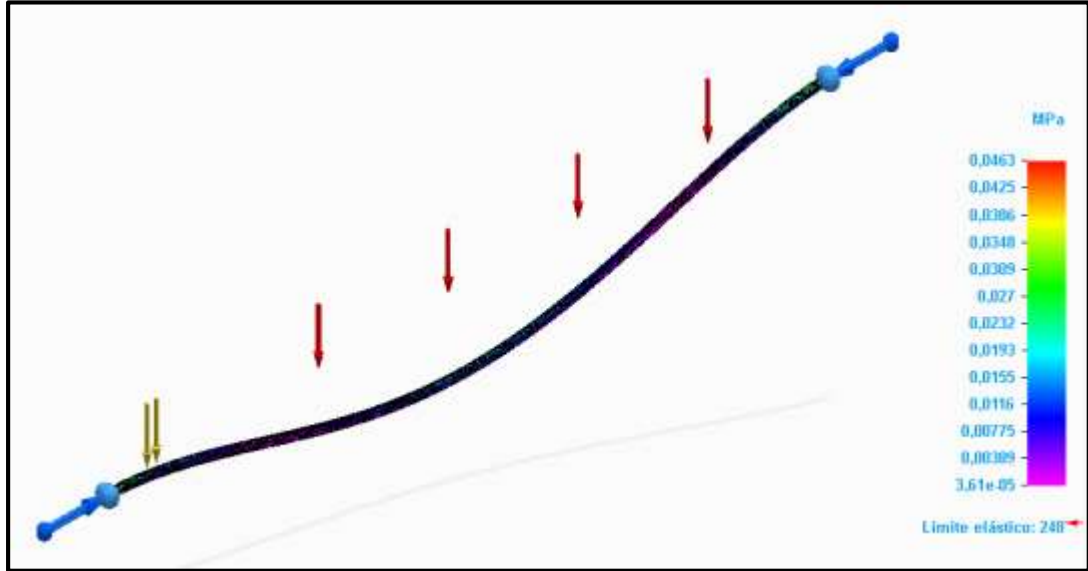
Diagrama 27. Análisis de deformación



Fuente: elaboración propia

Según el diagrama del análisis de deformación, se puede observar que la máxima deformación del árbol sujeto a las diferentes cargas que se ejercen sobre este es de 0,00154mm. Lo cual nos indica que el eje es capaz de soportar los componentes del sistema y funcionar sin ningún problema.

Diagrama 28. Análisis de tensión por Von Mises

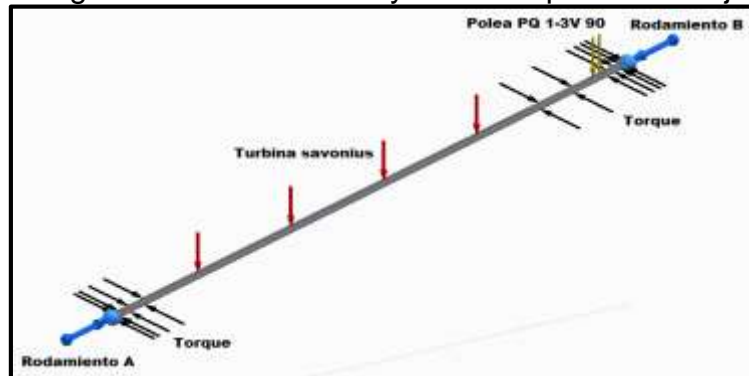


Fuente: elaboración propia

Según el diagrama anterior se puede observar que la máxima tensión de Von Mises del eje sujeto a las diferentes cargas que se ejercen sobre este es de 0,0463 MPa. Lo cual nos indica que el eje es capaz de soportar los componentes del sistema y funcionar sin ningún problema.

4.3.2. Análisis dinámico. Para este análisis se definen los apoyos y las cargas generadas sobre el eje, para este caso los apoyos son dos rodamientos cada uno en cada extremo del eje, lo que le da al eje un solo grado de libertad el cual es la rotación sobre sí mismo. Se aplicarán las cargas donde están ubicadas la turbina y la polea PQ 1-3V 90, además se adiciona el torque máximo que produce la turbina que es de 31,8 Nm.

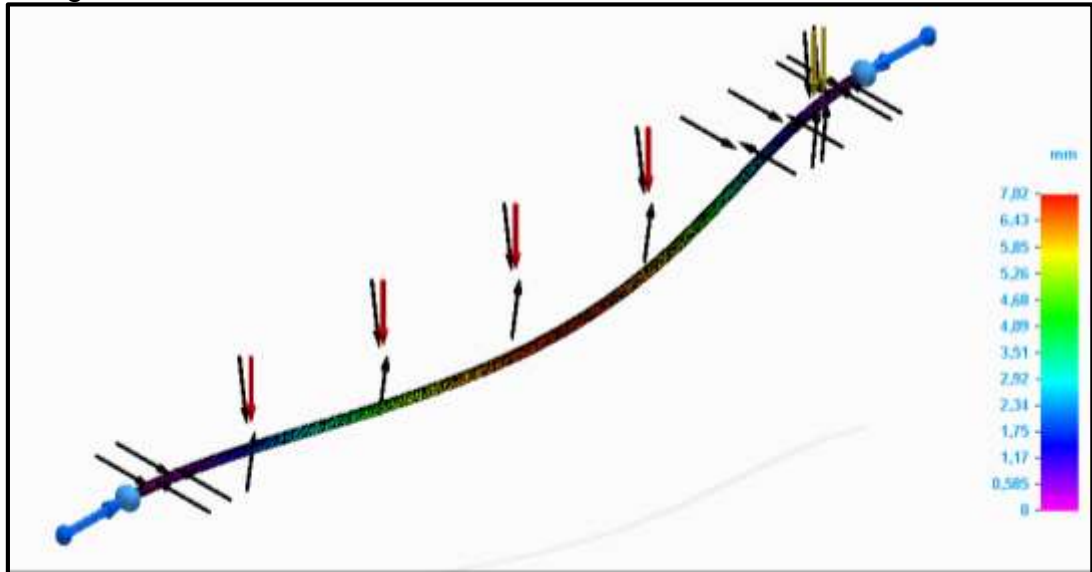
Diagrama 29. Restricción y fuerzas aplicadas al eje



Fuente: elaboración propia

Lo cual nos arroja los siguientes resultados:

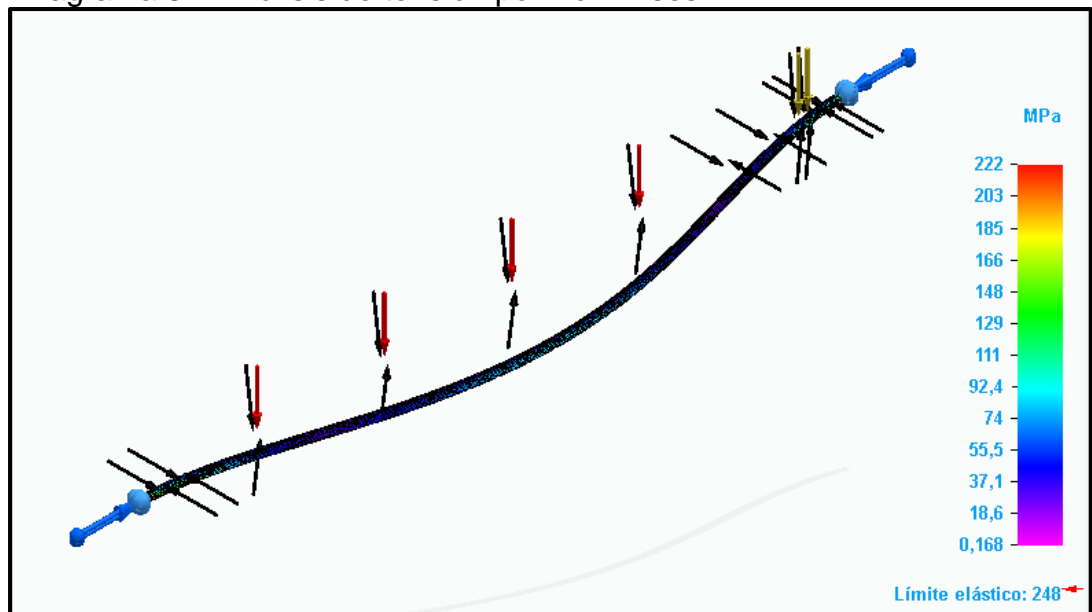
Diagrama 30. Análisis de deformación



Fuente: elaboración propia

Según el diagrama del análisis de deformación, se puede observar que la máxima deformación del árbol sujeto a las diferentes cargas que se ejercen sobre este es de 7,02 mm. Lo cual nos indica que el eje es capaz de soportar los componentes del sistema y funcionar sin ningún problema.

Diagrama 31. Análisis de tensión por Von Mises



Fuente: elaboración propia

Según el diagrama anterior se puede observar que la máxima tensión de Von Mises del eje sujeto a las diferentes cargas que se ejercen sobre este es de 222 MPa. Lo cual nos indica que el eje es capaz de soportar los componentes del sistema y funcionar sin ningún problema.

Tabla 49. Resultados obtenidos del análisis del eje

| Árbol | Tensión por von mises (mpa) | | Deformación (mm) | |
|--------------------------|-----------------------------|-----------------------|------------------|--------|
| | Máximo | Mínimo | Máximo | Mínimo |
| Análisis estático | 0,0463 | $3,61 \times 10^{-5}$ | 0,00154 | 0 |
| Análisis dinámico | 222 | 0,168 | 0,702 | 0 |

Fuente: elaboración propia

5. PLANOS DE ENSAMBLE

En este capítulo se mostrarán los planos de los componentes del sistema que no estén normalizados, en los planos se evidenciará los datos necesarios y relevantes para la construcción de este sistema.

Los planos tendrán el siguiente orden:

- 5.1. Sistema completo
- 5.2. Vistas principales
- 5.3. Vista subsistemas
- 5.4. Componentes del sistema
- 5.5. Subsistema turbina
- 5.6. Alabe de la turbina
- 5.7. Tapa de la turbina
- 5.8. Eje
- 5.9. Soporte de los alabes a la tapa
- 5.10. Subsistema transmisión de potencia
- 5.11. Polea PQ 1-3V 90
- 5.12. Polea PQ 1-3V 105
- 5.13. Soporte A
- 5.14. Soporte B

6. MANUALES

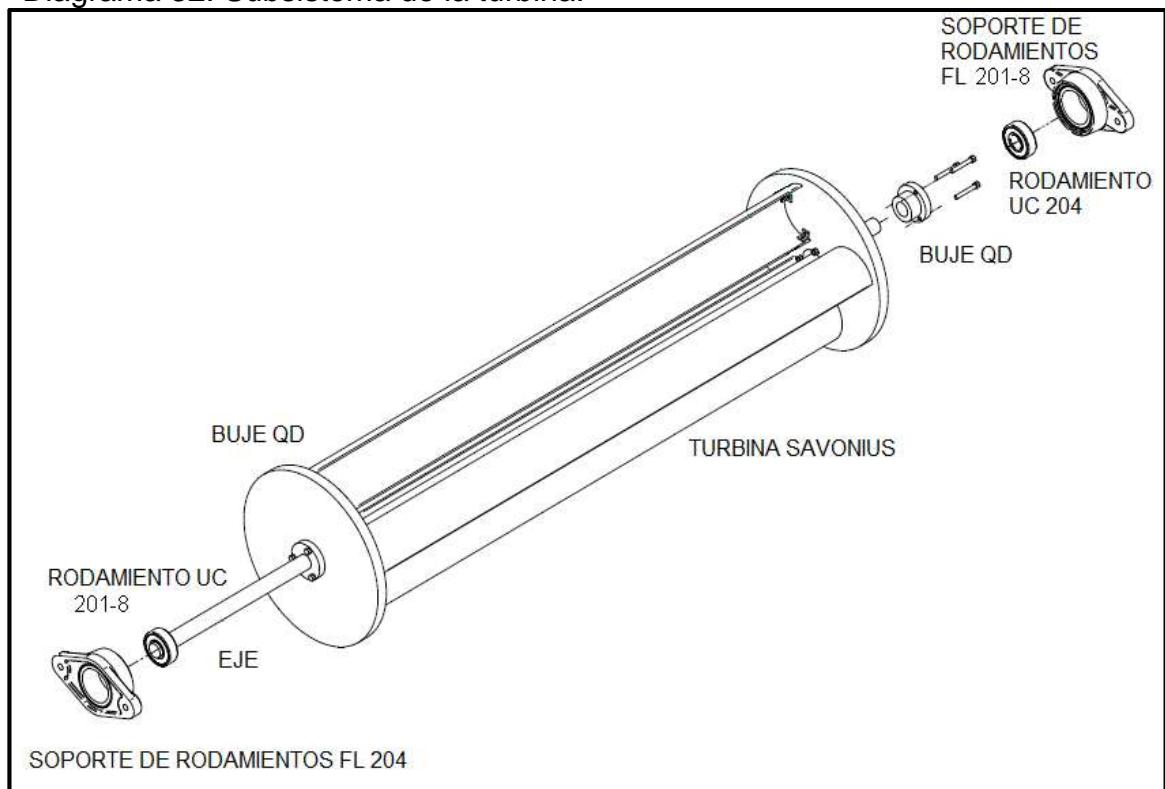
En este capítulo se describen los manuales de instalación, operación y mantenimiento, con el fin de prestar soporte a la empresa EVCO.

6.1. MANUAL DE INSTALACION

La instalación del sistema se hace con base en cada subsistema, ya que se explica y se puede apreciar todos los componentes del sistema más detalladamente.

La instalación de cada componente del aerogenerador juega un papel muy importante en el funcionamiento y el mantenimiento de este mismo, por esta razón a continuación se enuncia un paso a paso para la instalación de los componentes. Es necesario que este proceso de instalación lo ejecute un personal capacitado.

Diagrama 32. Subsistema de la turbina.



Fuente: elaboración propia

La instalación del subsistema de la turbina, es el encargado en la captación de aire. Este está compuesto por la turbina tipo savonius, el eje de transmisión de potencia, los bujes QD, y los soportes de rodamientos.

El primer paso es fijar los alabes a las tapas de la turbina mediante los soportes en forma de L, estos se fijan atornillando un tornillo M2.

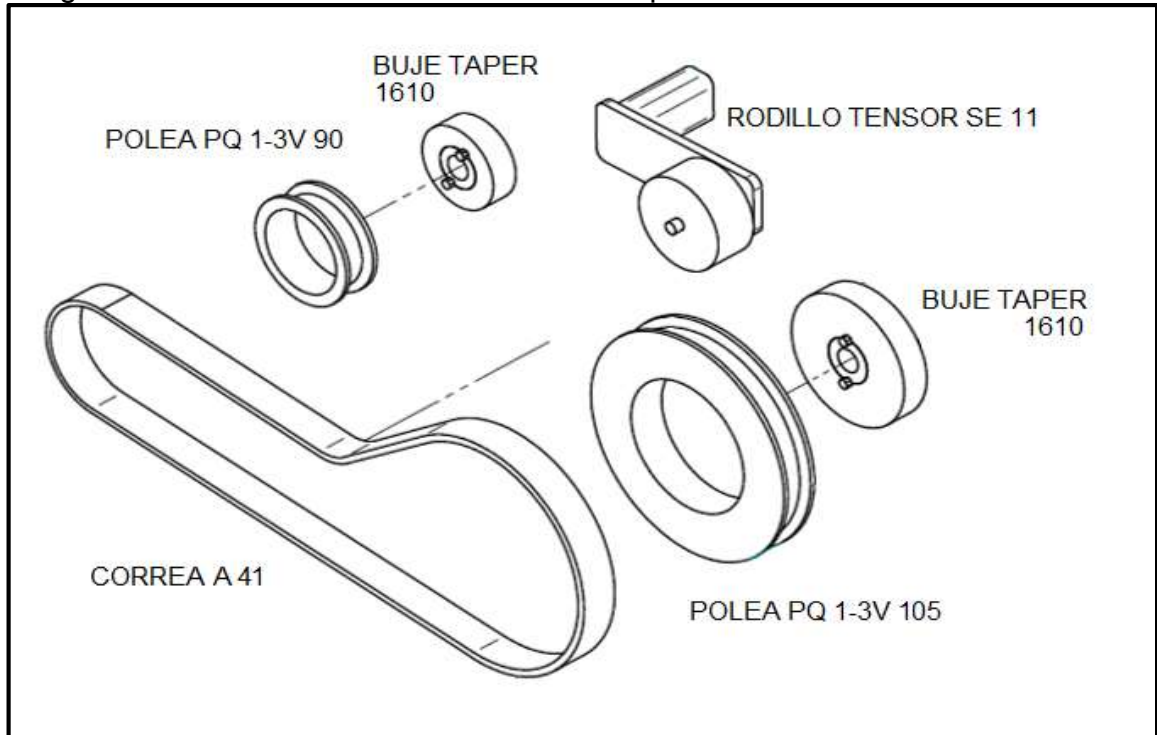
Después se fija la turbina al eje mediante los bujes, atornillando los tres tornillos M10 a cada uno de estos bujes para que la turbina pueda transmitir el movimiento y la potencia al eje.

El paso a seguir es montar la turbina con los bujes al eje deslizando esta hasta los 100 mm del inicio del eje, fijando estos mediante los anillos retenedores.

Los rodamientos se montan a sus soportes y esos se fijan por presión a estos, teniendo los soportes de los rodamientos estos se fijan a los soportes A y B que van atornillados donde se fija la carcasa del radiador del vehículo que previamente debe estar preparado para alojar a estos, estos se atornillan mediante dos tornillos M20 cada uno ya que estos son los que van a soportar el peso y fuerzas generadas por el movimiento de la turbina.

Luego se monta la polea QP 1-3V 105 previamente puesta sobre el buje de esta. El último paso para este subsistema es montar el árbol con la turbina y la polea a los soportes de rodamientos.

Diagrama 33. Subsistema de transmisión de potencia.



Fuente: elaboración propia.

El siguiente subsistema a montar es subsistema de transmisión de potencia, el cual consta de dos poleas unidas mediante una correa, la polea PQ 1-3V 90 (conductora) se conecta al eje mediante un buje taper 1610, este buje se fija al árbol mediante dos tornillos que expanden las dos partes del buje fijando este a presión lo que facilita transmitir el movimiento y la potencia del árbol. Mientras que la polea conducida se fija al eje del generador mediante un buje Taper 1610, teniendo en cuenta que las dos poleas tienen que quedar de forma paralela para que este sistema funcione correctamente.

Para esto se debe seguir un paso que se lista a continuación con la implementación de un rodillo tensor:

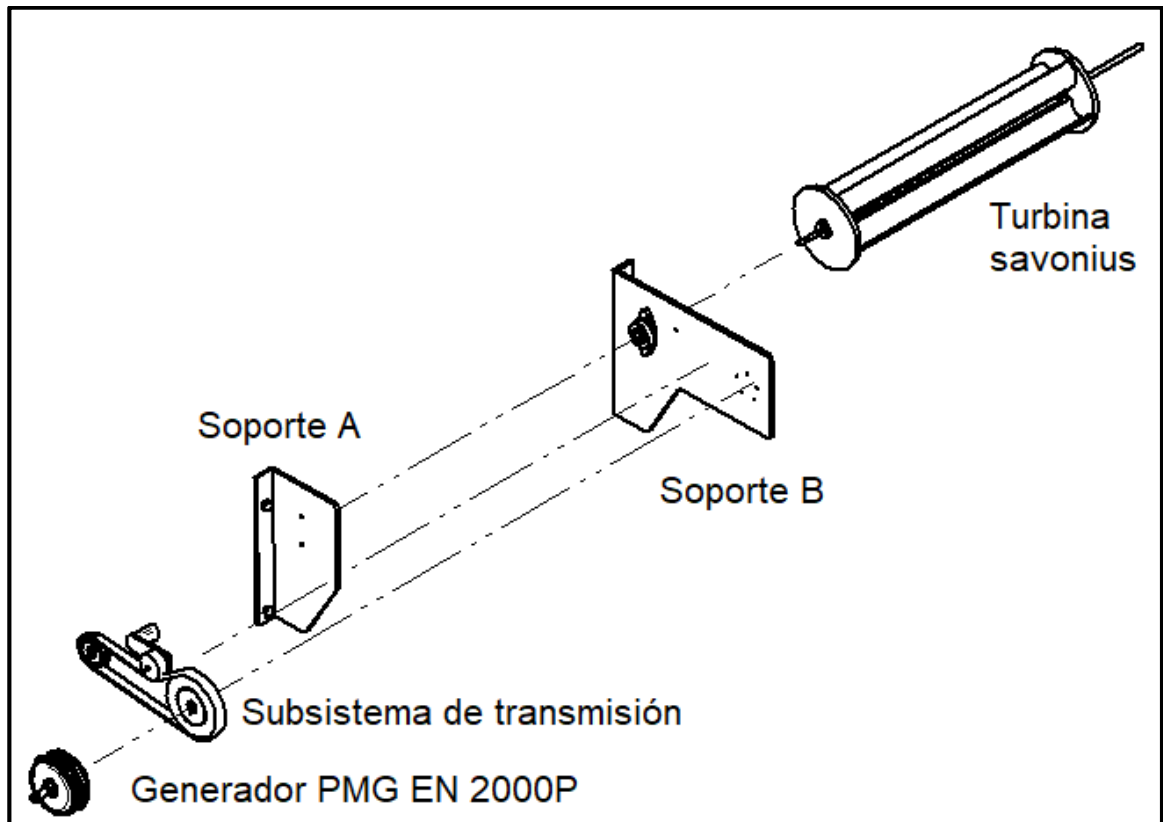
- Insertar los prisioneros en los agujeros que tienen la parte roscada en la polea conducida y se aprietan de manera gradual y uniforme. Para este tipo de buje se recomienda un torque 4,5 Ft/Lb para este paso.

Para tensar la correa se deben seguir los siguientes pasos:

- Con un flexómetro o cualquier otro instrumento midiendo el tramo libre de las correas en metros.
- Con el valor anteriormente hallado se multiplica por 16, para obtener la deflexión en mm.
- Justo en el centro del tramo libre, se aplica una fuerza necesaria para desviar la correa según los cálculos anteriores.
- Mediante la tabla de deflexión se halla la fuerza de deflexión para los valores de las correas nuevas, si la fuerza es menor que la que aparece en la tabla la correa está distorsionada, de lo contrario la correa se encuentra sobre-tensionada.
- Una vez tensionada la correa según los parámetros anteriores, se pone a funcionar el sistema entre 1 a 4 horas, volviendo a medir los parámetros tras esta prueba, verificando que haya quedado bien tensionada.
- Después de 10 a 15 días de funcionamiento, se revisa la tensión de la correa y si es necesario se re-tensiona, pero esta vez con los valores de correas trabajadas.

El último sistema en instalar debe ser el generador de energía, el cual es el encargado de transformar el movimiento y la potencia transmitida por las poleas en energía eléctrica. Además, es también el encargado de enviar esta energía al controlador del vehículo para que este disponga de la energía.

Diagrama 34. Ensamble del sistema completo



Fuente: elaboración propia.

El generador se fija al chasis del vehículo mediante el soporte que se diseñó previamente en el numeral 3.2.3.5. el cual se atornilla mediante tornillos M20 al chasis y M10 al generador.

6.2. MANUAL DE OPERACIÓN

Para un correcto funcionamiento y operación del sistema de captación de energía, a continuación, se mencionarán los procedimientos que se deben tener en cuenta para su puesta marcha.

- Previamente al realizar cualquier actividad que tenga que ver con el contacto con el sistema, revise el manual de mantenimiento e instalación para corroborar que las actividades planeadas son las adecuadas.
- Asegurar que el vehículo se encuentre des enchufado, para conmutar el interruptor que da paso del generador del sistema a las baterías.
- Antes de poner en marcha su vehículo se debe hacer una inspección y verificación del sistema de transmisión gire libremente y la correa se encuentra tensa, además de que la turbina se encuentre en buen estado.

- Verificar que no haya ningún elemento que este obstaculizando la entrada de aire antes de poner en marcha el vehículo.
- Para iniciar el sistema, el vehículo se debe encontrar en movimiento ya que el sistema funciona utilizando una corriente de aire la cual es captada en la parte frontal del vehículo.
- El sistema tiene un funcionamiento automático, y este solo funcionara correctamente siempre y cuando se tengan en cuenta las pautas antes mencionadas.

6.3. MANUAL DE MANTENIMIENTO

Los aerogeneradores son máquinas de gran resistencia, por ende, no es necesario un frecuente mantenimiento; sin embargo, las uniones pernadas, tensión de correa y las conexiones del cableado eléctrico deben tener una adecuada inspección por posibles desajustes.

Para ello se debe seguir las siguientes inspecciones dentro del programa de mantenimiento para poder realizar un mantenimiento adecuado para el correcto funcionamiento del sistema.

- Mantenimiento de rutina
- Inspección de rutina
- Inspecciones trimestrales
- Inspecciones anuales

Los tiempos de inspección deben ser adecuados para así evitar corrosión u otro tipo de fallas dentro del sistema.

MANTENIMIENTO INSPECCIONES

Este mantenimiento se realiza con el fin mantener el sistema funcionando en óptimas condiciones, para este se deben llevar a cabo las siguientes tareas:

- Lubricación de los rodamientos
- Inspección de los sellos (si existen)

INSPECCIONES DE RUTINA

Estas tareas se realizan cuando el sistema está en funcionamiento. Se recomienda realizar estas inspecciones por lo menos una vez al día.

- Comprobar ruidos inusuales
- Comprobar vibraciones
- Comprobar temperaturas en los rodamientos
- Analizar el desgaste del eje por posibles vibraciones
- Inspeccionar temperatura del generador
- Comprobar la tensión de la correa del sistema de transmisión de potencia

INSPECCIONES TRIMESTRALES

Estas tareas se deben realizar cada tres meses

- Comprobar que los soportes y tornillos de cada elemento de fijación estén ajustados
- Comprobar el estado de los bujes de la turbina
- Comprobar el estado de los bujes de las poleas
- Comprobar el estado de los rodamientos
- Comprobar la alineación del eje de la turbina
- Comprobar la alineación de las poleas

INSPECCIONES ANUALES

Estas tareas se deben realizar al paso de un año de funcionamiento del sistema

- Comprobar la capacidad de generación de energía del generador
- Comprobar el estado de los alabes de la turbina
- Comprobar el estado del eje
- Comprobar el estado de la correa del sistema de transmisión de potencia

Si el rendimiento del generador no es el adecuado este se debe desmontar del sistema y hacer una inspección detallada y reparación de los componentes dañados de este para que cumpla los requerimientos del sistema.

A continuación, se explica cómo se debe realizar el mantenimiento en los componentes principales del sistema los cuales son:

- Eje de la turbina
- Turbina
- Rodamientos
- Polea 1-3V 90
- Polea 1-3V 105
- Correa A 41
- Generador PMG 200 – 2,5KW

EJE DE LA TURBINA

- Comprobación de las medidas del eje

Se debe comprobar los ajustes de los rodamientos, ya que estos pueden alterar las dimensiones del eje con lo cual se debe reemplazar este.

- Comprobación de la rectitud del eje

Se debe comprobar la rectitud del eje utilizando bloques en V o rodillos de equilibrio para sujetar el eje en donde se fija este a los rodamientos del sistema, verificando que este aún cumpla con los requerimientos funcionales para así evitar un desbalanceo del sistema y posibles vibraciones.

- Comprobación de la superficie del eje

Se debe comprobar la superficie del eje, verificando que no exista ningún daño, especialmente donde se montan los bujes de la turbina y el de la polea PQ 1-3V 90. Se debe reemplazar el eje completo si se llega a apreciar cualquier daño superficial.

TURBINA

Para analizar la turbina se debe desmontar este componente del sistema para su mejor observación.

Para este componente se realiza una inspección de cada uno de los alabes que existen en esta, se deben desmontar de las tapas para así darle un análisis detallado de cada uno.

- Comprobación de la superficie de los alabes

Se debe comprobar que la superficie de los alabes se mantenga uniforme y no esté alterada por el choque de algún elemento exterior. Se debe verificar que la pintura protectora este en buen estado y su curvatura aún se mantenga semicircular para el correcto funcionamiento del sistema.

- Comprobación de las tapas de la turbina

Se debe comprobar que estas no tengan ninguna alteración de dimensiones y que su pintura protectora este en un adecuado estado y no presente corrosión o algún otro tipo de falla, en dicho caso se debe reemplazar la tapa.

RODAMIENTOS

Se debe verificar que los dos rodamientos que soportan el eje estén en un buen estado físico para evitar alguna falla que pueda dañar el sistema.

Los fallos en elementos tipo rodamientos generan vibraciones a unas frecuencias altas las cuales no están relacionadas con la velocidad de rotación y de amplitud las que son totalmente aleatorias.

Para los rodamientos se debe realizar una adecuada lubricación, alineación y balanceo, si uno de los rodamientos presenta alguna falla que no se pueda reparar se debe reemplazar el componente.

POLEAS

Para las poleas se debe comprobar que no exista ningún tipo de falla que pueda dañar la correa o que no permita el buen funcionamiento del subsistema.

Con la ayuda de una galga se debe comprobar que las canales estén en buen estado para el buen funcionamiento del sistema, también se debe comprobar que no existan grietas o superficies aceitosas.

Se debe comprobar que las poleas estén alineadas mediante una superficie de precisión.

CORREA A 41

Se debe verificar el buen estado de la correa por lo menos una vez al mes, para esto se realiza una inspección visual y auditiva.

Para este componente se realiza la inspección con el fin de corregir y realizar la transmisión de potencia de la mejor manera posible.

Si hay algún tipo de desgaste esto puede causar deslizamiento o el mal funcionamiento del sistema, en este caso se debe reemplazar la correa.

Tabla 50. Manual de mantenimiento.

| Sistema | Elemento | Inspección | Periodicidad | Falla |
|--------------------------|-------------|--|--------------|--------------------------|
| Subsistema turbina | Eje | se debe verificar que la desviación del eje no sea excesiva | trimestral | Desbalanceo |
| | | Se debe verificar que el juego longitudinal del eje no sea excesivo | trimestral | Deformación longitudinal |
| | | se debe verificar que el eje está alineado de forma correcta | trimestral | Fisuras |
| | Turbina | Se debe verificar que los alabes de la turbina están bien unidos a las tapas | anual | Fractura |
| | | se debe verificar que la turbina no presente ruidos o vibraciones excesivas | trimestral | Giro obstruido |
| | | se debe verificar que los alabes están en buen estado físico | semestral | Fractura |
| Subsistema de generación | Uniones | se debe verificar que el apriete de los tornillos sea adecuado | semestral | Desapriete |
| | Imanes | se debe verificar que el generador produce la energía solicitada | semestral | Desmagnetismo |
| | Pernos | se debe verificar que el apriete de los tornillos sea adecuado | trimestral | Desajuste |
| | Cables | Se debe comprobar el buen estado de los cables | semestral | Desgaste |
| | Bornes | se debe verificar que no exista corrosión | trimestral | Corrosión |
| Subsistema estructural | Rodamientos | se debe verificar que no exista corrosión | trimestral | Resistencia |
| | | se debe verificar que el eje no está doblado | semestral | Corrosión |
| | | se debe verificar que las piezas rotativas no rozan con otros componentes | semestral | Desgaste |

Tabla 50. (Continuación)

| Sistema | Elemento | Inspección | Periodicidad | Falla |
|---------------------------------------|------------------|---|---------------------|---------------------------|
| subsistema estructural | Rodamientos | se debe verificar que los rodamientos no se están sobrecalentando | semestral | Giro obstruido |
| | Polea conductora | se debe verificar que el buje que la fija al eje está en buen estado | trimestral | Desajuste |
| | Polea conducida | se debe verificar que el buje que la fija al eje está en buen estado | trimestral | Desajuste |
| Subsistema de transmisión de potencia | | se debe comprobar que la correa está bien tensionada | trimestral | Desbalanceo |
| | Correa | se debe comprobar que la correa está bien tensionada | semestral | Rodadura |
| | | se debe verificar que la correa está en buen estado físico | semestral | Caída de correa |
| | Rodillo tensor | se debe verificar que el sistema de transmisión no roza con otro componente | semestral | Desgaste de correa |
| | | se debe comprobar que el rodillo tensor está alineado con la correa | semestral | Desalineado de las poleas |

Fuente: elaboración propia


















De la tabla anterior se hace el listado de fallas para así tener un mejor análisis de lo que se debe proceder para corregirlas, y como se debe realizar el procedimiento para cada una de ellas.











Tabla 51. Análisis de falla

| Falla | Análisis | Actividad a proceder | Herramientas |
|--------------------|--------------------|-----------------------------|---------------------|
| Descentrar | análisis de falla | centrar el eje | Reloj comparador |
| Deformación | análisis de falla | Cambio del eje | extractor estándar |
| Fractura | tintas penetrantes | Cambio del eje | extractor estándar |
| giro obstruido | desmontaje | limpieza de la turbina | paños de microfibra |
| Desapriete | desmontaje | apretar uniones | llave inglesa |
| des magnetismo | tintas penetrantes | cambio de imanes | extractor estándar |
| Desajuste | apriete | apretar pernos | llave Allen |
| mal funcionamiento | magnetismo | cambio de cables | cables |
| Resistencia | apriete | cambio de generador | destornilladores |
| caída de polea | visual | ajuste de polea | llave inglesa |
| Desbalance | visual | balancear polea | Reloj comparador |
| fractura de correa | resistencia | cambio de correa | extractor estándar |

Fuente: elaboración propia

6.4. MANUAL DE SEGURIDAD Y SALUD

| Proceso | sub proceso | Peligro | | Gravedad de los niveles de Daño | | Control de mitigacion | Elementos de proteccion personal | Herramientas |
|-------------|--------------------------------------|--|----------------------|---------------------------------|--|--|---|--|
| | | Descripcion | Clasificacion | Categoria del daño | Clasificacion | | | |
| Instalacion | Acoplamiento al vehiculo | Exposición al ruido producido por la maquinaria usada | Fisico- Ruido | salud | Daño moderado: enfermedades que causan incapacidad temporal | uso de proteccion auditiva como tapones |  hacer uso de los tapones |  Taladro |
| | | Exposición a la vibracion | Fisico-Vibración | salud | Daño leve: enfermedades temporales que producen malestar | | |  pulidora |
| | | Mal manejo de las herramientas y equipos auxiliares al momento de la instalacion | Seguridad-mecanico | seguridad | Daño extremo: lesiones que pueden ocasionar daños permanentes | Capacitaciones del correcto uso de las herramientas y sufuncionamiento |  hacer uso de los elementos de seguridad |  llaves, pinzas |
| | | Exposición a la luz producida por la soldadura | Fisico- iluminación | salud | Daño extremo: enfermedades cronicas que causan incapacidad permanente | uso de lentes protectores y hacer pausas |  hacer uso de los lentes protectores |  equipo de soldadura |
| | Turbina | Manipulacion indebida de cargas o posicion inadecuada | Fisico-Biomecanico | salud | Daño moderado: Enfermedades que causan incapacidad temporal | |  hacer uso de corrector de postura si es necesario |  llaves, pinzas |
| | | Exposición a la luz producida por la soldadura | fisico-iluminación | salud | Daño extremo: enfermedades cronicas que causan incapacidad permanente | uso de lentes protectores y hacer pausas |  hacer uso de los lentes protectores |  equipo de soldadura |
| | Sistema de transmisión de la turbina | Postura cedente prolongada | Fisico- biomecanico | salud | Daño moderado: enfermedades a largo plazo causan capacidad permante o temporal | pusas activas y hacer ejercicios para la espalda |  hacer uso de corrector de postura si es necesario |  |
| | | Mal manejo de las herramientas y equipos auxiliares al momento de la instalacion | Seguridad-mecanico | seguridad | Daño Extremo: lesiones que pueden ocasionar daños permanentes | leer previamente los manuales de uso de la herramienta |  hacer uso de los elementos de seguridad |  Taladro , Pinzas, Llaves , destornilladores |
| | Sistema Eléctrico | Exposcion a riesgos electricos | seguridad- Eléctrico | seguridad | Daños Extremos: se pueden ocasionar quemaduras y lesiones permantes | hacer uso de elementos de proteccion |  uso de guantes di electricos |  Voltimetro, Pinzas y destornilladores di electricos, Termocontraibles |

| | | | | | | | | | | |
|---------------|--------------------------------------|--|----------------------|-----------|---|--|---|---|---|--|
| | Sistema Eléctrico | Exposicion a riesgos electricos | seguridad- Eléctrico | seguridad | Daños Extremos: se pueden ocasionar quemaduras y lesiones permanentes | hacer uso de elementos de proteccion |  |  | | |
| | | | | | | | uso de guantes de electricos | Voltmetro, Pinzas y destornilladores de electricos, Termocontraibles | | |
| Mantenimiento | Turbina | adaptacion de malas posturas | Fisico-Biomecanico | salud | Daño leve: enfermedades temporales que producen malestares | |  | hacer uso de corrector de postura si es necesario | | |
| | | Riesgos de cortaduras con partes rotas | Fisico-Biologico | salud | Daño leves: enfermedades temporales que producen malestares | hacer uso de elementos de proctaccion |  | simpre usar los guantes de de proteccion y carga | | |
| | Sistema de transmision de la turbina | Mal manejo de las herramientas y equipos auxiliares al momento de la instalacion | Seguridad- mecanico | seguridad | Daño Extremo: lesiones que pueden ocasionar daños permanentes | leer previamente los manuales de uso de la herramienta |  | hacer uso de los elementos de seguridad |  | |
| | | Uso de herramientas inadecuadas | Fisico- biomecanico | salud | Daños leves: se pueden producir enfermedades temporales que causan molestias | tener simpre la caja de herramientas a la mano |  | hacer uso de los elementos de seguridad |  | Taladro , Pinzas, Llaves, destornilladores |
| | | exposicion a trapamientos por parte de las poleas | Seguridad-Mecacnico | seguridad | Daños Moderados: se pueden podrocuir atrapamientos de alguna parte y ocasionar lesiones leves | |  | hacer uso de la vestimenta adecuada |  | juego de llaves y pinzas |

7. IMPACTO AMBIENTAL

7.1 IMPLICACION DEL USO DEL SISTEMA DISEÑADO

7.1.1 Construcción. La contaminación que se puede llegar a producir en el proceso de fabricación del sistema es mínima, debido a que se usaran en su gran mayoría materiales reciclables, como lo es el aluminio, acero y cobre entre otros metales que está compuesto el sistema, puesto que la mayor parte es de materiales metálicos y para darles forma se necesitan diversos procesos de mecanizado para obtener la geometría deseada, ya que en este procesos se producirán pequeños desperdicios de material, el cual puede ser recolectado y almacenado, para reciclarlo y así eliminar la disposición residuos sólidos producida por el proceso de construcción de las piezas

7.1.2 Ensamble. El ensamble del sistema es un ensamble sencillo el cual no requiere de ninguna herramienta especial, para su montaje, pero al ir realizando este se irán produciendo algunos desperdicios de cables, viruta de metal por las perforaciones, entre otros, también hay que contemplar los empaques de los productos que se compraron por selección para el ensamble del sistema ya que estos terminan su vida útil en el momento en el que la pieza es sacada y luego se me convierten en un residuo.

7.1.3 Mantenimiento. Al llevar acabo algunas tareas de mantenimiento será necesario hacer uso de elementos de aseo como lo serán el agua, jabón para la limpieza de los alabes de la turbina ya que estos al estar expuestos al ambiente irán acumulando suciedad en sus paredes lo cual esto puede afectar su rendimiento, por otra parte, en sistema de transmisión solo no producirá la un desecho cada vez que se haga cambio de la correa de transmisión.

7.1.4 Daño en piezas. ya que el sistema se encuentra ubicado en la parte frontal del vehículo es muy susceptible que en caso de algún choque frontal pueda sufrir algún daño alguna pieza o elemento del sistema, y para ello habrá que desmontarlo y cámbialo lo cual me genera un residuo sólido y si este hay que fabricarlo implicando todos los impactos que conlleva dicha elaboración.

7.2 MATRIZ DE IMPACTO AMBIENTAL

Tabla 52. Matriz de impacto ambiental, elaborada bajo la norma 14001

| Matriz ambiental del sistema | | | | | | | | | | |
|------------------------------|-------------------------------------|--------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------|------------|-------------|----------|-------|------------------|
| Area | | Tipo de Aspecto | Aspecto ambiental | Impacto ambiental | probabilidad | incidencia | importancia | magnitud | total | significancia |
| Fabricación | Construcción de la turbina | Previsto normal | Consumo de energía eléctrica | No produce emisiones | 2 | 4 | 6 | 2 | 14 | No significativo |
| | | | Consumo de materia prima | Agotamiento de los suelos | 6 | 8 | 10 | 8 | 32 | Significativo |
| | | | Generación de ruido | Contaminación Auditiva | 6 | 6 | 6 | 6 | 24 | No significativo |
| | | | Generación de residuos sólidos | Contaminación del suelo | 6 | 8 | 10 | 8 | 32 | Significativo |
| | Construcción de las poleas, volante | Previsto normal | Consumo de energía eléctrica | No produce emisiones | 2 | 4 | 6 | 2 | 14 | No significativo |
| | | | Consumo de materia prima | Agotamiento de los recursos | 6 | 8 | 10 | 8 | 32 | Significativo |
| | | | Generación de ruido | Contaminación auditiva | 6 | 6 | 6 | 6 | 24 | No significativo |
| | | | Generación de residuos sólidos | Contaminación del suelo | 6 | 8 | 10 | 8 | 32 | Significativo |
| Ensamble | Ensamble y acondicionamiento | Previsto Normal | Generación de residuos sólidos | Contaminación del suelo | 4 | 4 | 4 | 4 | 16 | No significativo |
| Mantenimiento | sistema turbina | Previsto anormal | Consumo de Agua | Agotamiento de fuentes hídricas | 2 | 4 | 6 | 2 | 14 | No significativo |
| | | | Generación de vertimientos | Contaminación de fuentes hídricas | 6 | 6 | 10 | 6 | 28 | No significativo |
| | sistema de transmisión | Previsto anormal | Generación de residuos sólidos | Contaminación del suelo | 4 | 4 | 6 | 6 | 20 | No significativo |
| | sistema de generación y cableado | Previsto anormal | Generación de residuos peligrosos | Contaminación de suelos | 2 | 4 | 8 | 6 | 20 | No significativo |
| Daño en piezas | | Previsto potencial | Generación residuos sólidos | Contaminación del suelo | 4 | 4 | 6 | 4 | 18 | No significativo |

Fuente: elaboración propia

| significancia | No significativo | Significativo |
|---------------|------------------|---------------|
| 336 | >8, <29 | >30 |

7.2.1 ASPECTOS E IMPACTOS SIGNIFICATIVOS. Al realizar la evaluación y ponderación de cada uno de los aspectos que conforman los procesos para llevar a cabo todas las tareas necesarias para poder construir ensamblar y montar el sistema, con el fin de poder determinar qué aspectos e impactos resultaban ser más significativos, dichos aspectos e impactos serán mostrados en la siguiente tabla.

Tabla 53. Aspectos ambientales significativos

| Área | Aspecto ambiental | Impacto ambiental |
|-------------|--------------------------------|-----------------------------|
| Fabricación | Consumo materia prima | Agotamiento de los suelos |
| | Generación de residuos sólidos | Contaminación del suelo |
| | Consumo materia prima | Agotamiento de los recursos |
| | Generación de residuos sólidos | Contaminación del suelo |

Fuente: elaboración propia

Tabla 54. Impactos ambientales

| Aspectos ambientales significativos teniendo en cuenta la matriz | Impactos ambientales significativos teniendo en cuenta la matriz |
|--|--|
| 1 Consumo de materia prima | Agotamiento de los recursos |
| 2 Generación de residuos sólidos | Contaminación del suelo |

Fuente: elaboración propia

Los impactos ambientales más significativos al realizar la matriz fueron aquellos asociados a la construcción del sistema, pero estos impactos pueden llegarse a mitigar ya que, los desechos que se producen en su fabricación y producción son elementos reciclables como el aluminio, este desecho al ser aprovechables hace que la implementación de este sistema sea mínima y no tenga un efecto negativo en el medio ambiente.

8. ANÁLISIS FINANCIERO.

En este capítulo se realiza una evaluación correspondiente a los costos y gastos que conllevan la realización de este proyecto. En la cual se tiene en cuenta los diferentes costos implicados durante la realización de este proyecto, como los costos de los materiales y costos de fabricación.

8.1. COSTOS DE INGENIERÍA

8.1.1. Costos de talento humano. Estos costos pertenecen a las diferentes actividades de investigación y diseño que se desarrollaron para culminar este proyecto de grado.

Tabla 55. Costos de ingeniería

| Ítem | Unidad de medida | Cantidad | Valor unitario | Valor total | Fuente financiadora |
|---------------------------|------------------|----------|----------------|--------------|---------------------|
| Talento humano | | | | | |
| Proyectista 1 | H.H | 210 | \$ 17.252 | \$ 3.623.008 | Proyectistas |
| Proyectista 2 | H.H | 210 | \$ 17.252 | \$ 3.623.008 | Proyectistas |
| Total costo de ingeniería | | | | | \$ 7.246.015 |

Fuente: elaboración propia.

8.1.2. Costos fungibles. Estos costos hacen referencia a los diferentes materiales que son necesarios para la realización de este proyecto de grado.

Tabla 56. Costos fungibles.

| Ítem | Unidad de medida | Cantidad | Valor unitario | Valor total | Fuente financiadora |
|--------------------------|------------------|----------|----------------|-------------|---------------------|
| Fungibles | | | | | |
| Impresión | Unidad | 200 | \$ 50 | \$ 10.000 | Proyectistas |
| Fotocopias | Unidad | 25 | \$ 25 | \$ 625 | Proyectistas |
| Plotter | Unidad | 14 | \$ 1.550 | \$ 21.700 | Proyectistas |
| Transportes | Unidad | 120 | \$ 2.400 | \$ 288.000 | Proyectistas |
| Total costo de fungibles | | | | | \$ 320.325 |

Fuente: elaboración propia.

8.1.3. Total, de gastos de ingeniería. El total de gastos de ingeniería se calcula mediante la sumatoria de los diferentes costos y gastos evaluados en los ítems anteriores, al cual se le adiciona un gasto del 10% del valor total, el cual equivale a cubrir cualquier imprevisto que surja durante el desarrollo de este proyecto de grado.

Tabla 57. Total, de costos de ingeniería

| | |
|-------------------|---------------------|
| Talento humano | \$ 7.246.015 |
| Fungibles | \$ 320.325 |
| TOTAL | \$ 7.566.340 |
| Imprevistos | \$ 756.634 |
| GRAN TOTAL | \$ 8.322.974 |

Fuente: elaboración propia.

El total de costos de ingeniería es de \$ 8'322.974, lo cual se toman los valores al día 10 de noviembre del 2019.

8.2. COSTOS DE FABRICACIÓN Y ENSAMBLE

Estos costos hacen referencia a los egresos en los que se tuvo que incurrir para poder elaborar, ensamblar y comprar cada uno de los materiales necesarios para la culminación de este proyecto de grado.

8.2.1. Costos de fabricación. En este literal se analizará el costo de cada uno de los materiales necesarios para la elaboración del proyecto de grado y su puesta en marcha. En la siguiente tabla se especifican los materiales que se han de utilizar para fabricar el sistema de mejora de autonomía para un vehículo eléctrico.

Tabla 58. Costos de fabricación.

| ítem | Cantidad | Valor unitario | Valor total |
|-------------------------------|----------|----------------|--------------|
| Tornillería general | 100 | \$ 500 | \$ 50.000 |
| Tuercas generales | 100 | \$ 500 | \$ 50.000 |
| Soporte para rodamiento FL204 | 2 | \$ 75.000 | \$ 150.000 |
| Rodamiento UC 201-8 | 2 | \$ 35.000 | \$ 70.000 |
| Eje | 1 | \$ 350.000 | \$ 350.000 |
| Polea PQ 1-3V 90 | 1 | \$ 120.000 | \$ 120.000 |
| Polea PQ 1-3V 105 | 1 | \$ 150.000 | \$ 150.000 |
| Buje QD - JA | 2 | \$ 75.000 | \$ 150.000 |
| Buje táper 1610 | 2 | \$ 80.000 | \$ 160.000 |
| Correa en V (A41) | 1 | \$ 25.000 | \$ 25.000 |
| Rodillo SE-11 | 1 | \$ 180.000 | \$ 180.000 |
| Generador PMG EN 2000P | 1 | \$ 1.123.000 | \$ 1.123.000 |

| Ítem | Cantidad | Valor unitario | Valor total |
|---------------------|-----------------|-----------------------|---------------------|
| Turbina savonius | 1 | \$ 650.000 | \$ 650.000 |
| soporte alabe tapas | 24 | \$ 2.000 | \$ 48.000 |
| Anillos retenedores | 4 | \$ 10.000 | \$ 40.000 |
| Total | | | \$ 3.316.000 |

Fuente: elaboración propia

El total de los componentes necesarios para el sistema es de \$3'174,000 a la fecha de 10 de noviembre de 2019.

8.2.2. Costos de ensamble. Estos costos son los que equivalen en el proceso de preparación y están asociados al ensamble de todos los materiales necesarios anteriormente mencionados.

En estos se analizarán todo proceso que sea necesario para la instalación, adecuación y puesta en marcha del sistema.

Tabla 59. Costos de ensamble

| Ítem | Cantidad | Valor unitario | Valor total |
|--------------|-----------------|-----------------------|--------------------|
| Ensamble | 1 | \$ 50.000 | \$ 50.000 |
| Pintura | 1 | \$ 50.000 | \$ 50.000 |
| Montaje | 1 | \$ 40.000 | \$ 40.000 |
| Total | | | \$ 140.000 |

Fuente: elaboración propia

8.3. COSTOS TOTALES

El costo total es la suma de los costos de ingeniería, de fabricación y de ensamble anteriormente descritos.

Tabla 60. Costos totales

| | |
|----------------------|----------------------|
| Costo de ingeniería | \$ 8.322.974 |
| Costo de fabricación | \$ 3.316.000 |
| Costo de ensamble | \$ 140.000 |
| TOTAL | \$ 11.778.974 |

Fuente: elaboración propia

Según los costos asociados al proyecto, este tiene un costo total de \$ 11'778.974, el cual es totalmente independiente al valor que se requiere al convertir el vehículo de combustión a eléctrico.

8.4 ANALISIS DE COSTO DE OPERACIÓN

El análisis de costo de operación se realizó bajo un promedio de tiempo en el cual el vehículo alcanza la velocidad de generación.

El objetivo de este proyecto es el diseñar un sistema de mejora de autonomía, que tiene como función de producir energía eléctrica la cual será aprovechada para el movimiento del vehículo

8.4.1. Costos de operación propuesto. El sistema de mejora solo requiere para su puesta en marcha que el vehículo se encuentre en movimiento y a la velocidad mínima de generación teniendo en cuenta esto, se determina un tiempo promedio el cual el sistema estaría generando energía.

Tabla 61. Costos propuestos del ahorro del generador

| Industrial | | | | | | | | |
|---|-----|-----|--------------|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| costos del KW/h para el mes de noviembre ENEL | | | | | | | 629,0344 | |
| operador | V | KW | Horas Día | Dias al mes | \$ Hora | \$ Día | \$ Mes | Años |
| Generador | 110 | 2,5 | 4 | 25 | 1.572,586 | 6.290,344 | 157.258,6 | 1'887.103 |

Fuente: elaboración propia

8.5 EVALUACIÓN FINANCIERA

Para este proyecto se realizó la evaluación financiera para determinar su viabilidad, para esto se tuvo en cuenta la inversión y los costos del ahora de la puesta en marcha del sistema, para este caso se realizó bajo el método del valor presente neto, con una tasa de interés de los certificados de depósito a término de 90 días (DTF). El Banco de la Republica establece que el que para el mes de octubre del 2019 es de 4,25% EA⁴¹

$$TIO = DTF + 2\%$$

$$TIO = 4,25\% + 2\% = 6,25\% EA$$

Teniendo definida una tasa de efectivo anual (i_{Anual}) de 0.0625 o 6.25% se procederá hallar la viabilidad del proyecto mediante el cálculo del valor presente neto

$$VPN = -S_0 \sum_{t=1}^n \frac{S_t}{(1+i)^t}$$

Donde:

S_0 = inversión inicial del proyecto

S_t = flujo de efectivo

i = Tasa Interna de oportunidad

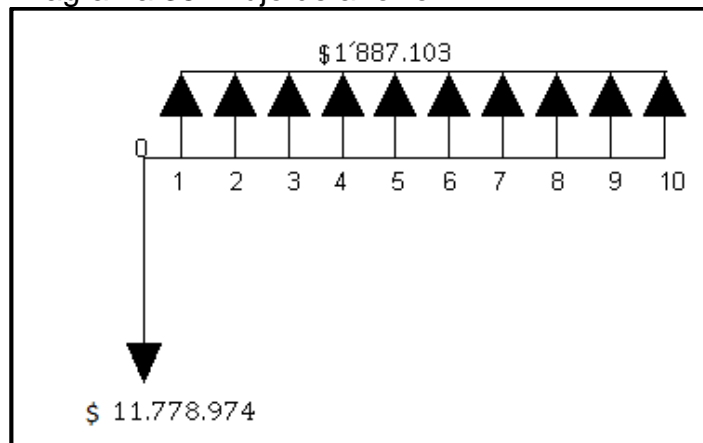
VPN = Valor presente neto

$$\begin{aligned} VPN = & -11.778.974 + \left(\frac{1'887.103}{(1 + 0.0625)^1} \right) + \left(\frac{1'887.103}{(1 + 0.0625)^2} \right) + \left(\frac{1'887.103}{(1 + 0.0625)^3} \right) \\ & + \left(\frac{1'887.103}{(1 + 0.0625)^4} \right) + \left(\frac{1'887.103}{(1 + 0.0625)^5} \right) + \left(\frac{1'887.103}{(1 + 0.0625)^6} \right) + \left(\frac{1'887.103}{(1 + 0.0625)^7} \right) \\ & + \left(\frac{1'887.103}{(1 + 0.0625)^8} \right) + \left(\frac{1'887.103}{(1 + 0.0625)^9} \right) + \left(\frac{1'887.103}{(1 + 0.0625)^{10}} \right) \end{aligned}$$

$$VPN = \$1'947.230$$

A continuación, se muestra una gráfica del efectivo que se tiene para cada uno de los periodos y la inversión inicial

Diagrama 35. Flujo de ahorro

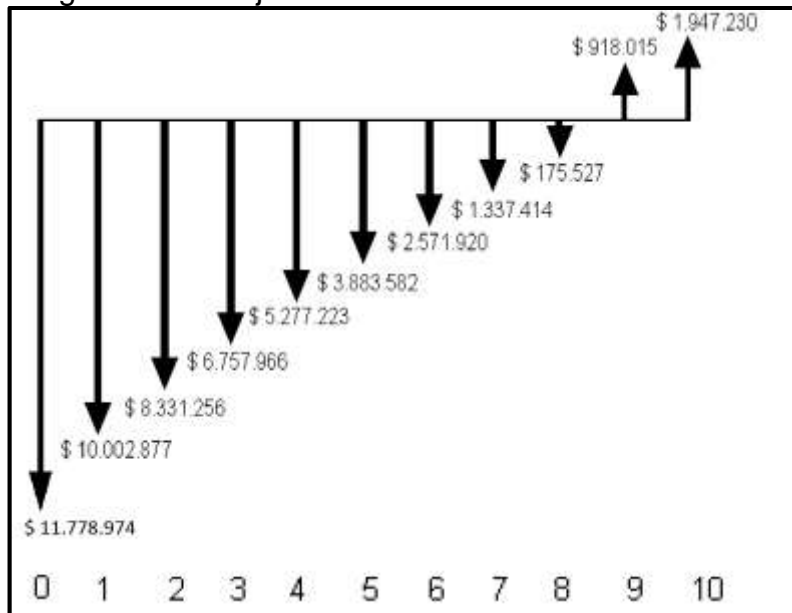


Fuente: elaboración propia

El diagrama anterior muestra el flujo de ahorro año tras año de \$ 1'887.103 pesos que la empresa debe pagar por hacer uso de esta energía ya que esta es producida por el sistema de mejora propuesto, teniendo en cuenta que el planteamiento es

hecho durante un periodo de tres años con una inversión inicial del proyecto de \$11'778.974 pesos

Diagrama 36. Flujo de efectivo



Fuente: elaboración propia.

En la anterior figura se puede apreciar que en el periodo de los diez años el sistema año tras año muestra de manera significativa que su puesta en marcha ha generado un aporte en cuanto a consumo eléctrico por lo cual se puede ver como un ahorro del costo de electricidad.

Podemos observar que la inversión inicial se es retornada al final del noveno año y a partir del décimo año, una ganancia de 1'947.230, a partir de este momento se pueden observar utilidades.

9. CONCLUSIONES

- El sistema de mejora de autonomía diseñado en este proyecto genera un aumento teórico de 3,7% sobre la autonomía actual del vehículo estudiado. Lo que implica un aumento de 5,55 Km.
- La autonomía de un vehículo depende de sus componentes principales, ya que el consumo del vehículo varía en función del recorrido que este realiza y a la velocidad en la que se moviliza, por ejemplo, el vehículo analizado en este proyecto de grado tiene una autonomía de 150 Km con un peso de 1020 Kg, el cual el 80% del recorrido se realiza en una superficie plana y el 20% en una pendiente ascendente con una velocidad promedio de 60 Km/h.
- La turbina tipo savonius cumple perfectamente los parámetros de diseño de este proyecto, ya que empieza a girar a bajas velocidades del viento donde alcanza su rendimiento máximo. Lo cual significa un TSR (TOP SPEED RATIO) relativamente bajo de 0,8.
- El desarrollo de este proyecto de grado tiene un valor estimado total de \$11'778.974, el cual se recupera al noveno año después de la implementación de este sistema con una tasa de recuperación de \$1'887.103 anual; con lo cual la implementación del sistema no tiene un costo elevado de fabricación con un valor estimado de \$3'316.000.
- El funcionamiento del generador tiene una producción de agentes contaminantes casi nula. Por lo cual la implementación del sistema tiene unos impactos ambientales bajos.
- Este sistema cumple perfectamente los requerimientos de la empresa EVCO, ya que no requiere modificar ningún elemento eléctrico del vehículo, y se acomoda perfectamente al espacio disponible.

10. RECOMENDACIONES

- Se recomienda proceder a la construcción de un prototipo, ya que no posee un costo elevado, con el propósito de realizar un estudio físico para poder implementar el sistema de mejora de autonomía.
- Se recomienda hacer un análisis con un diseño intercambiando el perfil de los alabes con el fin de obtener una comparativa entre eficiencias de la turbina.
- Se recomienda hacer un análisis de simulaciones CFD, mediante el método Sliding Mesh con el objetivo de obtener unos resultados más exactos para la predicción del comportamiento aerodinámico de la turbina eólica.

BIBLIOGRAFÍA

ACTUALIDAD: Vehículos eléctricos. [En línea]. [consultado el 12 de diciembre de 2018]. Disponible en: <http://www.electromaps.com/hibridos-enchufables>

AFICIONADOS A LA MECANICA. Coche eléctrico. [En línea]. [consultado el 22 de diciembre de 2018]. Disponible en: http://www.aficionadosalamecanica.com/coche-electrico_control.htm

AFICIONADOS A LA MECANICA. Emisión de gases de combustión. [En línea]. [consultado el 22 de diciembre de 2018]. Disponible en: (<http://www.aficionadosalamecanica.net/emision-gases-escape.htm>)

AFICIONADOS A LA MECANICA. Historia del coche eléctrico. [En línea]. [Consultado el 20 de diciembre del 2018]. Disponible en: http://www.aficionadosalamecanica.com/coche-electrico_historia.htm.

APRENDE CON ENERGÍA. Batería. [En línea]. [consultado el 22 de diciembre de 2018]. Disponible en: <http://www.aprendeconenergia.cl/glossary/bateria/>

AUTOS F1 LATAM. Taxis eléctricos byd e6. [en línea]. [consultado el 12 de diciembre de 2018]. Disponible en: <http://www.f1latam.com/autos/noticias.php?idn=1600>

BANCO MUNDIAL. Indicadores. [En línea]. [consultado el 22 de diciembre de 2018]. Disponible en: (<http://datos.bancomundial.org/indicador/IS.ROD.ENG.Y.ZS/countries>).

BBC. Riesgo ambiental. [En línea]. [consultado el 12 de diciembre de 2018]. Disponible en: https://www.bbc.com/mundo/noticias/2012/10/121005_autos_electricos_riesgo_ambiental_ar

CORRIENTE ELECTRICA. Partes de un motor eléctrico. [En línea]. [consultado el 22 de diciembre de 2018]. Disponible en: <https://corrienteelectronica.renault.es/partes-motor>

DIARIO MOTOR. Historia del coche eléctrico: largo proceso de desarrollo. [En línea]. [Consultado el 12 de diciembre del 2018]. Disponible en: <http://www.diariomotor.com/tecmovia/2011/07/19/la-historia-del-coche-electrico-un-largo-proceso-de-desarrollo/>.

DINERO. Análisis de producción energética en Colombia. [En línea]. [Consultado el 20 de diciembre del 2018]. Disponible en:

<https://www.dinero.com/economia/articulo/analisis-produccion-energetica-del-pais-su-competitividad/211733>

DYNAPUBLI. Motor de reluctancia conmutada. [En línea]. [consultado el 22 de diciembre de 2018]. Disponible en: (<http://www.dynapubli.com/noticias-PD/la-tecnologia-de-motores-de-imanes-permanentes>).

EL MOTOR ELECTRICO. Historia del motor eléctrico. [En línea]. [consultado el 22 de diciembre de 2018]. Disponible en: <http://elmotorelectricopaolatumay.blogspot.com/2016/09/historia-del-motor-electrico-el.html>

EL UNIVERSAL. Primeros taxis eléctricos en Colombia. [En línea]. [consultado el 12 de diciembre de 2018]. Disponible en: <http://www.eluniversal.com.co/economica/empiezan-llegar-colombia-los-primeros-taxis-electricos-133263-GQEU221465>

ELECTROMAPS. Actualidad: Vehículos eléctricos. [En línea]. [consultado el 12 de diciembre de 2018]. Disponible en: (<http://www.electromaps.com/hibridos-enchufables>).

ELECTROMOVILIDAD. Comparativo coche eléctrico vs coche combustión. [En línea]. [consultado el 22 de diciembre de 2018]. Disponible en: <http://electromovilidad.net/comparativa-coche-electrico-vs-coche-combustion/>

ENDESA. Vehículos eléctricos. [En línea]. [consultado el 22 de diciembre de 2018]. Disponible en: <http://www.endsavehiculoelectrico.com/vehiculo-electrico/el-vehiculo/tipos>.

EVE. Componentes de un vehículo eléctrico. [En línea]. [consultado el 22 de diciembre de 2018]. Disponible en: <http://www.eve.es/Proyectos-energeticos/Proyectos-en-desarrollo/Vehiculo-electrico/Componentes-principales-de-un-vehiculo-electrico.aspx>.

FOROEV. Modos de carga. [En línea]. [consultado el 22 de diciembre de 2018]. Disponible en: (<http://foro-ev.com/index.php?topic=66.0>)

FRENO MOTOR. Ventajas y desventajas. [En línea]. [consultado el 22 de diciembre de 2018]. Disponible en: <http://frenomotor.com/opinion/ventajas-inconvenientes-vehiculos-electricos/2015>.

GUÍA DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO. [En línea]. [consultado el 12 de diciembre de 2018]. Disponible en: <http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Guia-del-Vehiculo-Electrico-II-fenercom-2015.pdf>

HYPERPHYSICS. Funcionamiento del motor de inducción. [En línea]. [consultado el 22 de diciembre de 2018]. Disponible en: (<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/magnetic/indmot.html>).

IDAE. Mapa tecnológico: movilidad eléctrica [En línea]. [Consultado el 22 de diciembre del 2018]. Disponible en: http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Movilidad_Electrica_ACC_c603f868.pdf

IE NOTICIAS. ¿Qué tan competitiva es la energía colombiana? [En línea]. [Consultado el 20 de diciembre del 2018]. Disponible en: www.ie.com.co/NOTICIAS/notPRU.php?idnoticiasn=12432.

INDEX MUNDI. Consumo de gasolina y ACPM en Colombia. [En línea]. [consultado el 22 de diciembre de 2018]. Disponible en: (<http://www.indexmundi.com/energy.aspx?country=co&product=gasoline&graph=consumption>)

INDEX MUNDI. Consumo de petróleo crudo en Colombia por año. [En línea]. [consultado el 22 de diciembre de 2018]. Disponible en: (<http://www.indexmundi.com/energy.aspx?country=co&product=oil&graph=consumption>).

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION. Compendio de normas para trabajos escritos NTC-1486-6166. Bogotá D.C. El instituto, 2018. ISBN 9789588585673 153p

MHEDUCATION. Motor eléctrico [En línea]. [consultado el 22 de diciembre de 2018]. Disponible en: <http://assets.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448173104.pdf>

MOTOR PASION FUTURO. Contaminación y movilidad. [En línea]. [consultado el 22 de diciembre de 2018]. Disponible en: (<http://www.motorpasionfuturo.com/coches-electricos/un-estudio-asegura-que-los-coches-electricos-son-mas-contaminantes-que-los-de-combustion>).

MOTOR PASION. Historia de los coches eléctricos. [En línea]. [Consultado el 8 de diciembre de 2018]. Disponible en: <https://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/historia-de-los-coches-electricos>.

MOVILTRONICS. BATERIAS. [En línea]. [consultado el 22 de diciembre de 2018]. Disponible en: <https://moviltronics.com.co/50-baterias-para-vehiculos-electricos>.

NOTICIAS ONU. La población mundial. [En línea]. [consultado el 4 de diciembre de 2018]. Disponible en: <https://news.un.org/es/story/2007/03/1099691>

PLACER VIAL. Mini Cooper. [En línea]. [consultado el 22 de diciembre de 2018]. Disponible en: (<http://www.placervial.com/2/mini/52-mini-prueba-de-manejo-en-placervialcom>)

PORTAFOLIO. Importaciones de petróleo y sus derivados en Colombia por año. [En línea]. [consultado el 22 de diciembre de 2018]. Disponible en: (<http://www.portafolio.co/negocios/importaciones-petroleo-y-sus-derivados-siguen-aumento>).

TESIS EN RED. Motor de flujo axial. [En línea]. [consultado el 22 de diciembre de 2018]. Disponible en: (<http://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/6288/10CAPITOL6.pdf?sequence=10>).

TIPOS DE BATERÍAS. Funcionamiento y características de las baterías. [En línea]. [consultado el 22 de diciembre de 2018]. Disponible en: <https://www.tiposde.org/cotidianos/420-tipos-de-baterias>.

TIPOS DE BATERÍAS. Tipos de baterías. [En línea]. [consultado el 22 de diciembre de 2018]. Disponible en: (<http://www.tiposde.org/cotidianos/420-tipos-de-baterias/>).

TWENENERGY. La electricidad frente al combustible. [En línea]. [Consultado el 8 de diciembre de 2018]. Disponible en: <https://twenergy.com/a/la-electricidad-frente-al-combustible-2734>

UNISERRAL. Las infraestructuras de recarga para el vehículo eléctrico. [En línea] [consultado el 22 de diciembre de 2018]. Disponible en: http://www.uniserral.com/51449_es/LAS-INFRAESTRUCTURAS-DE-RECARGA-PARA-EL-VEHICULO-ELECTRICO/

Vehículo eléctrico: CITROËN C-ZÉRO. [En línea]. [consultado el 12 de diciembre de 2018]. Disponible en: <http://www.electromaps.com/coches-electricos/citroen/c-zero>

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Directrices de la calidad de aire para partículas, ozono, nitrógeno y dióxido de azufre. [En línea]. [consultado el 22 de julio de 2019]. Disponible en: (https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69477/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf;jsessionid=596F98C029E20D07FE5B1111580A96DF?sequence=1)

ANEXOS

ANEXO A.
PROPIEDADES DEL ACERO AISI 1045

ACERO AISI-SAE 1045 (UNS G10450)

1. Descripción: es un acero utilizado cuando la resistencia y dureza son necesarios en condición de suministro. Este acero medio carbono puede ser forjado con martillo. Responde al tratamiento térmico y al endurecimiento por llama o inducción, pero no es recomendado para cementación o cianurado. Cuando se hacen prácticas de soldadura adecuadas, presenta soldabilidad adecuada. Por su dureza y tenacidad es adecuado para la fabricación de componentes de maquinaria.

2. Normas involucradas: ASTM A108

3. Propiedades mecánicas: Dureza 163 HB (84 HRb)
Esfuerzo de fluencia 310 MPa (45000 PSI)
Esfuerzo máximo 565 MPa (81900 PSI)
Elongación 16% (en 50 mm)
Reducción de área (40%)
Módulo de elasticidad 200 GPa (29000 KSI)
Maquinabilidad 57% (AISI 1212 = 100%)

4. Propiedades físicas: Densidad 7.87 g/cm³ (0.284 lb/in³)

5. Propiedades químicas: 0.43 – 0.50 % C
0.60 – 0.90 % Mn
0.04 % P máx
0.05 % S máx

6. Usos: los usos principales para este acero es piñones, cuñas, ejes, tornillos, partes de maquinaria, herramientas agrícolas y remaches.

7. Tratamientos térmicos: se da normalizado a 900°C y recocido a 790°C

NOTA:

Los valores expresados en las propiedades mecánicas y físicas corresponden a los valores promedio que se espera cumple el material. Tales valores son para orientar a aquella persona que debe diseñar o construir algún componente o estructura pero en ningún momento se deben considerar como valores estrictamente exactos para su uso en el diseño.

ACERO MAQUINARIA - AISI 1045

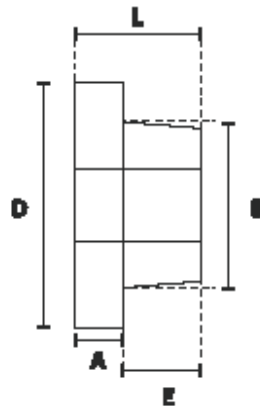
ANEXO B.
BUJES QD



BUJES QD

INTERMEC suministra las poleas y piñones para montaje directo con hueco a la medida, cuñero o chavetero. Sin embargo, INTERMEC recomienda ampliamente que las poleas y piñones sean montados con sistema de fijación QD que permite montar y desmontar las poleas con facilidad sin necesidad de golpearlas. Adicionalmente los bujes QD no se aflojan evitando las vibraciones y el desgaste de los ejes.

DIMENSIONES DE LOS BUJES QD



| Ref. Bujes | Hueco máximo permitido con suero estándar | | A (mm) | B (mm) | D (mm) | E (mm) | L (mm) | Tornillos requeridos | |
|------------|---|---------|--------|--------|--------|--------|--------|----------------------|--------------|
| | (mm) | (inch) | | | | | | cantidad | tamaño |
| JA | 25.4 | 1 | 8.8 | 24.8 | 23.0 | 17.8 | 27.0 | 2 | No.10x1 |
| SH | 24.8 | 1-1/8 | 11.1 | 27.8 | 26.0 | 22.0 | 28.0 | 2 | 1/4x1-1/8 |
| SDS | 42.0 | 1-11/16 | 12.7 | 35.8 | 31.0 | 22.0 | 34.0 | 2 | 1/4x1-1/8 |
| SDI | 42.0 | 1-11/16 | 12.7 | 35.8 | 31.0 | 22.0 | 42.0 | 2 | 1/4x1-1/8 |
| SK | 24.0 | 2-1/8 | 14.3 | 71.4 | 65.4 | 24.0 | 42.2 | 3 | 5/16x2 |
| SF | 27.1 | 2-1/4 | 14.3 | 76.3 | 117.5 | 25.1 | 52.4 | 3 | 3/8x2 |
| E | 76.0 | 2-7/8 | 18.0 | 87.4 | 122.4 | 27.0 | 52.7 | 2 | 1/2x2-1/4 |
| F | 24.1 | 2-5/16 | 20.8 | 112.7 | 102.0 | 71.4 | 22.1 | 2 | 2-1/8x2-1/8 |
| J | 22.8 | 2-3/4 | 22.4 | 122.0 | 124.1 | 22.0 | 114.0 | 3 | 5/8x4-1/2 |
| M | 120.6 | 4-5/4 | 21.7 | 122.1 | 222.0 | 122.7 | 171.4 | 4 | 20x2-20 |
| N | 127.0 | 3 | 22.1 | 177.8 | 224.0 | 122.8 | 222.4 | 4 | 20x2-12 |
| P | 122.8 | 2-12/16 | 24.4 | 222.8 | 222.4 | 122.7 | 222.1 | 4 | 1x2-12 |
| W | 120.6 | 7-1/2 | 22.8 | 222.1 | 321.0 | 222.1 | 222.0 | 4 | 1-1/2x11-1/2 |

EJES Y CUÑEROS PARA BUJES GD

| BUJES GD | | |
|-----------------|---|--|
| Bujo | Eje (pulg) | Cuñero |
| JA | 3/8 a 1 1-1/16 a 1-3/16 1-1/4 | estándar 1/4 x 1/16 sin cuñero* |
| SH | 1/2 a 1-3/8 1-7/16 a 1-5/8 1-11/16 | estándar 3/8 x 1/16 sin cuñero* |
| SDS | 1/2 a 1-11/16 1-3/4 1-13/16 1-7/8 a 1-15/16 2 | estándar 3/8 x 1/8 1/2 x 1/8 1/2 x 1/16 sin cuñero* |
| SD | 1/2 A 1-11/16 1-3/4 1-13/16 1-7/8 a 1-15/16 2 | estándar 3/8 x 1/8 1/2 x 1/8 1/2 x 1/16 sin cuñero* |
| SK | 1/2 a 2-1/8 2-3/16 a 1-1/4 2-5/16 a 2-1/2 2-9/16 a 2-5/8 | estándar 1/2 x 1/8 5/8 x 1/16 sin cuñero* |
| SF | 1/2 a 2-1/4 2-5/16 a 2-1/2 2-9/16 a 2-3/4 2-13/16 a 2-7/8 2-15/16 | estándar 5/8 x 3/16 5/8 x 1/16 3/4 x 1/16 3/4 x 1/32 |
| E | 7/8 a 2-7/8 2-15/16 a 3-1/4 3-5/16 a 3-1/2 | estándar 3/4 x 1/8 7/8 x 1/16 |
| F | 1 a 3-5/16 3-3/8 a 3-3/4 3-13/16 a 3-15/16 | estándar 7/8 x 3/16 1 x 1/8 |
| J | 1-1/4 a 3-3/4 3-13/16 a 4-1/2 | estándar 1 x 1/8 |
| M | 2 a 4-3/4 4-13/16 a 5-1/2 | estándar 1-1/4 x 1/4 |
| N | 2-7/8 a 5 5-1/16 a 5-1/2 5-9/16 a 6 | estándar 1-1/4 x 1/4 1-1/2 x 1/4 |
| P | 2-15/16 a 5-15/16 6 a 6-1/2 6-9/16 a 7 | estándar 1-1/2 x 1/4 1-3/4 x 1/8 |
| W | 4 a 7-1/2 7-9/16 a 8-1/2 | estándar 2 x 1/4 |

* No recomendado. En lo posible utilice siempre cuñero

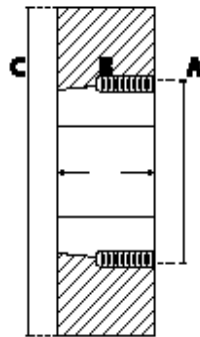
ANEXO C.
BUJES TAPER



BUJES TAPER

INTERMEC también instala en sus poleas y piñones los Bujes Taper que son otro sistema de fijación comúnmente empleado. [En razón a que los Bujes Taper ocasionalmente se aflojan o se rompen, INTERMEC recomienda emplear los Bujes GD que son más seguros y robustos]

Dimensiones principales de los Bujes Taper



| Ref. Bujes | Hueso referido permitido con número estándar | | A (mm) | B (mm) | C (mm) | Tornillos requeridos | |
|------------|--|--------|--------|--------|--------|----------------------|-------------|
| | (mm) | (pulg) | | | | cantidad | tamaño |
| 1006 | 22.2 | 7/8 | 35.2 | 22.2 | 46.2 | 2 | 1/4 x 1/2 |
| 1108 | 25.4 | 1 | 38.4 | 25.4 | 51.4 | 2 | 1/4 x 1/2 |
| 1210 | 31.7 | 1 1/4 | 47.8 | 31.7 | 76.2 | 4 | 5/16 x 3/4 |
| 1215 | 31.7 | 1 1/4 | 47.8 | 31.7 | 66.7 | 4 | 3/8 x 3/4 |
| 1310 | 34.8 | 1 3/8 | 50.8 | 34.8 | 76.2 | 2 | 3/8 x 3/4 |
| 1315 | 38.1 | 1 1/2 | 53.8 | 38.1 | 66.8 | 4 | 3/8 x 3/4 |
| 1415 | 38.1 | 1 1/2 | 53.8 | 38.1 | 76.2 | 4 | 3/8 x 3/4 |
| 2012 | 47.8 | 1 7/8 | 63.8 | 47.8 | 66.4 | 2 | 7/16 x 7/8 |
| 2217 | 57.1 | 2 1/4 | 66.7 | 44.4 | 111.1 | 4 | 1/2 x 1 |
| 2220 | 57.1 | 2 1/4 | 66.7 | 50.8 | 107.3 | 4 | 1/2 x 1 |
| 3020 | 63.5 | 2 5/8 | 107.3 | 63.5 | 146.3 | 4 | 5/8 x 1 1/4 |
| 3030 | 63.5 | 2 5/8 | 107.3 | 76.2 | 125.3 | 4 | 5/8 x 1 1/4 |
| 3235 | 63.5 | 2 5/8 | 127.0 | 63.5 | 161.3 | 3 | 1/2 x 1 1/2 |
| 4040 | 82.1 | 3 1/8 | 146.0 | 101.3 | 188.3 | 3 | 5/8 x 1 1/2 |
| 4045 | 107.3 | 4 1/4 | 161.3 | 114.3 | 230.2 | 3 | 3/4 x 2 |
| 5050 | 114.3 | 4 1/2 | 177.8 | 177.8 | 241.3 | 5 | 7/8 x 2 1/4 |

C*: Diámetro mínimo de manzana requerido para instalar el Bujes.

EJES Y CUÑEROS PARA BUJES TAPER

| BUJES TAPER | | |
|--------------------|--|----------------------------------|
| Bujo | Eje (pulg) | Cuñero |
| 1008 | 1/2 a 7/8 15/16 a 1 | estándar 1/4 x 1/16 |
| 1108 | 1/2 a 1 1-1/16 a 1-1/8 | estándar 1/4 x 1/16 |
| 1210 | 1/2 a 1-1/4 | estándar |
| 1215 | 1/2 a 1-1/4 | estándar |
| 1310 | 1/2 a 1-3/8 | estándar |
| 1610 | 1/2 a 1-1/2 1-9/16 a 1-5/8 | estándar 3/8 x 2/8 |
| 1615 | 1/2 a 1-1/2 1-9/16 a 1-5/8 | estándar 3/8 x 2/8 |
| 2012 | 1/2 a 1-7/8 1-15/16 a 2 | estándar 1/2 x 3/16 |
| 2517 | 1/2 a 2-1/4 2-5/16 a 2-1/2 | estándar 5/8 x 3/16 |
| 2525 | 3/4 a 2-1/4 2-5/16 a 2-1/2 | estándar 5/8 x 3/16 |
| 3020 | 15/16 a 2-3/4 2-3/16 a 3 | estándar 3/4 x 1/4 |
| 3030 | 15/16 a 2-3/4 2-3/16 a 3 | estándar 3/4 x 1/4 |
| 3535 | 1-3/16 a 3-1/4 3-5/16 a 3-1/2 | estándar 7/8 x 1/4 |
| 4040 | 1-7/16 a 3-5/8 3-11/16 a 3-3/4 3-13/16 a 4 | estándar 7/8 x 1/4 1 x 1/4 |
| 4545 | 1-15/16 a 4-1/4 4-5/16 a 4-1/2 | estándar 1 x 1/4 |
| 5050 | 2-15/16 a 4-1/2 4-9/16 a 5 | estándar 1-1/4 x 7/16 |

ANEXO D. RODAMIENTO UC204

SCHAEFFLER

Rodamiento insertable UC204 (Serie UC)

anillo exterior esférico, fijación mediante tornillos prisioneros, obturación RSR en ambos lados

Esta hoja de datos sólo es una vista general de medidas y capacidades de carga del producto seleccionado. Tenga en cuenta, sin falta, todas las indicaciones de estas páginas. Para muchos productos encontrará más información bajo el apartado "Descripción" del menú. Además puede solicitar amplio material de información a través de la Solicitud de catálogos (https://www.schaeffler.de/content.schaeffler.de/en/news_media/index.jsp) o por teléfono +49 91 32 82 - 28 97.

| | | |
|-----|----------|------|
| d | 20 mm | |
| DSP | 47 mm | |
| B | 31 mm | |
| A | 5 mm | |
| C | 17 mm | |
| C2 | 16,8 mm | |
| Ca | 4,2 mm | |
| d1 | 27,56 mm | |
| S | 12,7 mm | |
| W | 3 mm | |
| m | 0,15 kg | Peso |

22.09.2019 19:02

1

SCHAEFFLER

| | | |
|----------|---------|-------------------------------------|
| C_r | 13600 N | Capacidad de carga dinámica, radial |
| C_{0r} | 6600 N | Capacidad de carga estática, radial |
| C_{ur} | 345 N | Carga límite de fatiga, radial |
| f_0 | 13,1 | Factor de cálculo |

