

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

GRUPO DE SISTEMAS ELECTRÓNICOS DE POTENCIA



PROYECTO FIN DE CARRERA

Ingeniería Técnica Industrial: Especialidad Electrónica Industrial

**Diseño e implementación del sistema mecánico,
propulsión eléctrica y electrónica de control de un
longboard eléctrico**

Junio de 2015

AUTOR: José Miguel Ollero Yanguas

TUTOR: Andrés Barrado Bautista





Título: Diseño e implementación del sistema mecánico, propulsión eléctrica y electrónica de control de un longboard eléctrico.

Autor: José Miguel Ollero Yanguas

Director: Andrés Barrado Bautista

EL TRIBUNAL

Presidente: _____

Vocal: _____

Secretario: _____

Realizado el acto de defensa y lectura del Proyecto Fin de Carrera el día __ de _____ de 20__ en Leganés, en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid, acuerda otorgarle la CALIFICACIÓN de

VOCAL

SECRETARIO

PRESIDENTE





Le dedico este proyecto a mi familia, gracias a la cual he podido alcanzar y cumplir mi objetivo de terminar mis estudios de Ingeniería técnica.

Especial mención para Carmen Raga y Andrés Ballesta, antiguos compañeros que me han animado, ayudado y empujado para poder acabar la ingeniería.

También a mi tutor, Andrés Barrado, por darme la oportunidad de hacer el proyecto bajo su tutela.

Gracias.





ÍNDICE

ÍNDICE.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIX
Capítulo 1. Introducción y objetivos.	21
1.1 Introducción, movilidad urbana.....	21
1.2 Objetivos del proyecto.....	22
Capítulo 2. Estado de la técnica.....	23
2.1 Clasificación de los longboards comerciales.....	23
2.1.1 Clasificación en función del número de ruedas motrices.	23
2.1.1.1 Tracción a una sola rueda.....	24
2.1.1.2. Tracción a dos ruedas.....	25
2.1.1.3. Tracción a las 4 ruedas.....	26
2.1.2. Clasificados en función del tipo de mando de control.	27
2.1.2.1. Mando manual por cable.....	27
2.1.2.2. Mando manual inalámbrico.....	29
2.1.2.3. Mando por sensor de pisada.....	30
2.1.3 Clasificados en función del tipo de transmisión mecánica.....	31
2.1.3.1 Acople directo entre motor y rueda.	32
2.1.3.2. Mediante el uso de correas dentadas y poleas metálicas.....	33
2.1.3.3. Uso de cadena metálica y piñón-corona.....	34
2.2 Motores Eléctricos – Motores DC <i>Brushless</i> (<i>sin escobillas</i>).	35
2.2.1 Comparación con motores de combustión interna.....	35
2.2.2 Motores DC <i>Brushless</i> (<i>sin escobillas</i>).....	36
2.2.2.1 Topología de un motor DC <i>Brushless</i> (<i>sin escobillas</i>).....	39
2.2.2.2 Principio de funcionamiento.....	40
2.2.2.3 Características par/velocidad.....	41
2.3. <i>Driver</i> de potencia.	42
2.3.1 Topología del inversor.....	42
2.3.2 Inversor trifásico.....	43
2.3.3 Tecnología PWM.....	46
2.4 Batería.....	47



2.4.1 Batería de litio (Li-ion).....	47
2.4.1.1 Propiedades de las baterías de litio.....	47
2.4.1.2 Inconvenientes de las baterías de Li-ion.....	48
2.4.1.3 Cuidados de la batería	49
2.4.1.4 Ventajas de las baterías de Li-ion.....	49
Capítulo 3. Especificaciones del sistema.....	51
3.1 Especificaciones generales y prestaciones.	51
3.2 Especificaciones de la parte mecánica.....	52
3.3 Especificaciones de la parte eléctrica y electrónica de potencia.	52
3.4 Especificaciones de la parte de electrónica de control.	52
3.5 Especificaciones del interface humano.....	52
Capítulo 4. Descripción del sistema.	53
4.1 Descripción de la parte mecánica	53
4.1.1 Soporte para el motor.	54
4.1.2 Preparación de las ruedas motrices.....	62
4.1.3 Transmisión mecánica.	64
4.1.3.1 Embrague.....	70
4.2 Electrónica de potencia.....	72
4.2.1 Diagrama de bloques del sistema.	73
4.2.2 Motor DC <i>Brushless</i> (<i>sin escobillas</i>).....	73
4.2.3 <i>Driver</i> de potencia del motor.....	76
4.2.4 Batería.....	80
4.3 Electrónica de control.	84
4.3.1 Arduino.....	84
• 4.3.2 Diagrama de interconexión entre bloques.	89
4.3.3 Esquema eléctrico del bloque de electrónica de control.	92
4.3.4 Lógica de control, diagrama de flujo.....	94
4.3.5 Controles, interface humano.....	96
Capítulo 5. Resultados experimentales.....	107
5.1 Señales del sistema	107
5.2 Consumo medio, autonomía teórica.	112
5.3 Autonomía real obtenida.	114



5.4 Sensaciones al conducirlo.....	118
Capitulo 6. Conclusiones y trabajos futuros.....	119
6.1 Conclusiones.....	119
6.2 Mejoras sobre la base existente.	121
6.3 Trabajos futuros.....	122
Capitulo 7. Presupuesto.	125
7.1 Presupuesto base mecánica.....	125
7.2 Presupuesto de la electrónica de potencia.	126
7.3 Presupuesto de la electrónica de control.....	126
7.4 Presupuesto de la ingeniería.	127
7. 5 Presupuesto total del proyecto longboard eléctrico.....	127
Capitulo 8. Anexos.....	129
8.1 Anexo 1: Diagrama de bloques del sistema.....	129
8.2 Anexo 2: Diagrama de interconexión entre bloques.	130
8.3 Anexo 3: Esquema eléctrico del bloque electrónica de control.....	131
8.4 Anexo 4: Arduino UNO.	133
8.5 Anexo 5: Diagrama de flujo del programa de Arduino 1, receptora RF.	135
8.6 Anexo 6: Diagrama de flujo de la placa principal Arduino 2.....	136
8.7 Anexo 7: Código de programa Arduino 1, receptora.	137
8.8 Anexo 8: Código de programa Arduino 2, principal.....	140
8.9 Anexo 9: Código de programa lector de código RF.....	145
8.10 Anexo 10: Pruebas dinámicas.....	146
8.11 Anexo 11: Despiece y cotas.....	152
8.12 Anexo 12: Manual de montaje del longboard eléctrico.....	170
8.12.1 Eje Trasero.....	170
8.12.2 Electrónica de potencia.....	178
8.12.3 Electrónica de control.....	180
8.13 Anexo 13: Especificaciones técnicas WEDA poleas	182
8.14 Anexo 14: Especificaciones técnicas WEDA correas	190
8.15 Anexo 15: Ficha técnica.	192
8.16 Anexo 16: Características técnicas motor.	193
8.17 Anexo 17: Características técnicas ESC.....	194
8.18 Anexo 18: Características técnicas batería	195



Capítulo 9. Bibliografía y referencias 197



ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 2.1 Detalle de longboard eléctrico con tracción a una rueda.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 2.2 Detalle de longboard con tracción a dos ruedas</i>	<i>25</i>
<i>Figura 2.3 Detalle de longboard con tracción a las cuatro ruedas.....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 2.4 Detalle de longboard con mando por cable.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 2.5 Detalle de longboard con mando inalámbrico</i>	<i>29</i>
<i>Figura 2.6 Detalle de longboard con mando por sensor de pisada</i>	<i>30</i>
<i>Figura 2.7 Detalle de longboard con tracción directa entre motor y rueda</i>	<i>32</i>
<i>Figura 2.8 Detalle de longboard con tracción por correa y poleas</i>	<i>33</i>
<i>Figura 2.9 Detalle de longboard con tracción por cadena y piñón-corona</i>	<i>34</i>
<i>Figura 2.10 Topología de un motor DC Brushless (sin escobillas).....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 2.11 Ejemplo genérico de la relación par motor / velocidad.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 2.12 Topología de un inversor de tres ramas.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 2.13 Puente con tres ramas, puente completo.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 2.14 Secuencia de las señales de excitación a 180°.....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 2.15 Secuencia de las señales de excitación a 120°.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 4.1 Longboard Hawaii Bamboo Oxelo, medidas principales</i>	<i>53</i>
<i>Figura 4.2 Vista superior Longboard Hawaii Bamboo Oxelo.....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 4.3 Vista inferior Longboard Hawaii Bamboo Oxelo.....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 4.4 Detalle de inclinación horizontal de tabla de longboard genérico....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 4.5 Detalle distancia libre entre motor-suelo y entre motor-tabla</i>	<i>56</i>
<i>Figura 4.6 Taladros en eje trasero donde se fijara el soporte del motor</i>	<i>56</i>
<i>Figura 4.7 Primer replanteo del soporte del motor en el eje trasero.....</i>	<i>57</i>



<i>Figura 4.8 Detalle del motor dentro de la estructura de protección del mismo.</i>	<i>57</i>
<i>Figura 4.9 Detalle de las dos poleas de tracción del motor.....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 4.10 Accesorio para poder instalar doble polea en el motor</i>	<i>58</i>
<i>Figura 4.11 Detalle del rodamiento en carcasa metálica protectora.....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 4.12 Detalle de los cuatro espárragos para fijación de motor a carcasa</i>	<i>60</i>
<i>Figura 4.13 Sistema de perno con tensores y fijación con contratuerca</i>	<i>60</i>
<i>Figura 4.14 Ejemplo de tensado de correas.....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 4.15 Tornillo de regulación de altura del motor.....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 4.16 Regulación altura motor eléctrico.....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 4.17 Acople de las poleas conducidas en las ruedas traseras.....</i>	<i>63</i>
<i>Figura 4.18 Mecanizado de eje y poleas para acople de rodamiento</i>	<i>63</i>
<i>Figura 4.19 Acotado de poleas serie "T", fabricante WEDA transmisiones.....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 4.20 Cotas necesarias para cálculo de longitud de la correa.....</i>	<i>68</i>
<i>Figura 4.21 Situación de poleas conductoras en motor eléctrico.</i>	<i>70</i>
<i>Figura 4.22 Detalle de embrague de fricción.....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 4.23 Diagrama de bloques del sistema.</i>	<i>73</i>
<i>Figura 4.24 Motor Turnigy Aerodrive SK3 - 6374-168kv Brushless (sin escobillas)</i>	<i>74</i>
<i>Figura 4.25 Diagrama de bloques de un ESC.....</i>	<i>77</i>
<i>Figura 4.26 Limites de la señal PWM de entrada a ESC.</i>	<i>78</i>
<i>Figura 4.27 ESC Hobby King 80A ESC 4A SBEC.....</i>	<i>79</i>
<i>Figura 4.28 Batería "Turnigy nano-tech 8000mAh 6S 25~50C Lipo Pack".....</i>	<i>81</i>
<i>Figura 4.29 Características batería seleccionada</i>	<i>82</i>
<i>Figura 4.30 Batería "Turnigy nano-tech 8000mAh 6S 25~50C Lipo Pack".....</i>	<i>82</i>
<i>Figura 4.31 Tensión de celda genérica vs capacidad de carga.....</i>	<i>83</i>



<i>Figura 4.32 Placa Arduino UNO.....</i>	<i>85</i>
<i>Figura 4.33 Esquema eléctrico del Longboard.....</i>	<i>92</i>
<i>Figura 4.34 Diagrama de flujo de placa Arduino principal.....</i>	<i>94</i>
<i>Figura 4.35 Diagrama de flujo de placa Arduino receptora RF</i>	<i>95</i>
<i>Figura 4.36 Control por pulsadores situados en la superficie de la tabla</i>	<i>96</i>
<i>Figura 4.37 Mando Radio Frecuencia utilizado</i>	<i>97</i>
<i>Figura 4.38 Puerto serie donde se visualizan los códigos del mando RF</i>	<i>99</i>
<i>Figura 4.39 Detalle de tareas de cada botón del mando RF.....</i>	<i>100</i>
<i>Figura 4.40 Potenciómetros ajuste prestaciones dinámicas.....</i>	<i>101</i>
<i>Figura 4.41 Limites ajuste pendiente de rampa de aceleración.</i>	<i>103</i>
<i>Figura 4.42 Limites ajuste pendiente de rampa de deceleración.</i>	<i>104</i>
<i>Figura 4.43 Control de velocidad, detalle rampa.....</i>	<i>105</i>
<i>Figura 5.1 PWM estado reposo. $T = 20\text{ms}$. $F = 50\text{Hz}$, $T_{\text{On}} = 1\text{ms}$, $T_{\text{OFF}}=19\text{ms}$</i>	<i>108</i>
<i>Figura 5.2 PWM estado reposo, detalle ciclo positivo. $T = 20\text{ms}$, $T_{\text{ON}} = 1\text{ms}$. $T_{\text{OFF}} = 19\text{ms}$, $F = 1/T = 50\text{Hz}$</i>	<i>108</i>
<i>Figura 5.3 Forma de onda alimentación motor, velocidad mínima. $V_{\text{pp}} = 48\text{v}$. $F=50,5\text{ Hz}$, $T = 19,8\text{ ms}$.....</i>	<i>109</i>
<i>Figura 5.4 Señal PWM Velocidad máxima. $T= 20\text{ ms}$. $T_{\text{ON}} = 1,81\text{ ms}$, $T_{\text{OFF}}=$ $18,19\text{ ms}$, $F = 50\text{ Hz}$.....</i>	<i>110</i>
<i>Figura 5.5 Forma de onda alimentación motor, velocidad máxima. $V_{\text{pp}} = 48\text{v}$. $T=2,38\text{ms}$. $F = 420\text{Hz}$.....</i>	<i>110</i>
<i>Figura 5.6 PWM de salida del ESC hacia el motor, detalle de frecuencia portadora. $T=125\text{ }\mu\text{s}$. $F = 8\text{ kHz}$.....</i>	<i>111</i>
<i>Figura 5.7 Representación de autonomía Vs Velocidad.</i>	<i>113</i>
<i>Figura 5.8 Plano del circuito de prueba de autonomía (Madrid Río).....</i>	<i>115</i>



<i>Figura 5.9 Foto del circuito de prueba de autonomía (Madrid Río)</i>	115
<i>Figura 5.10 APP utilizada para la obtención de los datos de prestaciones en circuito abierto</i>	116
<i>Figura 5.11 Comparación de la autonomía teórica con la obtenida en las pruebas en campo abierto</i>	117
<i>Figura 8.1 Diagrama de bloques del sistema</i>	129
<i>Figura 8.2 Diagrama de bloques del sistema. Interconexión entre la electrónica de control y el resto de bloques del sistema</i>	130
<i>Figura 8.3 Esquema eléctrico del bloque electrónica de control</i>	131
<i>Figura 8.4 Detalle de pines placa Arduino UNO</i>	133
<i>Figura 8.5 Diagrama de flujo del programa de la placa Arduino 1, receptora RF.</i>	135
<i>Figura 8.6 Diagrama de flujo de la placa principal Arduino 2.</i>	136
<i>Figura 8.7 Primeras pruebas dinámicas del longboard eléctrico.</i>	146
<i>Figura 8.8 Primeras pruebas de mayor distancia con el longboard eléctrico.</i>	147
<i>Figura 8.9 Plano recorrido prueba dinámica de autonomía</i>	148
<i>Figura 8.10 Foto aérea del recorrido prueba dinámica de autonomía</i>	148
<i>Figura 8.11 Resultados resumen de la prueba de autonomía</i>	149
<i>Figura 8.12 Velocidad durante la prueba</i>	150
<i>Figura 8.13 resultados de la segunda prueba de autonomía mostrados por el programa Sports tracker</i>	151
<i>Figura 8.14 Polea conducida de rueda trasera</i>	154
<i>Figura 8.15 rueda trasera del longboard</i>	154
<i>Figura 8.16 tornillos de sujeción de poleas conducidas</i>	155
<i>Figura 8.17 Rodamiento de polea conducida</i>	155



<i>Figura 8.18 Eje trasero modificado.....</i>	<i>156</i>
<i>Figura 8.19 tuerca de fijación de la rueda al eje.....</i>	<i>156</i>
<i>Figura 8.20 Tornillos fijación soporte del motor al eje trasero.</i>	<i>156</i>
<i>Figura 8.21 Motor eléctrico Turnigy Aerodrive SK3 - 6374-168kv Brushless (sin escobillas)</i>	<i>157</i>
<i>Figura 8.22 carcasa cilíndrica para el anclaje y protección del motor.</i>	<i>157</i>
<i>Figura 8.23 Anclaje original del motor.....</i>	<i>158</i>
<i>Figura 8.24 tornillos de sujeción del anclaje original del motor al estator.....</i>	<i>158</i>
<i>Figura 8.25 rodamiento auxiliar del motor.....</i>	<i>159</i>
<i>Figura 8.26 Casquillo reductor del diámetro interior del rodamiento auxiliar del motor.....</i>	<i>159</i>
<i>Figura 8.27 Eje auxiliar del motor.....</i>	<i>159</i>
<i>Figura 8.28 Tornillos de sujeción del eje auxiliar del motor.....</i>	<i>160</i>
<i>Figura 8.29 Arandela separadora de la polea conductora.....</i>	<i>160</i>
<i>Figura 8.30 polea conductora.....</i>	<i>161</i>
<i>Figura 8.31 Grupilla de fijación de la polea al eje auxiliar</i>	<i>161</i>
<i>Figura 8.32 Prolongación del eje principal del motor.....</i>	<i>162</i>
<i>Figura 8.33 embrague de fricción.....</i>	<i>162</i>
<i>Figura 8.34 tornillos tensores de las correas.....</i>	<i>162</i>
<i>Figura 8.35 Tormillos de sujeción del soporte motor al eje</i>	<i>163</i>
<i>Figura 8.36 Correas de transmisión</i>	<i>163</i>
<i>Figura 8.37 soporte del motor.</i>	<i>163</i>
<i>Figura 8.38 Piezas originales de fijación del eje del longboard.....</i>	<i>164</i>
<i>Figura 8.39 Bridas de sujeción de la batería.</i>	<i>164</i>
<i>Figura 8.40 Caja eléctrica, vista inferior.</i>	<i>165</i>
<i>Figura 8.41 caja eléctrica, vista lateral izquierda.....</i>	<i>165</i>



<i>Figura 8.42 caja eléctrica, vista lateral derecha.</i>	<i>166</i>
<i>Figura 8.43 caja eléctrica, vista frontal.</i>	<i>166</i>
<i>Figura 8.44 caja eléctrica, componentes interiores.</i>	<i>167</i>
<i>Figura 8.45 ESC Hobby King, modelo 80A ESC 4A SBEC.....</i>	<i>168</i>
<i>Figura 8.46 Mando RF de control.....</i>	<i>169</i>
<i>Figura 8.47 vista general del longboard.</i>	<i>170</i>
<i>Figura 8.48 Eje trasero.....</i>	<i>170</i>
<i>Figura 8.49 Secuencia de montaje de las poleas conducidas en las ruedas traseras.</i>	<i>171</i>
<i>Figura 8.50 montaje de rodamiento auxiliar en poleas conducidas.....</i>	<i>171</i>
<i>Figura 8.51 montaje de ruedas traseras en eje trasero.....</i>	<i>172</i>
<i>Figura 8.52 fijación de ruedas traseras al eje trasero.....</i>	<i>172</i>
<i>Figura 8.53 secuencia de montaje del anclaje original en el cuerpo del motor,</i>	<i>172</i>
<i>Figura 8.54 Montaje del motor eléctrico en la carcasa cilíndrica de protección</i>	<i>173</i>
<i>Figura 8.55 secuencia de montaje del eje auxiliar del motor.....</i>	<i>173</i>
<i>Figura 8.56 fijación del motor eléctrico en carcasa protectora.</i>	<i>174</i>
<i>Figura 8.57 Secuencia de montaje de la polea conductora en motor eléctrico</i>	<i>174</i>
<i>Figura 8.58 Fijación de polea conductora en el eje auxiliar del motor.....</i>	<i>175</i>
<i>Figura 8.59 montaje de la prolongación del eje principal del motor.....</i>	<i>175</i>
<i>Figura 8.60 montaje de polea conductora y embrague de fricción.....</i>	<i>175</i>
<i>Figura 8.61 montaje del soporte del motor en el eje trasero.</i>	<i>176</i>
<i>Figura 8.62 regulación de altura libre del motor.....</i>	<i>176</i>
<i>Figura 8.63 tensado de las correas.....</i>	<i>177</i>



<i>Figura 8.64 montaje del eje trasero completo sobre fijación original del mismo.</i>	177
<i>Figura 8.65 montaje y anclaje de la batería.....</i>	178
<i>Figura 8.66 Fijación del ESC a la caja eléctrica.</i>	179
<i>Figura 8.67 Situación de pulsadores de acelerador y freno en la tabla.....</i>	180
<i>Figura 8.68 Caja eléctrica.</i>	180
<i>Figura 8.69 componentes que contiene la caja eléctrica.....</i>	181
<i>Figura 8.70 motor Turnigy Aerodrive SK3 - 6374-168kv Brushless (sin escobillas)</i>	193
<i>Figura 8.71 ESC Hobby King 80A ESC 4A SBEC.....</i>	194
<i>Figura 8.72 Características de la batería dadas por el fabricante.</i>	195





ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 2. 1 Diferencias entre motores Brushless (sin escobillas) y motores Brushed.....</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 2. 2 Diferencias entre motores Brushless (sin escobillas) y motores AC inducción.....</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 4.1 Tabla selección poleas serie “T” de WEDA transmisiones.....</i>	<i>68</i>
<i>Tabla 4.2 Tabla de selección de correas familia “Bando” WEDA Transmisiones</i>	<i>69</i>
<i>Tabla 4.3 Características motor Turnigy, Aerodrive SK3 - 6374-168kv.....</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 4.4 Características motor Turnigy, Aerodrive SK3 - 6374-168kv.....</i>	<i>76</i>
<i>Tabla 4.5 Características Hobby King 80A ESC 4A SBEC</i>	<i>79</i>
<i>Tabla 4.6 Códigos emitidos por mando RF y su función. El botón 3 OFF está continuamente activado mediante una conexión interna.....</i>	<i>100</i>
<i>Tabla 5.1 Obtención datos reales consumo Vs Velocidad</i>	<i>112</i>
<i>Tabla 7.1 Presupuesto de la base mecánica.....</i>	<i>125</i>
<i>Tabla 7.2 Presupuesto de la electrónica de potencia.....</i>	<i>126</i>
<i>Tabla 7.3 Presupuesto de la electrónica de control.....</i>	<i>126</i>
<i>Tabla 7.4 Presupuesto de la ingeniería.....</i>	<i>127</i>
<i>Tabla 7.5 Presupuesto total del proyecto longboard eléctrico.....</i>	<i>127</i>
<i>Tabla 8.1 Datos del motor dados por el fabricante.....</i>	<i>193</i>
<i>Tabla 8.2 Características del ESC Hobby King 80A ESC 4A SBEC</i>	<i>194</i>





Capítulo 1. Introducción y objetivos.

1.1 Introducción, movilidad urbana.

La mayoría de nosotros usamos a diario medios de transporte en nuestro día a día, nos movemos en coche, moto, autobús, metro, tren... etc. En los grandes desplazamientos suelen ser los medios más rápidos y eficaces, pero cuando vamos llegando a nuestro punto de destino en las grandes ciudades, es cuando encontramos los mayores problemas de movilidad, es decir, el andar largas distancias desde la parada del transporte público hasta nuestro destino, el problema de aparcar el coche, el coste del mismo, etc...

Si analizamos la evolución del mercado de los vehículos para uso urbano, vemos una clara tendencia hacia vehículos eléctricos de tamaño cada vez más reducido. Normalmente hacia vehículos tipo coche eléctrico de tamaño pequeño, de una o dos plazas, con autonomía suficiente para el recorrido diario de casa al trabajo. Con estos vehículos, seguimos teniendo el problema del aparcamiento, y sobre todo el que necesitamos una estación de carga para el mismo, por lo que queda limitado a los usuarios que tengan garaje propio con toma eléctrica, limitando el uso popular del mismo.



Concepto de “micro-movilidad” urbana.

El concepto de micro movilidad urbana, trata del uso de vehículos de tamaño reducido, capaces de cubrir distancias urbanas suficientes para el día a día, pero que a su vez, que dichos vehículos sean totalmente “transportables” por el conductor del mismo, es decir, que nos puedan acompañar en todo momento, ya sea en casa o en el trabajo. Esto implica que el tamaño y peso del vehículo debe ser el menor posible para que el vehículo sea transportable.

Imaginemos que podemos llevar dicho vehículo en el tren o en el maletero de nuestro coche con nosotros, sin ocupar apenas espacio extra al nuestro propio, y al salir del mismo podemos usarlo para desplazarnos rápidamente y sin esfuerzo hasta nuestro destino, una vez allí lo tomamos de nuevo y lo llevamos con nosotros al lugar donde vayamos a estar.

1.2 Objetivos del proyecto

El objetivo de este proyecto es la construcción de un vehículo tipo longboard que este dentro de los catalogados anteriormente en el concepto de “micro-movilidad” urbana.

El proyecto consiste en, basándonos en las especificaciones que posteriormente se definirán en el capítulo 3, diseñar y construir todo lo necesario para transformar un longboard Standard en uno motorizado eléctricamente.

Además de cumplir todas esas especificaciones de diseño, el longboard deberá ser una base sólida para que futuros estudiantes de fin de carrera puedan retomar dicha base y así poder seguir desarrollándola en los campos que la universidad considere interesantes.



Capítulo 2. Estado de la técnica.

Actualmente en el mercado se comercializan gran variedad de longboards eléctricos, desde los más sencillos a los más complejos y sofisticados.

2.1 Clasificación de los longboards comerciales.

Para tener una visión lo más global posible del mercado, se van a clasificar los longboards eléctricos comerciales en función de diferentes parámetros característicos de los mismos.

2.1.1 Clasificación en función del número de ruedas motrices.

Los longboard motorizados eléctricamente pueden tener una, dos o incluso las 4 ruedas motrices. Se describen a continuación las características de cada una de estas opciones.

2.1.1.1 Tracción a una sola rueda

Son los más sencillos populares y económicos, llevan un solo motor que hace girar una de las ruedas traseras. Se puede apreciar en la *Figura 2.1*

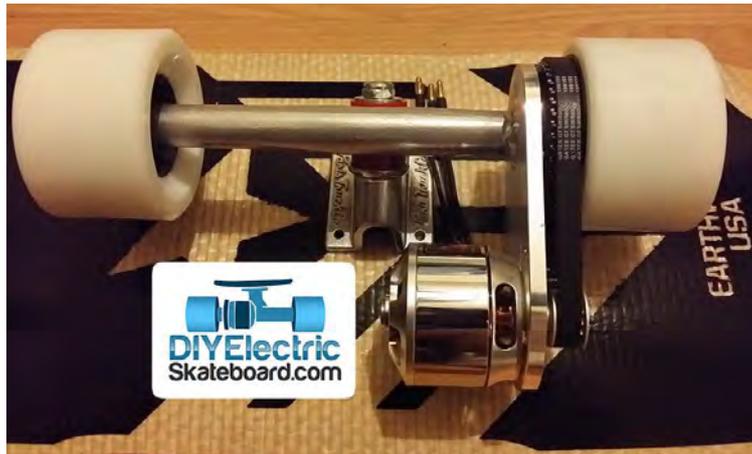


Figura 2.1 Detalle de longboard eléctrico con tracción a una rueda

Las mayores ventajas de este sistema son:

- Sencillez de control: Al llevar un solo motor, la electrónica de control del longboard solo se encarga de la gestión de un solo elemento, por lo que resulta un sistema sencillo.
- Economía: Un solo motor implica un solo *Driver* de potencia y un sistema de control más simple y por ello barato.

La mayor desventaja de este sistema de tracción es la cierta tendencia a girarse hacia el lado contrario al que está instalado el motor al traccionar, y hacia el lado donde esté el motor al frenar, por lo que hay que compensar esta tendencia a girarse en la conducción del mismo.

2.1.1.2. Tracción a dos ruedas

Los longboard eléctricos comerciales con tracción a dos ruedas tienen dos motores independientes, cada uno da tracción a una de las ruedas traseras del mismo.

En la *Figura 2.2* se puede ver una ilustración de un longboard con tracción a las dos ruedas traseras.



Figura 2.2 Detalle de longboard con tracción a dos ruedas

Ventajas del sistema de tracción a dos ruedas:

- Mayor potencia, al disponer de dos motores se tiene la posibilidad de incrementar la potencia del longboard por encima del sistema que tiene un solo motor.
- Mayor equilibrio dinámico al traccionar y frenar, ya que no tiene tendencia a girarse al acelerar y frenar porque acelera o desacelera por igual en ambas ruedas.

Desventajas de la tracción a dos ruedas:

- Mas caros, al tener dos motores y dos controladores de potencia y una electrónica de control mas compleja.
- Mayor peso del conjunto. El motor es uno de los elementos que mas pesan del longboard eléctrico, al llevar dos motores

incrementa sensiblemente el peso del mismo. En este tipo de vehículos “portátiles” la ligereza es una característica muy importante.

2.1.1.3. Tracción a las 4 ruedas

Las cuatro ruedas del longboard son ruedas motrices. Son longboards que disponen de cuatro motores eléctricos, uno para accionar cada una de las cuatro ruedas del mismo. Por lo general ese tipo de longboards están diseñados para uso fuera de pista, es decir, fuera de superficies asfaltadas, por lo que otra de sus características, como se puede ver en la *Figura 2.3* es que usan ruedas grandes especialmente diseñadas para este tipo de terreno.



Figura 2.3 Detalle de longboard con tracción a las cuatro ruedas

Ventajas de los longboards con tracción a las 4 ruedas:

- Mayor potencia de todos, al tener 4 motores las posibilidades de incrementar la potencia disponible es la mayor de todas.
- Posibilidad de uso fuera de pista, al llevar tracción a todas las ruedas y normalmente montar ruedas altas permite utilizar el longboard por todo tipo de terrenos.



Desventajas:

- Son los más caros, al emplear 4 motores se necesita también 4 controladores y una electrónica de control más compleja y por lo tanto más cara.
- La autonomía es la mas corta para una misma batería, por el exceso de potencia que necesita para hacer traccionar las 4 ruedas. Cabe destacar que el coeficiente de rozamiento de las ruedas que montan este tipo de longboards es más alto que los que montan ruedas diseñadas para asfalto, por lo que el consumo eléctrico es mayor.
- Son los más pesados, al usar 4 motores el peso del conjunto se eleva considerablemente, lo que penaliza su portabilidad.

2.1.2. Clasificados en función del tipo de mando de control.

Para controlar el longboard, se necesita de un mando o *interface* humano. Este tipo de mando puede ser de diferentes formatos, los cuales se definen a continuación.

2.1.2.1. Mando manual por cable

Como se puede apreciar en la *Figura 2.4* un cable eléctrico une la placa electrónica de control del longboard con un mando que físicamente se maneja con una de las manos.



Figura 2.4 Detalle de longboard con mando por cable

Las ventajas de este sistema son:

- Sencillez de diseño y construcción, al llevar la señal de control mediante un hilo conductor, la transmisión de datos y señales es la mas sencilla de diseñar.
- Economía de implementación, el elemento de control es muy simple y por ello económico, normalmente una resistencia variable.
- Independencia de baterías adicionales para el mando al alimentarse de la batería principal del sistema.
- Robustez ante interferencias electromagnéticas, cada vez son más frecuentes los inhibidores de frecuencias que emiten barridos que paralizarían un sistema controlado inalámbricamente.

Los inconvenientes principales de este sistema son:

- Al llevar físicamente un cable eléctrico entre el mando y el longboard, existe la posibilidad de tropiezos y enganches del cable con las piernas, por lo que limita el movimiento del conductor.
- Sensación de tecnología anticuada, los controles por cable son los primeros “controles remotos” inventados, ya obsoletos en la mayoría de las aplicaciones, siendo sustituidos por controles inalámbricos.

- Otra desventaja es no tener las dos manos libres, ya que obliga a usar al menos, una de ellas para la sujeción y manejo del mando, limitando la posibilidad de transportar algún otro tipo de objeto o carga en las manos.

2.1.2.2. Mando manual inalámbrico

La conexión entre el mando que maneja el conductor y la electrónica de control se realiza de forma inalámbrica, por radiofrecuencia. Ver *Figura 2.5*



Figura 2.5 Detalle de longboard con mando inalámbrico

Las ventajas que ofrece este sistema son:

- Mayor libertad de movimientos, al no haber cable físicamente entre mando y longboard permite al conductor moverse con mayor libertad al conducirlo.
- Tecnología mas avanzada moderna y acorde con los tiempos actuales, lo que le da un aspecto mucho más atractivo y apetecible.

Desventajas de este sistema:

- Dependencia de una segunda batería para el mando remoto, por lo que hay que encargarse de cargar o cambiar la batería del mando cuando esta se descargue por el uso, pudiendo quedar inutilizado el vehiculo si el mando dejara de funcionar por este motivo.

- Posibilidad de pérdida de control del longboard por la presencia de inhibidores de frecuencia, cada vez mas frecuentes en nuestras ciudades, lo que de nuevo dejaría inutilizado el longboard, no pudiendo ser usado hasta estar fuera de la zona de influencia de dicho inhibidor de frecuencia.
- Otra desventaja del mando manual inalámbrico es el no tener las dos manos libres, ya que obliga a usar una de ellas para la sujeción y manejo del mando a distancia, limitando las posibilidades de transporte de objetos.

2.1.2.3. Mando por sensor de pisada

Este sistema se basa en la instalación en la parte superior de la tabla de dos sensores de pisada, accionados con uno o los dos pies que permiten acelerar y frenar el longboard usando el peso de nuestro cuerpo.

Al manejar este tipo de vehículos, la tendencia natural al querer acelerar es cargar mas peso sobre el pie delantero, y cuando se quiere desacelerar instintivamente cargar mas peso sobre el pie trasero, en la

Figura 2.6 se puede apreciar la colocación en la tabla de dichos sensores.



Figura 2.6 Detalle de longboard con mando por sensor de pisada



Las ventajas de este sistema de manejo del longboard son:

- Manejo muy intuitivo del longboard, ya que al acelerar inconscientemente se carga mas peso en la parte delantera, donde esta el sensor de aceleración y al frenar se carga mas peso en la parte trasera, donde esta el sensor de deceleración.
- Tecnología innovadora, muy poco usada a día de hoy, sorprende positivamente a los que lo prueban.
- Al no haber mando inalámbrico, no se corre el riesgo de que quede inutilizado el vehiculo por la falta de batería del control remoto.
- Libertad total de movimientos de las manos, lo que permite un mejor equilibrio en la conducción. También posibilita poder transportar cosas más fácilmente al poder usar las dos manos.
- Al no haber comunicación inalámbrica entre mando y vehiculo, es totalmente inmune a las interferencias electromagnéticas e inhibidores de frecuencia, funcionando perfectamente en lugares donde haya estos dispositivos instalados.

Las principales desventajas de este sistema de control son:

- Periodo de aprendizaje ligeramente superior al mando manual e inalámbrico, al usar los pies como acelerador y freno.
- Control menos fino y preciso que el que usa el mando manual, lo que exige que la electrónica de control sea la que deba corregir y suavizar las reacciones del longboard para que la conducción sea suave y agradable.

2.1.3 Clasificados en función del tipo de transmisión mecánica.

Entre el motor y la o las ruedas motrices existe una transmisión mecánica que es la encargada de que la potencia generada en el motor llegue

a la o las ruedas motrices. También la transmisión se encarga de establecer la relación de transmisión, gracias a la cual se consiguen las prestaciones de velocidad y aceleración deseadas.

2.1.3.1 Acople directo entre motor y rueda.

Es la forma más sencilla y rudimentaria de transmisión. Como se puede ver en la *Figura 2.7* el propio motor arrastra la rueda motriz al estar en contacto directo con ella. Este tipo de transmisión es usada en los “kits” sencillos de transformación de longboards Standard en eléctricos



Figura 2.7 Detalle de longboard con tracción directa entre motor y rueda

<http://www.europaimportacion.es/blog/wp-content/uploads/2014/04/Kickr-Electric-Longboard-Kit.jpg>

Las principales ventajas de este sistema son su sencillez, economía y facilidad de montaje. Por el contrario, las desventajas principales de este sistema son:

- No permite cálculo del desarrollo de transmisión, al ser directa entre el motor y la rueda.
- Exposición del motor a golpes. Por el lugar donde se instala el mismo, queda muy expuesto a posibles golpes en el uso del longboard, pudiendo dañarlo.
- El aspecto general del vehículo es muy rudimentario, poco tecnológico.
- Mayor desgaste de la rueda tractora por rozamiento directo con el motor.

2.1.3.2. Mediante el uso de correas dentadas y poleas metálicas

Es el método más popular y extendido de todos. La tecnología de las correas de caucho ha evolucionado mucho en los últimos años, por lo que se puede acceder a una gran variedad de correas que con unos tamaños muy reducidos con capaces de transmitir grandes potencias. En la *Figura 2.8* se aprecia en detalle este sistema de transmisión.



Figura 2.8 Detalle de longboard con tracción por correa y poleas

Las ventajas de este sistema de transmisión son:

- Uso muy silencioso, el contacto de la correa de caucho con la polea metálica apenas emite sonido alguno, por lo que es ideal para este tipo de vehículos que de por sí ya son silenciosos.
- Es un sistema ligero, lo que beneficia mucho su utilización en este tipo de vehículos transportables.
- Permite elegir el desarrollo de transmisión deseado mediante la selección de diferentes poleas, lo cual da mucha libertad de diseño.
- No necesita mantenimiento ni engrase alguno.

Las mayores desventajas de este tipo de transmisión son:

- La vida útil de la correa es limitada, aunque cada vez la investigación en materiales de la misma las hacen más duraderas.

- Fragilidad de la correa ante golpe o corte con objeto cortante, al chocar por accidente durante su uso.

2.1.3.3. Uso de cadena metálica y piñón-corona

La transmisión mecánica entre motor y rueda la realiza una cadena metálica junto con un conjunto de piñón y corona metálicos.



Figura 2.9 Detalle de longboard con tracción por cadena y piñón-corona

Ventajas del sistema de transmisión por cadena metálica y piñón-corona:

- La mayor de las ventajas de usar este sistema de transmisión es la gran durabilidad y fiabilidad de este probado sistema.
- También permite la elección del desarrollo de transmisión deseado mediante la selección del número de dientes del piñón y corona.
- Debido a la gran resistencia del material metálico, el ancho del conjunto de la transmisión resulta muy estrecho incluso para transmitir elevadas potencias.

Las principales desventajas de este tipo de transmisión son:

- Peso más elevado al ser todos los componentes metálicos (hierro o acero).



- Necesidad de mantenimiento (engrase) y tensado periódico de la cadena.

2.2 Motores Eléctricos – Motores DC *Brushless* (sin escobillas).

Los motores eléctricos son máquinas eléctricas rotatorias que transforman la energía eléctrica en energía mecánica. Debido a sus múltiples ventajas, entre las que cabe citar su economía, limpieza, comodidad y seguridad de funcionamiento, el motor eléctrico ha reemplazado en gran parte a otros tipos de motores o fuentes de tracción, tanto en la industria como en el transporte, las minas, el comercio, o el hogar, [1].

Los motores eléctricos satisfacen una amplia gama de necesidades de servicio, desde arrancar, acelerar, mover, o frenar, hasta sostener y detener una carga. Los motores eléctricos se fabrican en función de la potencia que se necesita suministrar y que varían desde una pequeña fracción de caballo hasta varios miles, y con una amplia variedad de velocidades, que pueden ser fijas, ajustables o variables.

2.2.1 Comparación con motores de combustión interna

Un motor eléctrico contiene un número mucho menor de piezas mecánicas que un motor de combustión interna o uno de una máquina de vapor, por lo que es menos propenso a los fallos. Los motores eléctricos son los más dinámicos en cuanto a variación de potencia y pueden pasar instantáneamente desde la posición de reposo a la de máxima potencia de funcionamiento, además de que su tamaño es más reducido.

Como los motores eléctricos usan energía eléctrica, se pueden considerar actuadores limpios, que apenas contaminan, si se compara con



motores térmicos de combustión u otros actuadores como los neumáticos o los hidráulicos.

El inconveniente de este tipo de motores, para el uso en vehículos, es el almacenamiento de la energía que los impulsa, es decir, las baterías, que son los únicos sistemas de almacenamiento de electricidad de gran capacidad. Dichas baterías ocupan mucho espacio y además, cuando se gastan, necesitan varias horas para recargarse antes de poder funcionar otra vez, mientras que en el caso de un motor de combustión interna basta sólo con llenar el depósito de combustible.

Por lo tanto, el uso de los motores eléctricos se ha generalizado a todos los campos de la actividad humana.

Existen motores eléctricos de muy variadas dimensiones, desde los pequeños motores empleados en los instrumentos de precisión, hasta potentes sistemas que generan miles de caballos de fuerza, como los de las grandes locomotoras eléctricas.

2.2.2 Motores DC *Brushless* (sin escobillas)

Los motores de corriente continua sin escobillas (BLDC) o motores *Brushless* (sin escobillas) son uno de los tipos de motores que más popularidad han ganado en los últimos años. Actualmente, los motores BLDC se emplean en sectores industriales tales como: automóvil, aeroespacial, consumo, médico, equipos de automatización e instrumentación.

Los motores BLDC tienen la característica de que no emplean escobillas en la conmutación para la transferencia de energía; en este caso, la conmutación se realiza electrónicamente. Esta propiedad elimina el gran problema que poseen los motores eléctricos convencionales con escobillas, los cuales producen rozamiento, disminuyen el rendimiento, desprenden calor, son más ruidosos y requieren una sustitución periódica y, por tanto, un mayor mantenimiento, [1].



Los motores BLDC tienen muchas ventajas frente a los motores DC con escobillas y frente a los motores de inducción. Algunas de estas ventajas son:

- Mayor rendimiento (mayor duración de las baterías para la misma potencia).
- Mejor ratio velocidad-par motor y rango de velocidades al no tener limitaciones mecánicas.
- Mayor respuesta dinámica
- Mayor eficiencia y por tanto una mayor vida útil.
- Menor ruido.
- Mejor disipación de calor.

Además, la relación par motor-tamaño es mucho mayor, lo que implica que se puedan emplear en aplicaciones donde se trabaje con un espacio reducido.

Por otra parte, los motores BLDC tienen dos desventajas, que son las siguientes:

- Tienen un mayor coste.
- Requieren un control bastante más complejo.

En las *Tabla 2. 1* y *Tabla 2. 2* se puede observar y comparar con mayor facilidad, las ventajas e inconvenientes que tienen los motores *Brushless (sin escobillas)* (*sin escobillas*) respecto a los motores con escobillas (*Brushed*) y motores de inducción.



Diseño y construcción de un longboard eléctrico.

Características	motor DC <i>brushless</i>	motor DC <i>brushed</i>
Conmutación	Conmutación electrónica basada en sensores de posición de efecto <i>Hall</i>	Conmutación por escobillas
Mantenimiento	mínimo	periódico
Curva velocidad/par	Plana. Operación a todas las velocidades con la carga definida	Media. A altas velocidades la fricción de las escobillas se incrementa, reduciendo el par
Eficiencia	Alta. Sin caída de tensión por las escobillas	Moderada
Potencia de salida/tamaño	Alta. Menor tamaño debido a mejores características térmicas porque los bobinados están en el estator, que al estar en la carcasa tiene una mejor disipación de calor	Baja. El calor producido en la armadura es disipado en el interior aumentando la temperatura y limitado las características
Inercia del motor	Baja. Debido a los imanes permanentes en el rotor	Alta. Limita las características dinámicas
Rango de velocidades	Alto. Sin limitaciones mecánicas impuestas por escobillas/conmutador	Bajo. El límite lo imponen principalmente las escobillas
Ruido eléctrico generado	Bajo	Arcos en las escobillas
Costes de construcción	Alto. Debido a los imanes permanentes	Bajo.
Control	Complejo y caro	Simple y barato
Requisitos de control	Un controlador es requerido siempre para mantener el motor funcionando. El mismo puede usarse para variar la velocidad	No se requiere control si no se requiere una variación de velocidad

Tabla 2. 1 Diferencias entre motores Brushless (sin escobillas) y motores Brushed

Características	motor DC <i>brushless</i>	motor AC inducción
Curva velocidad/par	Plana. Operación a todas las velocidades con la carga definida	No lineal. Par motor bajo a velocidades bajas
Potencia de salida/tamaño	Alta. Con los imanes permanentes en el rotor, se puede minimizar el tamaño manteniendo la misma potencia de salida	Moderada. Al tener bobinados tanto en el rotor como en el estator, la relación potencia de salida/tamaño es menor que en el motor BLDC
Inercia del motor	Baja. Buenas características dinámicas	Alta. Malas características dinámicas
Corriente de arranque	No requiere de un circuito de arranque especial	Normalmente utiliza un motor de arranque estrella-triángulo.
Requerimientos de control	Un controlador es requerido siempre para mantener el motor funcionando.	Sólo es necesario si se desea variar velocidad.
Desfase	No se experimenta entre el estator y el rotor	El rotor funciona a una frecuencia inferior a la del estator por frecuencia de deslizamiento y por tanto se incrementa el desfase con la carga en el motor.

Tabla 2. 2 Diferencias entre motores Brushless (sin escobillas) y motores AC inducción

2.2.2.1 Topología de un motor DC *Brushless* (sin escobillas)

Los motores BLDC son un tipo de motor síncrono. Esto significa que el campo magnético generado por el estator y el campo magnético generado por el rotor giran a la misma frecuencia. Los motores BLDC no experimentan el desfase que se ve normalmente en los motores de inducción. Los motores BLDC se dividen en motores de una sola fase, motores de dos fases y motores de tres fases. Los motores de tres fases son los más populares y utilizados.

El estator de un motor BLDC consiste en un conjunto de láminas de acero apiladas con bobinados colocados en las ranuras de forma axial a lo largo de la periferia interna como se muestra en la Figura 2.10 Tradicionalmente, el estator se asemeja a un motor de inducción, sin embargo, las bobinas se distribuyen de una manera diferente. La mayoría de los motores BLDC tienen tres fases en el estator conectado en estrella. Cada una de estas fases está construida por numerosas espiras interconectadas. Una o más bobinas colocadas en las ranuras se interconectan para formar una fase. Cada una de estas bobinas se distribuye en la periferia del estator para formar un número par de polos.

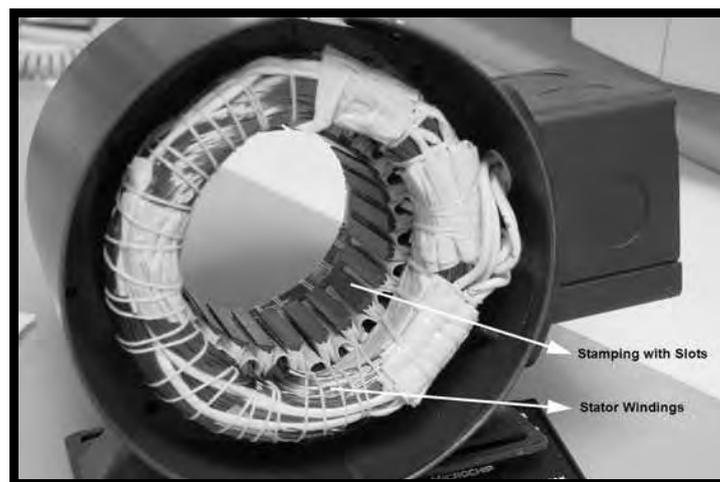


Figura 2.10 Topología de un motor DC *Brushless* (sin escobillas)



El rotor es de imán permanente y puede variar desde dos hasta ocho pares de polos alternativos de Norte (N) y Sur (S). En función de la densidad de campo magnético requerido en el rotor, se escoge el material magnético adecuado para hacer el rotor. Los imanes de ferrita se utilizan tradicionalmente para hacer imanes permanentes.

A medida que avanza la tecnología, surgen imanes de aleaciones de tierras raras, ganando popularidad. Los imanes de ferrita son los menos costosos pero tienen la desventaja de tener una densidad de flujo baja para un volumen determinado. Por el contrario, los materiales de aleación de alta densidad magnética por volumen permiten comprimir y reducir el tamaño del rotor para el mismo par. Además los imanes aleados mejoran la relación tamaño/peso, proporcionando un par motor mayor que para el mismo tamaño de un motor que usa imanes de ferrita. Algunos materiales empleados que se caracterizan por tener un campo magnético permanente son: el Neodimio (Nd), el samario cobalto (Sm-Co) y la aleación de neodimio, ferrita y boro (Nd-Fe-B). Estos son algunos ejemplos de imanes de aleación de tierras, [1].

2.2.2.2 Principio de funcionamiento

A cada secuencia de conmutación le corresponde un estado de activación de las bobinas, de tal forma que uno de los devanados tiene una tensión de alimentación positiva (corriente entra en el devanado), un segundo devanado tiene una tensión de alimentación negativo (las salidas de corriente de la bobina) y el tercero se encuentra en estado no activado.

El par motor se produce debido a la interacción entre el campo magnético generado por las bobinas del estator y los imanes permanentes. Idealmente, el par máximo se produce cuando estos dos campos se encuentran a 90° uno del otro y decae a cero cuando ambos campos magnéticos se mueven juntos. A fin de mantener el motor en marcha, el campo magnético producido por las bobinas debe cambiar de posición (debe cambiar



la activación y desactivación de las bobinas), de tal forma que según el movimiento del campo magnético del rotor, se actualice el campo magnético del estator. Lo que define la secuencia de la activación de los bobinados, la cual se conoce como "Seis pasos de conmutación"

Teniendo en cuenta esto, se necesitan seis pasos para completar un ciclo eléctrico. Sincronizadamente, con cada 60 grados eléctricos, el cambio de fase actual debe ser actualizado. Sin embargo, un ciclo eléctrico no tiene porque corresponder a una revolución mecánica completa del rotor. El número de ciclos eléctricos que se repite para completar una rotación mecánica está determinado por los pares de polos del rotor. Para cada par de polos del rotor, un ciclo eléctrico se ha completado. Por lo tanto, el número de ciclos eléctricos entre rotaciones mecánicas es igual a los pares de polos del rotor.

Un motor DC *Brushless* (*sin escobillas*) necesita de una etapa de potencia para suministrar tensión y corriente a las bobinas del motor. Para ellos al motor BLDC se le conecta un inversor trifásico, el cual consiste entre 3 ramas inversores, con dos interruptores de potencia por cada rama. Cada uno de estos interruptores se activa en función de una señal PWM y que es distinta para cada uno. Esto inversores se explican con más detenimiento en el siguiente capítulo, [1].

2.2.2.3 Características par/velocidad

La figura 2.12 muestra un ejemplo de las características de par / velocidad. Hay dos parámetros de par que se utiliza para definir un motor BLDC: el par máximo o de pico (TP –Peak Torque) y el par nominal (TR - Rated Torque). Durante las operaciones continuas, el motor es cargado con el par nominal y dicho par se mantiene constante para un rango de velocidad hasta la velocidad nominal. El motor puede funcionar a la velocidad máxima, que puede ser hasta el 150% de la velocidad nominal, pero el par comienza a caer. En las aplicaciones en las que aparecen arranques y paradas frecuentes y cambios frecuentes de rotación con carga en el motor, la demanda crece por encima del

par nominal. Esto ocurre durante un breve período tiempo, especialmente cuando el motor arranca desde parado y durante una aceleración, el par adicional es necesario para poder superar la inercia de la carga y el propio rotor. El motor puede entregar un par mayor hasta un valor máximo, siempre y cuando se siga la curva de par/velocidad (*Figura 2.11*) [1]

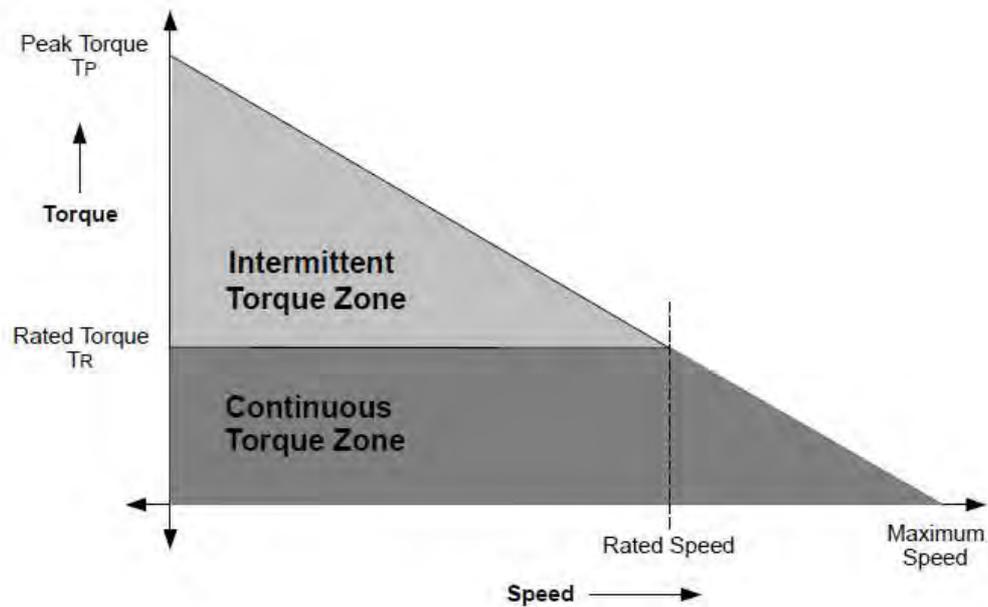


Figura 2.11 Ejemplo genérico de la relación par motor / velocidad.

2.3. Driver de potencia.

2.3.1 Topología del inversor

Los convertidores CC-CA son conocidos como inversores. Ellos pueden tener salida variable en voltaje y frecuencia. Y es típico usar estos inversores con *drivers* de potencia para motores.

La topología del inversor queda definida por el modo de conexión de los dispositivos de conmutación que conforman el puente. Cada rama del puente consta de dos dispositivos de conmutación. Una o dos ramas – puente H - (dos o cuatro dispositivos de conmutación) son empleados para puentes monofásicos y bifásicos. Tres ramas pueden ser conectadas para conformar un convertidor trifásico (seis dispositivos de conmutación) siendo este el de mayor uso, aunque pueden emplearse mayor numero de ramas para aumentar la capacidad de conducción (Figura 2.12), [2].

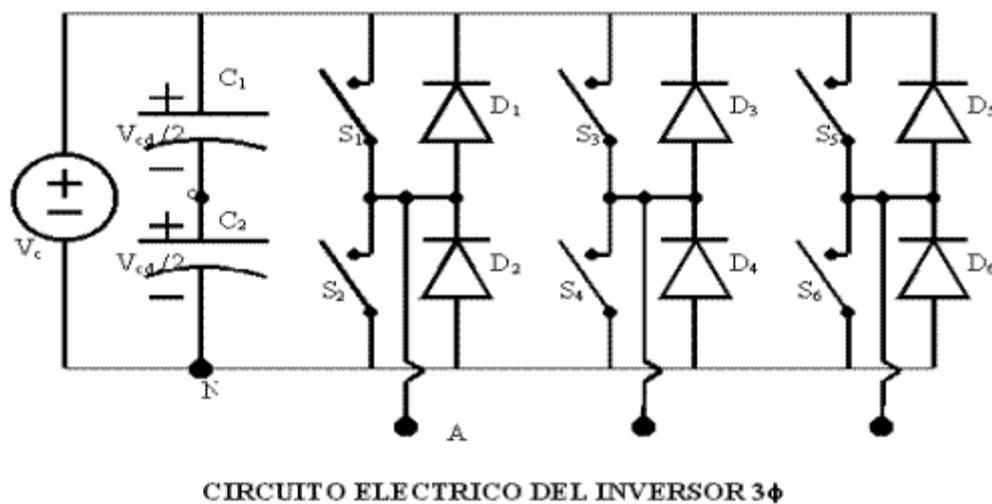


Figura 2.12 Topología de un inversor de tres ramas

2.3.2 Inversor trifásico

El objetivo de un inversor trifásico es generar energía eléctrica de corriente alterna a partir de una fuente de energía de corriente continua, con magnitudes y frecuencias deseadas. Se constituye principalmente por dispositivos electrónicos de potencia, que trabajan como interruptores operando en corte y saturación con una secuencia apropiada para obtener tres tensiones de salida simétricas y balanceadas. El controlador es otro componente fundamental en la constitución del convertidor, es el que genera las señales de encendido y apagado de los dispositivos semiconductores y

garantiza su buen comportamiento. Cualquier tipo de inversor (monofásico ó trifásico) utilizan dispositivos con activación y desactivación controlada (es decir BJT, MOSFET, IGBT, MCT, SIT, GTO) o tiristores de conmutación forzada, según la aplicación.

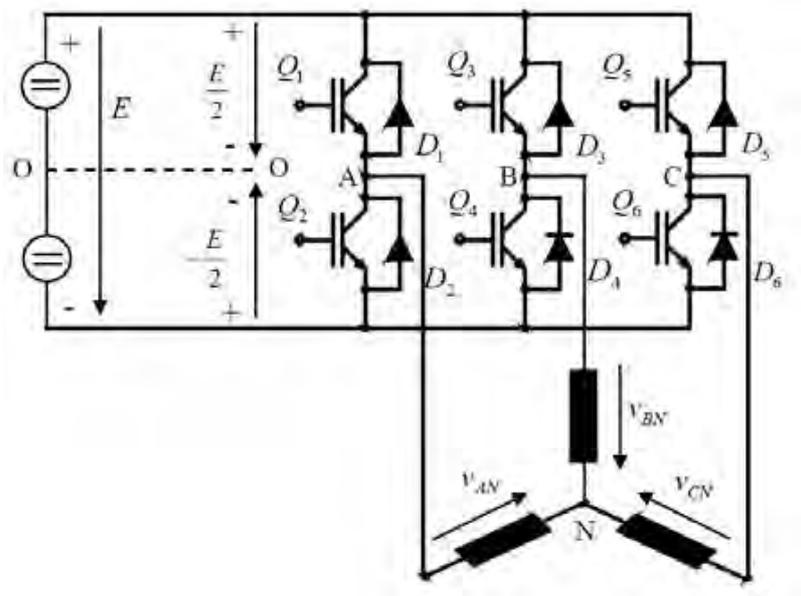


Figura 2.13 *Puente con tres ramas, puente completo*

La Figura 2.13 muestra el caso de un puente con tres ramas, o inversor trifásico en puente completo, el cual se compone de seis dispositivos de conmutación (6 transistores IGBTs) designados Q1 a Q6 y seis diodos de libre circulación (D1 a D6) dispuesto en antiparalelo o conexión inversa con los interruptores, empleados para conducir la corriente reactiva de retorno a la fuente de tensión E. Estos diodos aseguran por un lado la continuidad de la corriente en la carga inductiva y por otro lado la reversibilidad de la potencia al poder inyectar corriente desde la carga a la batería de continua. Cada brazo del inversor está formado por dos interruptores o dispositivos de conmutación en paralelo con sus diodos de libre circulación, estando la salida a cada fase del motor situada en el punto medio del brazo. Estos inversores se dividen según su forma de operar en:

Conducción a 180°

En este tipo de control cada transistor conducirá durante 180°. Tres transistores se mantienen activos durante cada instante del tiempo. Cuando el transistor Q1 está activado, la fase “a” se conecta con el terminal positivo de la tensión de entrada. Cuando se activa el transistor Q4, la fase “a” se lleva a la terminal negativa de la fuente DC. En cada ciclo existen seis modos de operación, cuya duración es de 60 grados. Los transistores se numeran según su secuencia de excitación por ejemplo (612, 123, 234, 345, 456, 561, 612). Las señales de excitación mostradas en la *Figura 2.14* están desplazadas 60 grados unas de otras, para obtener voltajes trifásicos balanceados

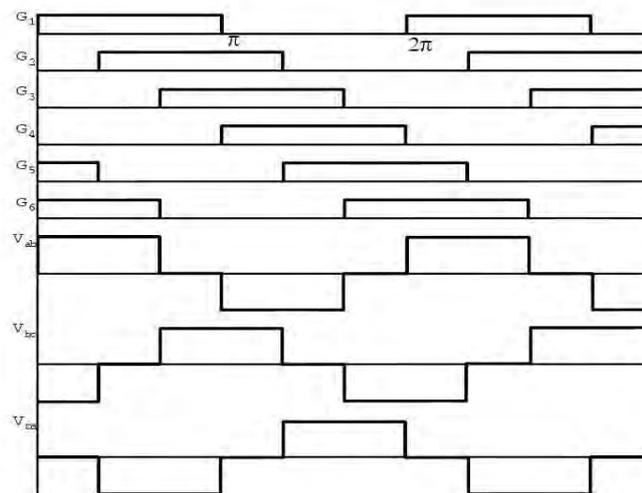


Figura 2.14 Secuencia de las señales de excitación a 180°

Conducción a 120°

En este tipo de control, cada transistor conduce durante 120°. En cualquier instante del tiempo, sólo conducen dos transistores, dándose la posibilidad de que los dos transistores de una misma rama estén abiertos. La secuencia de conducción de los transistores es 61, 12, 23, 34, 45, 56, 61, como se puede ver en la *Figura 2.15*, [3]

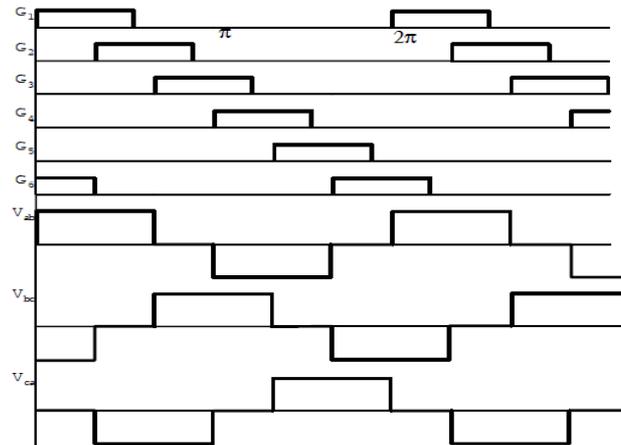


Figura 2.15 Secuencia de las señales de excitación a 120°

2.3.3 Tecnología PWM

Para la aplicación de inversores trifásicos en motores, debe utilizarse la misma señal PWM para controlar sincronizadamente los seis interruptores, esta señal es producida y generada dentro del controlador. Esta señal PWM varía la tensión de salida y la frecuencia de la señal aplicada al motor. La electrónica de control del controlador se encarga de activar los interruptores en la secuencia correcta a partir de la señal PWM patrón. Por tanto se obtiene seis señales distintas que indican qué interruptores deben estar abiertos y cuales cerrados.



2.4 Batería

2.4.1 Batería de litio (Li-ion)

La batería de iones de litio, también denominada batería Li-Ion, es un dispositivo diseñado para almacenamiento de energía eléctrica que emplea como electrolito una sal de litio que procura los iones necesarios para la reacción electroquímica reversible que tiene lugar entre el cátodo y el ánodo [4].

2.4.1.1 Propiedades de las baterías de litio.

Las propiedades de las baterías de Li-ion, como la ligereza de sus componentes, su elevada capacidad energética y resistencia a la descarga, junto con el poco efecto memoria que sufren o su capacidad para funcionar con un elevado número de ciclos de regeneración, han permitido diseñar acumuladores livianos, de pequeño tamaño y variadas formas, con un alto rendimiento, especialmente adaptados a las aplicaciones de la industria electrónica de gran consumo.

Desde la primera comercialización de un acumulador basado en la tecnología Li-ion a principios de los años 1990, su uso se ha popularizado en aparatos como teléfonos móviles, agendas electrónicas, ordenadores portátiles, lectores de música y vehículos eléctricos.

Sin embargo, su rápida degradación y sensibilidad a las elevadas temperaturas, que pueden resultar en su destrucción por inflamación o incluso explosión, requieren, en su configuración como producto de consumo, la inclusión de dispositivos adicionales de seguridad, resultando en un coste superior que ha limitado la extensión de su uso a otras aplicaciones.

A principios del siglo XXI, en el contexto de la creciente carestía de combustibles derivados del petróleo, la industria del automóvil anunció el desarrollo, proliferación y comercialización de vehículos con motores eléctricos basados en la tecnología de las baterías de iones de litio, con los que se pueda



disminuir la dependencia energética de estas fuentes a la vez que se mantiene baja la emisión de gases contaminantes, [4].

2.4.1.2 Inconvenientes de las baterías de Li-ion

A pesar de todas sus ventajas, esta tecnología para el almacenaje de energía tiene varios defectos, como pueden ser:

- Soportan un número limitado de cargas: entre 300 y 1000, menos que una batería de níquel cadmio e igual que las de Ni-MH, por lo que ya empiezan a ser consideradas en la categoría de consumibles.
- Son costosas: su fabricación es más costosa que las de Ni-Cd e igual que las de Ni-MH, si bien el precio en la actualidad baja rápidamente debido a su gran penetración en el mercado, con el consiguiente abaratamiento. Se puede decir que se utilizan en todos los teléfonos móviles y ordenadores portátiles del mundo y en la mayoría de los vehículos eléctricos actuales.
- Pueden sobrecalentarse hasta el punto de explotar: están fabricadas con materiales inflamables que las hace propensas a detonaciones o incendios, por lo que es necesario dotarlas de circuitos electrónicos que controlen en todo momento su temperatura.
- Peor capacidad de trabajo en frío: ofrecen un rendimiento inferior a las baterías de Ni-Cd o Ni-MH a bajas temperaturas, reduciendo su duración hasta en un 25%.
- Voltaje muy variable: debido a que la variación de la tensión de celda es muy grande, se hace imprescindible usar un pequeño convertidor CC/CC en función de la aplicación de la que se trate si se quiere tener una tensión de salida constante.



2.4.1.3 Cuidados de la batería

Estas baterías tienen el menor efecto memoria de todas las demás tecnologías, por ello es necesario que tras un número de ciclos incompletos se realice una calibración completa de la batería, también llamada ecualización, para que el efecto memoria desaparezca. Para alargar su vida útil necesitan ciertos cuidados:

- Evitar que la carga baje más allá de un 15%.
- Es recomendable que permanezcan en un sitio fresco (15°C) y evitar el calor. Son muy sensibles a la temperatura; dejarlas al sol y la humedad disminuye su rendimiento.
- Cuando se vayan a almacenar mucho tiempo, se recomienda dejarlas con carga intermedia (40%). Asimismo, se debe evitar mantenerlas con carga completa durante largos períodos.
- La primera carga no es decisiva en cuanto a su duración ni es preciso hacerla; el funcionamiento de una batería de ion de litio en la primera carga es igual al de las siguientes.
- Es necesario cargarlas con un cargador específico para esta tecnología. Usar un cargador inadecuado dañará la batería y puede hacer que se incendie.

2.4.1.4 Ventajas de las baterías de Li-ion

Esta tecnología se ha situado como la más interesante en su clase para usarlas en vehículos eléctricos, ordenadores portátiles, teléfonos móviles y otros aparatos eléctricos y electrónicos. Las principales ventajas de esta tecnología son:

- Una elevada densidad de energía, por lo que acumulan mucha mayor carga por unidad de peso y volumen.



- Poco peso: a igualdad de carga almacenada, son menos pesadas y ocupan menos volumen que las de tipo Ni-MH y mucho menos que las de Ni-Cd y plomo.
- Gran capacidad de descarga. Algunas baterías de Li-ion, las llamadas "Lipo" Litio-ion Polímero (ion de litio en polímero), que hay en el mercado, se pueden descargar totalmente en menos de dos minutos.
- Poco espesor: se presentan en placas rectangulares, con menos de 5 mm de espesor. Esto las hace especialmente interesantes para integrarlas en dispositivos portátiles que deben tener poco espesor.
- Alto voltaje por célula: cada batería proporciona 3,7 voltios, lo mismo que tres baterías de Ni-MH o Ni-Cd (1,2 V cada una).
- Mínimo efecto memoria.
- Descarga lineal: La variación de la tensión de celda con respecto al estado de carga es prácticamente constante, es decir, la pendiente de la recta dV/dC es lineal (si se representa gráficamente, la tensión en función de la descarga es una línea recta). Eso facilita el conocer con buena precisión el estado de carga de la batería.
- Muy baja tasa de auto-descarga: cuando se guarda una batería, ésta se descarga progresivamente aunque no la usemos. En el caso de Li-ion es de menos un 6% mensual.



Capítulo 3. Especificaciones del sistema

En este capítulo se definen las especificaciones mecánicas, eléctricas, electrónicas y prestaciones que debe cumplir el longboard eléctrico. El diseño y construcción del longboard eléctrico se basa en estas especificaciones.

3.1 Especificaciones generales y prestaciones.

- La base sobre la que se construirá el proyecto debe ser un Longboard Standard de mercado.
- La parte superior del longboard debe permanecer totalmente libre de elementos añadidos al mismo.
- Se desea una velocidad máxima de 25 km/h, velocidad que deberá ser regulable por el usuario.
- El peso máximo que debe poder transportar es de 100kg.
- Autonomía media deberá ser de entre 10 y 15km, para un peso medio de 80Kg, velocidad media de 15km/h y terreno llano.



3.2 Especificaciones de la parte mecánica.

- El longboard debe tener tracción a las dos ruedas traseras. Ambas deben traccionar para así tener un funcionamiento equilibrado en las aceleraciones y deceleraciones del longboard.
- La transmisión deberá ser por correas de caucho y poleas metálicas.

3.3 Especificaciones de la parte eléctrica y electrónica de potencia.

- El motor eléctrico utilizado deberá ser de tipo BLDC (*Brushless (sin escobillas)*) DC, es decir, sin escobillas).
- Se utilizara un solo motor eléctrico para propulsar el longboard.
- Se usaran baterías de Ion-Litio para hacer el vehiculo lo mas ligero posible y facilitar así su transporte.
- Se usara un controlador del motor (ESC) de mercado, acorde al motor seleccionado.

3.4 Especificaciones de la parte de electrónica de control.

- La electrónica de control debe estar basada en Arduino, de sencilla implementación y con posibilidad de crecimiento.

3.5 Especificaciones del interface humano.

- El Longboard deberá poder ser controlado mediante un mando inalámbrico por radiofrecuencia, y a su vez también deberá poder ser seleccionado por sensores de presión en la tabla.

Capítulo 4. Descripción del sistema.

4.1 Descripción de la parte mecánica

En este capítulo se describe la base mecánica sobre la que se construye el resto del proyecto. Se parte de un longboard básico, sin motorizar. El longboard debe verse totalmente limpio de obstáculos en su parte superior, es decir, la tabla no debe tener nada alojado en la parte donde irían los pies del conductor, por lo que el motor, la batería, la electrónica de potencia y la electrónica de control deben ir alojados en la parte inferior del mismo.

Se elige el Longboard Standard modelo - LONGBOARD HAWAII BAMBOO OXELO, adquirido en Decathlon, por su estabilidad y tamaño adecuado para alojar los componentes necesarios para su monitorización. En la Figura 4.1 se muestra el alzado del Longboard, en la Figura 4.2 la vista de planta del mismo y en la Figura 4.3 la parte inferior.

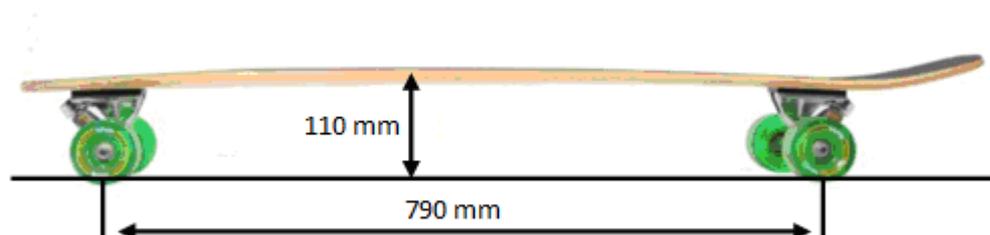


Figura 4.1 Longboard Hawaii Bamboo Oxelo, medidas principales



Figura 4.2 Vista superior Longboard Hawaii Bamboo Oxelo



Figura 4.3 Vista inferior Longboard Hawaii Bamboo Oxelo

4.1.1 Soporte para el motor.

El soporte para la sujeción del motor se ha diseñado para anclarse solidario al eje trasero y en la parte inferior de la tabla.

El motor elegido tiene un diámetro suficientemente pequeño para poder ser alojado sin problemas en el espacio que queda entre la tabla y el suelo, cuya distancia es de 110 mm como se puede apreciar en la Figura 4.1

Para el diseño del anclaje motor, se ha tenido en cuenta que en el longboard, cuando se gira para tomar una curva, la tabla se inclina lateralmente respecto de la horizontal, pero los ejes continúan paralelos al suelo, es decir, la rueda que queda en el interior de la curva queda más cercana a la tabla y la rueda que queda en la parte inferior de la curva quedara más alejada de la misma. En la Figura 4.4 se puede ver como la tabla se acerca al eje al inclinar el Longboard.



Figura 4.4 Detalle de inclinación horizontal de tabla de longboard genérico

Debido a esta inclinación de la tabla respecto a los ejes, no se puede anclar el motor eléctrico a la parte inferior de la misma, que a priori es la solución mas intuitiva, esto obliga a anclar el motor solidariamente al eje trasero, para lo cual se ha diseñado un anclaje especial a medida que sitúa el motor posicionado horizontalmente y paralelo al suelo en todo momento, en una posición de compromiso que permite tener la máxima altura posible al suelo entre la parte inferior del motor, pero sin que choque la parte inferior de la tabla al inclinar. La Figura 4.5 muestra la situación del motor eléctrico en la parte inferior del Longboard.



Figura 4.5 Detalle distancia libre entre motor-suelo y entre motor-tabla

El anclaje se ha diseñado de forma que el motor vaya siempre a la misma distancia del eje, y permitiendo en todo momento el libre movimiento del mismo al inclinar el longboard en las curvas.

Para la sujeción del anclaje del motor al eje trasero, se realizan tres taladros pasantes de 7 mm de diámetro en el eje metálico.



Figura 4.6 Taladros en eje trasero donde se fija el soporte del motor

Para la sujeción del motor, se construye un anclaje rígido con pletina de hierro de 2 mm de grosor, esta pletina va fijada solidaria al eje trasero atornillada al mismo en los tres taladros de 7 mm practicados en el eje, como se puede ver en la Figura 4.6. Dicha pletina es doblada en Angulo de 90°

rodeando el eje trasero por la parte inferior del mismo y elevándose de nuevo hacia la tabla, (ver Figura 4.7) de esta forma se evita que el anclaje choque con el sistema de giro del eje que va solidario a la parte inferior de la misma.



Figura 4.7 Primer replanteo del soporte del motor en el eje trasero.

El motor que impulsa el longboard es de rotor exterior, por lo que es necesario proteger dicho rotor de posibles golpes o roces que lo dañen, y así también evitar posibles accidentes al tocar el motor ya que esa parte está girando al descubierto. Para cumplir estos requisitos, se ha utilizado una carcasa de protección del motor que hará la función de protección y anclaje del mismo al soporte de pletina.

Para su construcción se ha seleccionado un tubo hueco de hierro galvanizado de 3 mm de pared y de diámetro interior 70 mm, se muestra dicho tubo hueco en la *Figura 4.8*



Figura 4.8 Detalle del motor dentro de la estructura de protección del mismo

Una de las especificaciones del proyecto es que tenga tracción a las dos ruedas traseras, por lo que es necesario que haya una polea en ambos extremos del motor para que cada arrastre una de las ruedas traseras, en la Figura 4.9 se observa la colocación de las dos poleas a ambos lados del motor.



Figura 4.9 Detalle de las dos poleas de tracción del motor.

Junto con el motor, se suministra un accesorio con forma de eje para poder ser acoplado directamente al rotor exterior, así de esta forma se tiene posibilidad de instalar una polea en ambas partes del motor (**Figura 4.10**)



Figura 4.10 Accesorio para poder instalar doble polea en el motor

El motor de rotor exterior solo tiene un rodamiento en el eje de giro del rotor respecto del estator, por lo que ha sido necesario la instalación de un

segundo rodamiento para equilibrar el par de torsión que sufrirá el motor al trabajar con dos poleas en lugar de con una sola.

Este segundo rodamiento ira instalado en la carcasa cilíndrica metálica que hace las labores de anclaje, en la Figura 4.11 se observa la colocación del rodamiento.



Figura 4.11 Detalle del rodamiento en carcasa metálica protectora

Al ser el diámetro interior de la carcasa de 70 mm, se selecciona un rodamiento de diámetro exterior de 71 mm, para que encaje perfectamente, a presión, en el cajeado que se ha hecho a medida en el interior de la carcasa mediante torneado mecánico. En la **Figura 4.11** se puede ver que en la parte interior del rodamiento se ha construido, a medida, un casquillo metálico que reduce el diámetro interior del rodamiento al diámetro exterior del accesorio del motor (Figura 4.10), de esta forma se dispone de un segundo punto de apoyo para el eje del motor y así garantizar que el funcionamiento del motor será suave y duradero.

En el lado opuesto de la carcasa de sujeción del motor, se sueldan cuatro espárragos roscados de métrica 6, a la medida del soporte original del motor, para poder fijarlo sobre la carcasa metálica (*Figura 4.12*).



Figura 4.12 Detalle de los cuatro espárragos para fijación de motor a carcasa

Mediante esta sujeción, se tendrá el motor eléctrico dentro de la carcasa, protegido ante golpes que pueda sufrir, y a su vez con dos rodamientos de apoyo en lugar de uno solo.

El conjunto motor / carcasa protectora se fija a la pletina mediante un sistema de perno más dos tensores mecánicos (Figura 4.13).

Gracias a este tipo de anclaje, se puede variar la distancia entre los centros de las poleas de las ruedas y motor para así poder facilitar el montaje de las correas y ajustar la tensión correcta de las mismas.

Con este sistema es posible variar la longitud entre centros de las poleas entre 82 mm y 90 mm



Figura 4.13 Sistema de perno con tensores y fijación con contratuerca

En la Figura 4.13 se puede apreciar el sistema de sujeción al eje junto con el perno y el sistema de tensado mediante tornillo / tuerca y contratuerca. La pletina esta roscada a la medida del tornillo por que hace que el tornillo tense o destense el soporte del motor al girarlo. La tuerca que esta en el exterior de la pletina es la que se encarga de hacer el bloqueo del tornillo al “estrangularla” contra la pletina, una vez que el motor esté con las correas a la tensión y distancia deseadas. En la **Figura 4.14** se muestran los tornillos tensores del sistema de correas.



Figura 4.14 Ejemplo de tensado de correas

Se ha diseñado un sistema para poder regular la altura del anclaje completo del motor, es decir, para poder situar el motor eléctrico a la altura que se necesite con respecto al suelo o a la tabla.



Figura 4.15 Tornillo de regulación de altura del motor

Mediante la regulación del tornillo y tuercas indicados en la Figura 4.15, es posible variar la altura del motor con el suelo, y a su vez la distancia con la tabla. De esta manera, se puede situar el motor en la altura que mejor cumpla el compromiso entre distancia libre al suelo, para evitar que roce en el mismo en las imperfecciones y obstáculos, y a su vez situarlo lo suficientemente lejos de la tabla para que no choque con el mismo al inclinar en las curvas (Figura 4.16)

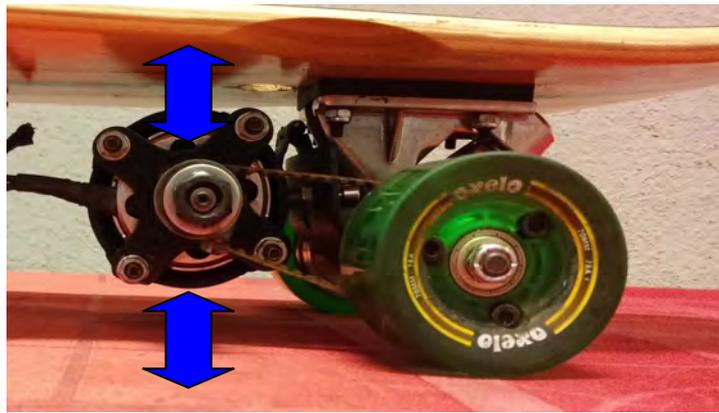


Figura 4.16 Regulación altura motor eléctrico.

4.1.2 Preparación de las ruedas motrices

Para que el longboard pueda moverse por si mismo, se tiene que hacer que las dos ruedas traseras puedan girar arrastradas por la fuerza del motor.

En el motor eléctrico se instala la polea que se le denomina “polea conductora”, ya que es la polea que “conduce” o arrastra a la polea que esta en la rueda trasera “polea conducida” a través de la correa.

Se ha diseñado y construido un sistema de anclaje que une la polea de aluminio conducida con la rueda de goma, para que puedan girar solidariamente y así garantizar el movimiento del longboard eléctrico.

Las ruedas del longboard no están preparadas para alojar elemento alguno de tracción, por que se les han realizado tres taladros de 5 mm, simétricamente situados en un radio de 18 mm, para poder alojar los tres

ornillos que la unirán a la polea de aluminio, a la cual se le han practicado otros tres taladros situados simétricamente en el mismo radio que en la rueda. De esta manera se puede unir la polea con la rueda y garantizar que giran solidarias y centradas (Figura 4.17).



Figura 4.17 Acople de las poleas conducidas en las ruedas traseras

En el interior de la polea se ha realizado un mecanizado para poder alojar un rodamiento extra que soporta la fuerza que ejerce la tensión de la correa al traccionar el motor. Este rodamiento apoya en su parte interior en el eje del longboard que también ha sido mecanizado al diámetro interior de dicho rodamiento.



Figura 4.18 Mecanizado de eje y poleas para acople de rodamiento

En la Figura 4.18 se puede observar el eje mecanizado y la polea conducida con el rodamiento extra ya instalado.



4.1.3 Transmisión mecánica.

Una de las especificaciones de diseño es que la transmisión entre motor y ruedas tiene que ser usando correa de caucho y poleas de aluminio.

Otra de las especificaciones indica que la velocidad máxima del longboard debe ser de 25 km/h.

Con estas dos especificaciones, es posible calcular y seleccionar las poleas correspondientes, es decir, el desarrollo o relación de transmisión, para que se cumpla la especificación de velocidad.

Calculo del desarrollo de la transmisión.

Se parte del requisito de velocidad máxima es de 25 km/h.

Otro dato fijo es el diámetro de las ruedas, que en este caso es de 7 cm.

Se calcula las rpm que deben dar las ruedas para llegar a la velocidad de 25km/h, según la Formula 4.1

$$\text{rpm (rueda)} = \text{Vel (m/min)} / \text{Lc rueda (m)} \quad (4.1)$$

Vel (m/min): Velocidad lineal deseada en metros por minuto.

Lc rueda (m): Longitud de la circunferencia de la rueda en metros.

$$\text{Lc} = \pi * \text{D} \quad (4.2)$$

Resolviendo la ecuación (4.2) se obtiene:

$$\text{D} = \text{diámetro de la rueda} = 0,07 \text{ m}$$

$$\text{Lc rueda (m)} = \pi * 0,07 = 0,22 \text{ m}$$

Resolviendo la ecuación (4.1)



Primero se pasa la velocidad de km/h a km/min

$$\text{Vel (m/min)} = \text{Vel (km/h)} / 60 \quad (4.3)$$

$$\text{Vel (m/min)} = 25 \text{ km/h} / 60 = 416,6 \text{ m/min.}$$

$$\text{rpm (rueda)} = 416,6 \text{ m} / 0,22 \text{ m} = 1.893 \text{ rpm}$$

El motor eléctrico seleccionado tiene una relación (Kv) de 168 Rpm/v, es decir, por cada voltio de tensión aplicado por el controlador que lo gobierna (ESC) el motor girara 168 rpm.

$$\text{rpm (motor)} = \text{Tensión aplicada} * 168 \quad (4.4)$$

La batería a utilizar es de litio de 6 células, lo que da una tensión de 22,2 v, por lo que las rpm máximas del motor para esta alimentación será:

$$\text{Rpm (Max)} = 22,2\text{v} * 168 \text{ rpm} / \text{v} = 3.729 \text{ rpm.}$$

La relación de transmisión entre la polea de la rueda y la polea del motor deberá ser:

$$\text{Relación de transmisión} = \text{rpm (motor)} / \text{rpm (rueda)} \quad (4.5)$$

$$\text{Relación de transmisión (25km/h)} = 3.729 \text{ rpm} / 1.893 \text{ rpm} = \mathbf{1,97}$$

Se elige una relación de transmisión de **2** entre la polea de la rueda y la del motor.

Selección de las correas y poleas.

Una vez diseñado y construido el soporte que ancla el motor, y una vez seleccionadas las poleas que se montan a ambos lados del eje motor y en las ruedas motrices, se seleccionan las poleas y las correas dentadas de caucho.

El fabricante “Weda Transmisiones S.L.” recomienda para esta aplicación el modelo de poleas “serie T” cuyo paso es de 5 mm y con anchura de correa de 10 mm (*Figura 4.19*).

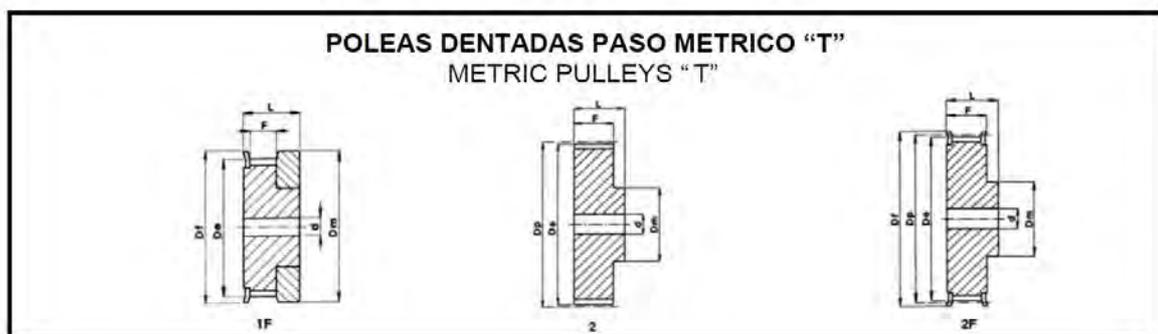


Figura 4.19 Acotado de poleas serie “T”, fabricante WEDA transmisiones

La polea conducida (la que va montada en las ruedas) debe tener un diámetro, siempre menor que el diámetro exterior de la rueda (70 mm), para que en ningún momento pueda rozar con algún elemento del suelo.

Consultando las tablas comerciales de este tipo de poleas para correas dentadas (Tabla 4.1), se elige una polea de diámetro exterior 51 mm (30 dientes).

Por lo que la polea conductora que va montada en el eje del motor deberá tener 2 veces menos dientes (la relación de transmisión calculada).

Numero de dientes polea conductora = $30 \text{ dientes} / 2 = 15 \text{ dientes}$.



Se rehacen los cálculos de velocidad para esta relación de transmisión, la velocidad que alcanzara el longboard será:

Partiendo de estos datos:

rpm. del eje motor = 3.729 rpm.

Relación de transmisión = 2

Las rpm a las que girara la rueda serán:

$$\text{rpm (rueda)} = \text{rpm (motor)} / \text{relación de transmisión} \quad (4.6)$$

$$\text{rpm (rueda)} = 3.729 / 2 = 1.864,5 \text{ rpm}$$

Velocidad para esas rpm, despejando de la ecuación (4.1):

$$\text{Vel (m/min)} = \text{rpm (rueda)} * \text{LC rueda (m)}$$

$$\text{Vel (m/min)} = 1.864,5 * 0,22 = 410,9 \text{ m/min}$$

Se pasa la velocidad a km/h:

$$\text{Vel (km/h)} = \text{Vel (m/min)} * 60 / 1000$$

$$\text{Vel (km/h)} = 410,9 \text{ (m/min)} * 60 / 1000 = \mathbf{24,6 \text{ Km/h}}$$

Utilizando las tablas de selección del fabricante (*Tabla 4.1*):

Para la polea conductora se selecciona el modelo 21 T 5 15 (15 dientes).

Para la polea conducida se selecciona el modelo 21 T 5 30 (30 dientes).

T 5 (PASO 5 mm) PARA CORREAS DE LONGITUD 10 mm

MATERIAL	CODIGO	TIPO	DIENTES	De	Df	Dm	F	L	d	Nº GUIA	Kg.
ALUMINIO UNI 9006 - T6	21 T 5 10	2F	10	15.05	19.5	8	15	21	-	200	0.01
	21 T 5 12	2F	12	18.25	23.0	10	15	21	-	201	0.01
	21 T 5 14	2F	14	21.45	25.0	13	15	21	-	203	0.02
	21 T 5 15	2F	15	23.05	28.0	16	15	21	-	204	0.02
	21 T 5 16	2F	16	24.60	32.0	18	15	21	-	205	0.03
	21 T 5 18	2F	18	27.80	32.0	20	15	21	-	205	0.03
	21 T 5 19	2F	19	29.40	36.0	22	15	21	-	206	0.04
	21 T 5 20	2F	20	31.00	36.0	23	15	21	-	206	0.04
	21 T 5 22	2F	22	34.25	38.0	24	15	21	-	207	0.05
	21 T 5 24	2F	24	37.40	42.0	26	15	21	-	208	0.06
	21 T 5 25	2F	25	38.95	44.0	26	15	21	-	209	0.06
	21 T 5 26	2F	26	40.60	44.0	26	15	21	-	209	0.06
	21 T 5 27	2F	27	42.20	48.0	30	15	21	8	210	0.07
	21 T 5 28	2F	28	43.75	48.0	32	15	21	8	210	0.07
	21 T 5 30	2F	30	46.95	51.0	34	15	21	8	211	0.07

Tabla 4.1 Tabla selección poleas serie "T" de WEDA transmisiones

La longitud de las correas de caucho se calcula en función de la distancia entre ejes de las poleas y el diámetro de las mismas.

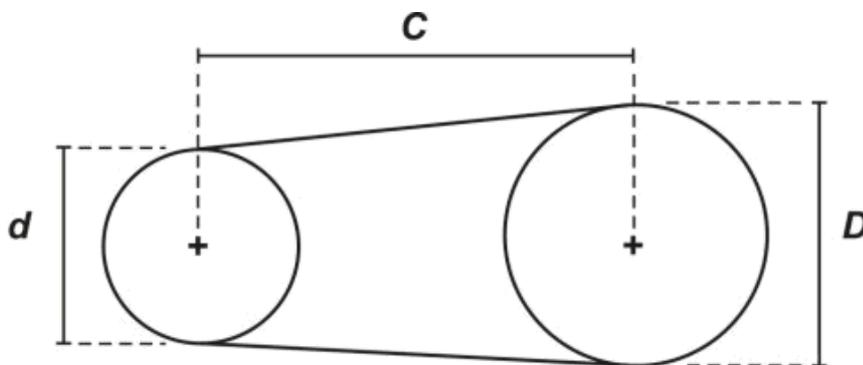


Figura 4.20 Cotas necesarias para cálculo de longitud de la correa

Para calcular la longitud de la correa a utilizar, se utiliza esta formula:

$$L = 1,57(D + d) + 2C + \frac{(D - d)^2}{4C} \quad (4.7)$$



- L = Longitud de la correa
- D = Diámetro exterior polea mayor
- d = Diámetro exterior polea menor
- C = Distancia entre centros de poleas

Se toma como distancia entre ejes de las poleas (C) la distancia mínima que el sistema de tensado del longboard permite, es decir, 82 mm. Los datos de diámetros de las poleas se obtienen de la Figura 4.19 y de la Tabla 4.1

Por lo que los datos a introducir en la fórmula (4.7) son:

- L = Longitud de la correa
- D = Diámetro exterior polea mayor = 46,95 mm
- d = Diámetro exterior polea menor = 23,05 mm
- C = Distancia entre centros de poleas = 82 mm

El resultado que se obtiene es **L = 275,64 mm**

Por lo que se elige de la *Tabla 4.2* del fabricante la inmediatamente superior que es la de 280 mm.

BELT TYPE	P(mm)	NOMINAL WIDTH	BELT NUMBER (NO OF TEETH)
T2.5 (Polyurethane)	2.500	3, 5, 7, 10, 13	120, 145, 160, 177.5, 200, 230, 245, 265, 285, 305, 317.5, 330, 380, 420, 480, 492.5, 500, 600, 620, 650, 780, 915, 950
T5 (Polyurethane)	5.000	5, 10, 15, 20, 25	165, 185, 200, 215, 220, 225, 245, 250, 255, 260, 270, 275, 280, 295, 300, 305, 325, 330, 340, 350, 355, 365, 375, 390, 400, 410, 420, 425, 450, 455, 465, 475, 480, 500, 510, 525, 545, 550, 560, 575, 600, 610, 620, 630, 640, 650, 660, 675, 690, 695, 700, 720, 750, 780, 800, 815, 840, 850, 900, 940, 990, 1000, 1075, 1100, 1140, 1215, 1380, 1440

Tabla 4.2 Tabla de selección de correas familia "Bando" WEDA Transmisiones

La correa seleccionada será la "BANDO 10-T5-280"

Características principales de la correa seleccionada:

- 10 mm de anchura
- 5 mm de paso
- 280 mm de longitud.

Se toma como dato la longitud real de la correa (280mm), y despejando de la formula (4.7) se calcula la distancia entre ejes (C) de las poleas, quedando la distancia de 84,2 mm

Dicho incremento de la distancia entre ejes de las poleas (2,2mm) es realizado mediante el uso de los tensores del anclaje del motor, cuyo margen de regulación de la distancia entre ejes es de entre 82 mm y 90 mm.

4.1.3.1 Embrague.

Se establece como requisito de diseño el uso para la monitorización del longboard de un solo motor eléctrico, así como que la tracción del vehículo debe ser a las dos ruedas traseras.

La disposición natural de las poleas conductoras, es el montaje de las mismas a ambos lados del motor, en los dos extremos del eje y situadas a la misma distancia que las correspondientes poleas conducidas de las ruedas motrices. (Ver *Figura 4.21*)



Figura 4.21 Situación de poleas conductoras en motor eléctrico.

Todo vehículo que tenga tracción a dos ruedas por eje, debe tener un sistema que compense la diferencia de velocidad angular de las ruedas cuando esta tomando una curva. Es por este motivo por el cual no se puede fijar las dos poleas al eje motor y hacerlas girar solidariamente al mismo, ya que esto impediría que la velocidad angular de las ruedas fueran diferentes en las curvas, provocando gran dificultad para tomarlas al generar grandes tensiones en las poleas y correas, debido al arrastre que una rueda haría sobre la otra a través de las correas y eje motor.

Para solventar este problema, se ha decidido montar un embrague de fricción en uno de los ejes del motor, de manera que solo cuando las tensiones en las correas superen un umbral establecido, el embrague actuará haciendo patinar dicha polea conductora con respecto al eje motor y así permitir la fluida circulación del vehículo y la protección de los elementos de transmisión.



Figura 4.22 Detalle de embrague de fricción.

Funcionamiento del embrague.

Como se puede ver en la Figura 4.22, si la tuerca no ejerce presión sobre el conjunto, la polea puede girar libremente sobre el eje del motor, por lo que evitara el problema al tomar las curvas, pero no ejercerá tracción alguna sobre la rueda. Cuanto más se apriete la tuerca, mas se comprime el conjunto logrando que la polea gire solidaria con el eje del motor. El elemento elástico



(caucho) se encarga de mantener la presión constante en todo momento en el sistema. El apriete del conjunto debe ser el máximo posible sin que patinen las ruedas en el asfalto o salten los dientes de las correas durante el giro, para garantizar una tracción máxima en esa rueda. Por lo que el ajuste del embrague se hace mediante prueba en campo. La segunda tuerca hace de contratuerca para bloquear el conjunto y así evitar que se afloje accidentalmente.

4.2 Electrónica de potencia

La electrónica de potencia es la encargada de suministrar la energía necesaria para que el longboard pueda desplazarse de forma autónoma y controlada. Está compuesto por:

- Batería, elemento donde se acumula la energía eléctrica del sistema. Se encarga de suministrar la energía necesaria al resto de componentes eléctricos y electrónicos. En función de la tensión y corriente de la misma se tendrán mayores prestaciones dinámicas y autonomía.
- Controlador del motor, también llamado ESC (*Electronic Speed Controller*) o variador de frecuencia, que es el encargado de generar y suministrar la tensión y corriente necesarias al motor para que éste actúe en función de lo que le demande la parte de electrónica de control.
- Motor DC *Brushless* (*sin escobillas*). El encargado de transformar la energía eléctrica del ESC en movimiento angular que impulsara el longboard.

4.2.1 Diagrama de bloques del sistema.

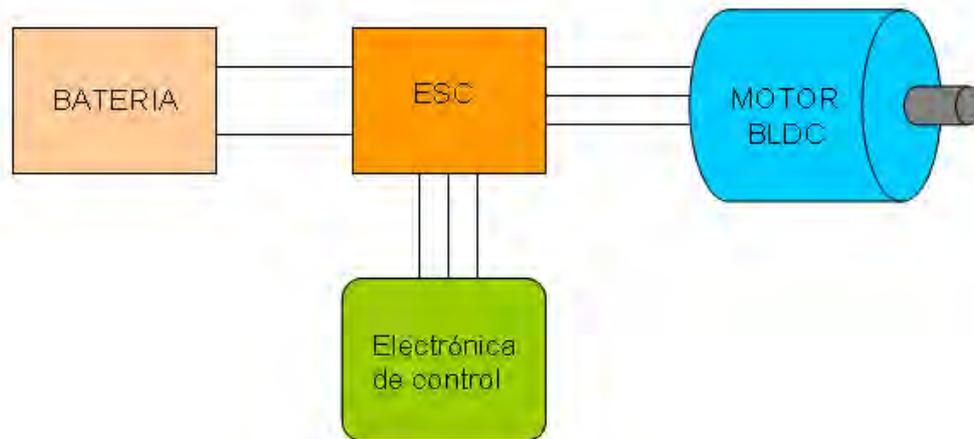


Figura 4.23 Diagrama de bloques del sistema.

La electrónica de control genera una señal PWM que varía en función de lo que se desee en cada momento que haga el motor. El ESC se encarga de interpretar esa señal que proviene de la electrónica de control y generar la forma de onda adecuada a su salida para que el motor gire a las revoluciones que se le demanden. La batería se encarga de suministrar la energía necesaria al sistema.

4.2.2 Motor DC *Brushless* (sin escobillas)

Entre la gran variedad de motores DC *Brushless* (sin escobillas) que hay en el mercado, el que mejor encaja para este proyecto es el motor de la marca Turnigy, modelo Aerodrive SK3 - 6374-168kv *Brushless* (sin escobillas) Outrunner Motor. Esta gama de motores son muy usados para aplicaciones de aeromodelismo.



Figura 4.24 Motor Turnigy Aerodrive SK3 - 6374-168kv Brushless (sin escobillas)

Para la selección de este motor, se han tenido en cuenta los siguientes puntos:

- **Revoluciones por voltio aplicado (Kv)**, se ha buscado un motor que gire a unas revoluciones lo mas bajas posibles, tal que permita una relación de transmisión directa entre motor y ruedas, sin tener que desmultiplicar en exceso el giro del motor y así evitar transmisiones compuestas que serian necesarias con un motor que de altas rpm. Como se ha explicado en apartado de transmisión mecánica, una relación 1 a 2 ha sido suficiente para poder obtener las prestaciones deseadas de velocidad máxima.
- Otro de los criterios para selección del motor es el **tamaño**, estando éste limitado a no más de 70 mm de diámetro, debido al espacio existente debajo del longboard para su instalación y montaje. Si el diámetro del motor es superior a esta medida, no se podría inclinar la tabla lo suficiente en las curvas para poder maniobrar con seguridad, ya que la misma chocaría con el motor al quedar muy cerca motor y tabla.

- Potencia** del motor: Como referencia inicial se parte del dato que los longboards comerciales tienen motores entre los 250W y los 800W de potencia, alcanzando velocidades de unos 12 km/h a 20 km/h. El motor elegido tiene una potencia pico de 2.400W (*ver Tabla 4.3*), lo cual es mas que suficiente para esta aplicación, incluso demasiado potente para este tipo de vehículos, pudiendo resultar peligroso. Por este motivo, la potencia del motor se ha limitado a unos 1.000W, ya que se alimenta a la mitad de su tensión máxima, mediante una batería de Li-ion de 6 celdas (22,2v), cuando puede ser alimentado hasta 12 celdas (44,4v), lo que reduce su potencia a la mitad. Mediante el software de la electrónica de control utilizada también se ha limitado la potencia máxima entregada al motor, quedando en los 1.000W aprox. potencia suficiente para desplazarse con velocidad elevada incluso en pendientes pronunciadas. No se ha seleccionado un motor de menor potencia debido a que, a menor potencia del mismo, el valor Kv aumenta demasiado, lo cual no permitiría la instalación de una transmisión directa entre motor y ruedas.

Datos del motor dados por el fabricante:

Product Config Table	
Kv(rpm/v)	168
Peso (g)	840
Max Current(A)	70
Resistance(mh)	19
Max Voltage(V)	44
Power(W)	2400
Shaft A (mm)	8
Length B (mm)	86
Diámetro C (mm)	59
Can Length (mm)	62
Total Length E (mm)	113

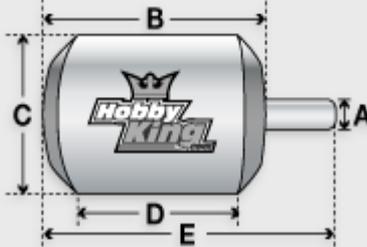


Tabla 4.3 Características motor Turnigy, Aerodrive SK3 - 6374-168kv



Numero de polos: 16T

Voltaje máximo: 12S Li Poly (12 celdas de batería de Li-ion) (44,4v).

RPM/V: 168kv

Resistencia interna: 0.019 Ohm

Máxima carga: 70A

Máxima potencia: 2.400W

Diámetro del eje: 8.0 mm

Distancia entre taladros de sujeción: 32 mm

Rosca de los taladros de sujeción: M4 (Rosca Métrica 4 mm)

Peso: 840g.

Diámetro de los conectores eléctricos: 4.0 mm

Tabla 4.4 Características motor Turnigy, Aerodrive SK3 - 6374-168kv

4.2.3 Driver de potencia del motor.

Como elemento controlador del motor DC *Brushless* (*sin escobillas*) se utiliza un ESC (*Electronic Speed Controller*). El uso de estos dispositivos esta muy extendido y estandarizado para el control de motores DC *Brushless* (*sin escobillas*) por su robustez, su sencillez de control y por su economía.

Un ESC básicamente es un inversor trifásico que lleva incluido un controlador microprocesado para el manejo y control de los interruptores electrónicos que alimentan los bobinados del motor. En la Figura 4.25 se puede ver los bloques internos que componen un ESC.

SIMPLIFIED ELECTRONIC SPEED CONTROL

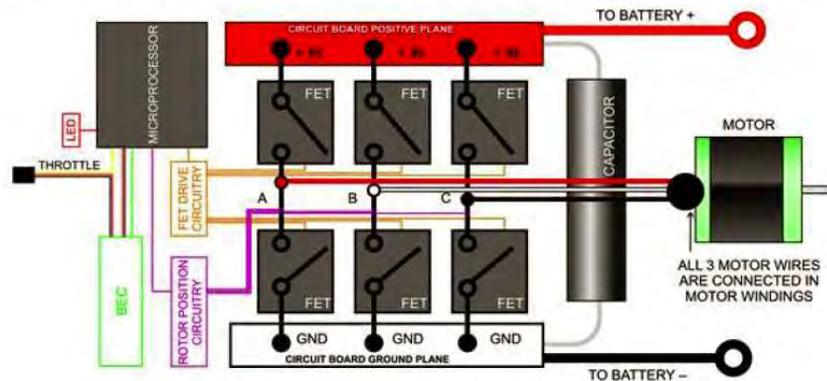


Figura 4.25 Diagrama de bloques de un ESC.

Funcionamiento del ESC

Los bloques que lo componen son los siguientes:

- **FET:** interruptores electrónicos mediante los cuales se alimentan los tres bobinados del motor.
- **Fet Drive Circuitry:** bloque que se encarga de la activación sincronizada de los interruptores electrónicos (FET).
- **Motor Position Circuitry:** Bloque electrónico encargado de detectar en cada momento la posición del bobinado del motor. Es una realimentación sobre como esta girando el motor.
- **Microprocessor:** circuito microprocesado que se encarga de generar las señales para la activación de los FET en función de la señal PWM de entrada y de la realimentación de giro que lee del *Motor Position Circuitry*.

Para controlar el motor, los ESC necesitan de una señal de control de entrada que les sirva de patrón.

Esta señal debe ser una señal cuadrada, PWM de de frecuencia 50Hz y 5v de amplitud.

El ESC se guía de la duración del ciclo positivo de la señal PWM:

Entre 0 y 1ms, No hace nada.

Duración del ciclo positivo 1ms, potencia entregada al motor = 0%

Duración del ciclo positivo 2ms, potencia entregada al motor = 100%

Para los ciclos positivos con duración intermedia entre 1ms y 2ms, el ESC entregara el motor la parte proporcional de la potencia.

Por ejemplo, si se entrega al ESC una PWM a 50Hz con ciclo positivo de 1,4ms, el ESC entregara el 40% de la potencia máxima al motor. En la Figura 4.26 se muestra gráficamente la forma de onda mínima y máxima que acepta el ESC.

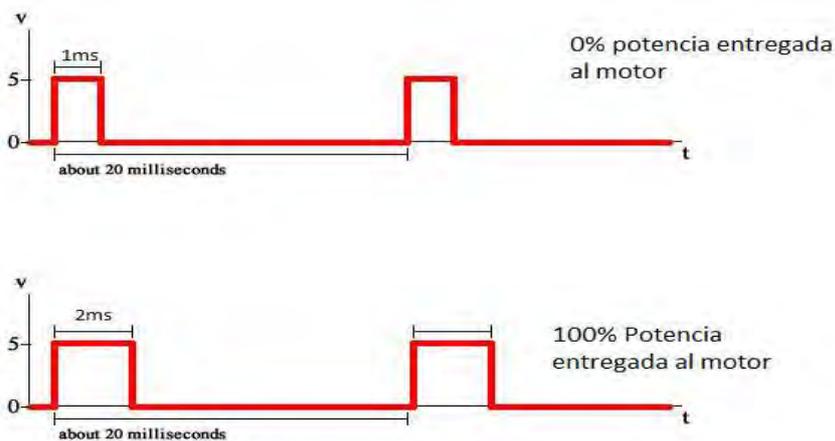


Figura 4.26 Limites de la señal PWM de entrada a ESC.

Selección del ESC

Los dispositivos ESC se seleccionan en función de la tensión y corriente máxima del motor al que vayan a controlar, nunca la corriente del motor debe superar el máximo que permite el ESC, ya que éste se dañaría por sobre corriente.

Para este caso, la corriente máxima del motor a controlar es de 70 A, por lo que se ha elegido un ESC cuya máxima corriente de trabajo de forma permanente es de 80 A.



Figura 4.27 *ESC Hobby King 80A ESC 4A SBEC*

El modelo seleccionado es el Hobby King 80A ESC 4A SBEC (Figura 4.27), cuyos datos característicos son (ver Tabla 4.5).

Constant Current: 80A
Burst Current: 100A
Battery: 2-6S Lipoly / 5-18s NiXX
SBEC: 5.5v / 4A
Motor Type: Sensorless <i>Brushless</i> (sin <i>escobillas</i>)
Size: 67 x 32 x 23 mm
Battery Wire: 12AWG
Motor Wire: 14AWG
Weight: 95g

Tabla 4.5 Características Hobby King 80A ESC 4A SBEC



4.2.4 Batería

La batería es el elemento encargado de suministrarnos la energía necesaria para el funcionamiento del longboard, de este elemento depende directamente las prestaciones del mismo como la potencia máxima, y autonomía.

Para el proyecto se ha seleccionado el uso de una batería de Ion Litio (Li-Ion) por su alta capacidad de almacenamiento, por su reducido peso y contenidas dimensiones, características muy importantes para su uso en un vehículo ligero y compacto como es un longboard.

Hay dos valores principales que definen la selección de la batería, la tensión de trabajo y la capacidad total de almacenamiento.

En el apartado 4.2.2 se explica el motivo de la selección de una batería de tensión 22,2V 6s (6celdas), básicamente es para limitar la potencia entregada del motor. Esto fija uno de los valores básicos de selección de la misma.

El otro valor a seleccionar es la capacidad de almacenamiento de la batería, medida que se da en Ah o en mAh.

Calculo de la capacidad de la batería.

Una de las especificaciones de diseño del longboards es la autonomía media del mismo. Se define que debe estar entre los 10 km y los 15 km en terreno llano, con un conductor de peso de unos 80 kg y a una velocidad media de 15 km/h.

El consumo del longboards en estas condiciones, es decir, a 15km/h de velocidad media, en terreno llano y con 92Kg de carga, es de 9,5 A.

Con este dato de consumo del mismo, se calcula la capacidad en Amperios hora (Ah) de la batería:

Para una autonomía de 10 km:

- Consumo medio = 9,5 A
- Tiempo en hacer los 10 km = $\text{Dist} / \text{Vel} = 10 \text{ km} / 15\text{km/h} = 0,666\text{horas}$
- Por lo que la capacidad mínima de la batería en Ah deberá ser de:
- Capacidad de la batería = consumo (A) * tiempo (h) = $9,5\text{A} * 0,666 \text{ h} =$
6,33Ah

Para una autonomía de 15 km:

- Consumo medio = 9,5 A
- Tiempo en hacer los 10 km = $\text{Distancia} / \text{Velocidad} = 15 \text{ km} / 15\text{km/h} = 1$
hora
- Por lo que la capacidad mínima de la batería en Ah deberá ser de:
- Capacidad de la batería = consumo (A) * tiempo (h) = $9,5\text{A} * 1\text{h} =$ **9,5 Ah.**

La capacidad de la batería debe estar entre los 6,33Ah y los 9,5 Ah.

La batería seleccionada tiene una capacidad de 8Ah, por lo que la autonomía teórica media será de:

- Consumo medio a velocidad de 15 km/h = 9,5 A
- Capacidad batería = 8 Ah
- Tiempo autonomía batería = $8 \text{ Ah} / 9,5 \text{ A} = 0,84 \text{ horas.}$
Autonomía (distancia) = $\text{Velocidad} * \text{tiempo} = 15\text{km/h} * 0,84 \text{ h} =$ **12,6 km.**

El modelo de la batería seleccionada es el: “Turnigy nano-tech 8000mAh 6S 25~50C Lipo Pack”



Figura 4.28 Batería “Turnigy nano-tech 8000mAh 6S 25~50C Lipo Pack”

Capacity: 8.000mAh

Voltage: 6S1P / 6 Cell / 22.2V

Discharge: 25C Constant / 50C Burst

Weight: 1105g (including wire, plug & case)

Dimensions: 195x50x55 mm

Discharge Plug: 5 mm bullet-connector

Advantages over traditional Lipoly batteries;

- Power density reaches 7.5 kw/kg.
- Less Voltage sag during high rate discharge, giving more power under load.
- Internal impedance can reach as low as 1.2mOhm
- Greater thermal control, pack usually doesn't exceed 60degC
- Swelling during heavy load doesn't exceed 5%,
- Higher capacity during heavy discharge. More than 90% at 100% C rate.
- Fast charge capable, up to 15C
- Longer Cycle Life, almost double that of standard lipoly technology.

Figura 4.29 Características batería seleccionada

Product Config Table	
Capacidad(mAh)	8000
Configuración (s)	6
Discharge (c)	25
Peso (g)	1105
Max Charge Rate (C)	5
Longitud-A(mm)	195
Height-B(mm)	50
Anchura-C(mm)	55



Figura 4.30 Batería "Turnigy nano-tech 8000mAh 6S 25~50C Lipo Pack"

Las características más destacables de los datos de la

Figura 4.29 y de la *Figura 4.30* son:

- Corriente máxima de descarga = 25C o lo que es lo mismo, $25 \times 8 = 200\text{Amp}$
- Corriente máxima de carga = 5C es decir, 40A.

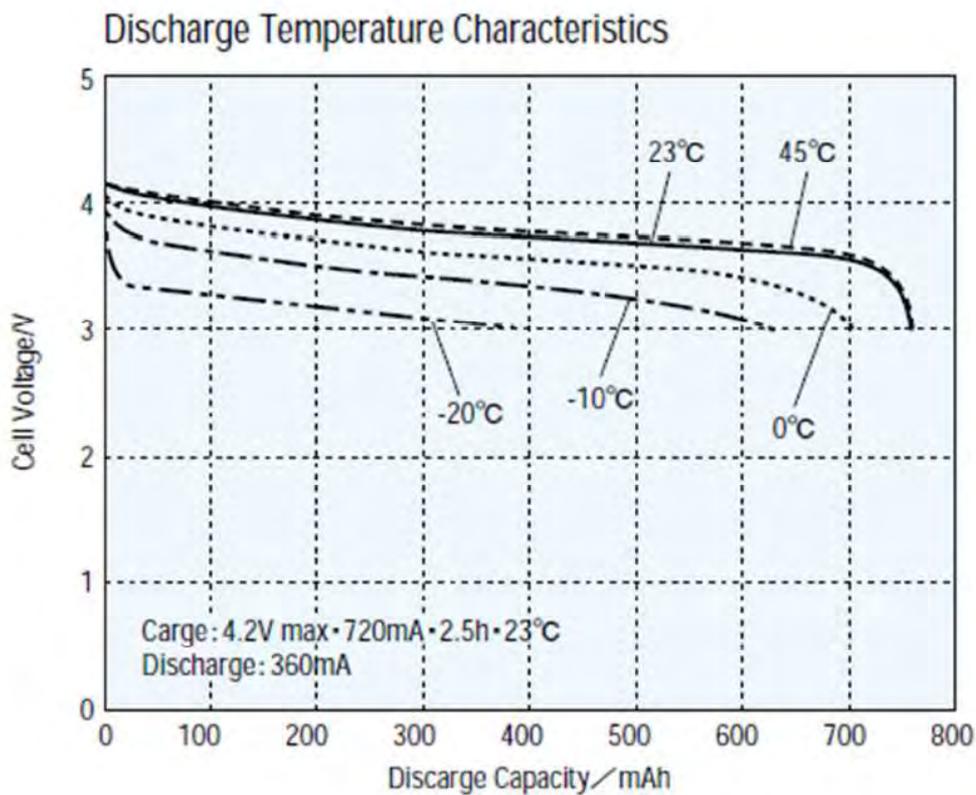


Figura 4.31 Tensión de celda genérica vs capacidad de carga

La *Figura 4.31* muestra la evolución de la tensión de la celda de litio en función carga acumulada para diferentes temperaturas. Esta es una forma sencilla y aproximada de poder medir el estado de la carga de la misma.



4.3 Electrónica de control.

4.3.1 Arduino

Uno de los requisitos de diseño del longboard es usar Arduino como base de la electrónica de control del sistema.

Arduino es una plataforma de hardware libre, basada en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo, diseñada para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios.

El hardware consiste en una placa con un microcontrolador Atmel AVR y puertos de entrada / salida. <http://es.wikipedia.org/wiki/Arduino> - cite note-Arduino-4 Los microcontroladores más usados son el Atmega168, Atmega328, Atmega1280, y Atmega8 por su sencillez y bajo coste que permiten el desarrollo de múltiples diseños. Por otro lado el software consiste en un entorno de desarrollo que implementa el lenguaje de programación Processing / Wiring y el cargador de arranque que es ejecutado en la placa.

Las placas se pueden montar a mano o adquirirse. El entorno de desarrollo integrado libre se puede descargar gratuitamente.

Arduino puede tomar información del entorno a través de sus entradas analógicas y digitales. El microcontrolador en la placa Arduino se programa mediante el lenguaje de programación Arduino (basado en Wiring) y el entorno de desarrollo Arduino (basado en Processing). Los proyectos hechos con Arduino pueden ejecutarse sin necesidad de conectar a un PC. También cuenta con su propio software que se puede descargar de su página oficial que ya incluye los *drivers* de todas las tarjetas disponibles lo que hace más fácil la carga de códigos desde el PC, [5].

Se ha seleccionado la placa "Arduino UNO" como base para el control del longboard, por su pequeño tamaño, suficientes entradas y salidas, y economía de adquisición.

Arduino UNO

Arduino Uno es una placa electrónica basada en el microcontrolador ATmega328. Cuenta con 14 entradas/salidas digitales, de las cuales 6 se pueden utilizar como salidas PWM (Modulación por ancho de pulsos) y otras 6 son entradas analógicas. Además, incluye un resonador cerámico de 16 MHz, un conector USB, un conector de alimentación, una cabecera ICSP y un botón de reseteo. La placa incluye todo lo necesario para que el microcontrolador haga su trabajo, basta conectarla a un ordenador con un cable USB o a la corriente eléctrica a través de un transformador. En la *Figura 4.32* vemos una foto de una placa Arduino UNO.



Figura 4.32 Placa Arduino UNO

Con esta placa, Arduino conmemoraba el lanzamiento de Arduino 1.0., convirtiéndose en la versión de referencia de Arduino.

Características técnicas de Arduino Uno

- Microcontrolador: ATmega328 Voltaje: 5V
- Voltaje entrada (limites): 6-20V
- Digital I/O Pins: 14 (de los cuales 6 son salida PWM)



- Entradas Analógicas: 6
- DC Current per I/O Pin: 40 mA
- DC Current para 3.3V Pin: 50 mA
- Flash Memory: 32 KB (ATmega328) de los cuales 0.5 KB son utilizados para el arranque
- SRAM: 2 KB (ATmega328)
- EEPROM: 1 KB (ATmega328)
- Clock Speed: 16 MHz

En el **anexo 8.4** se describe el funcionamiento general de la placa Arduino UNO.

Entradas y salidas digitales/analógicas

Una placa Arduino, puede pensarse de forma simplificada como un sistema que acepta información en forma de señal de entrada, desarrolla ciertas operaciones sobre ésta y luego produce señales de salida.

Justamente, una de las opciones que hacen más potente a Arduino son sus entradas/salidas digitales.

Terminales Digitales

Arduino incorpora terminales digitales (señales discretas) pero de tal forma que tenemos un gran abanico de valores con los que trabajar (por ejemplo, 255 valores de luz en un foto sensor, siendo 0 ausencia de luz y 255 el máximo valor lumínico).

Los terminales digitales de una placa Arduino pueden ser utilizadas para entradas o salidas de propósito general a través de los comandos de programación `pinMode()`, `digitalRead()`, y `digitalWrite()`. Cada terminal tiene una resistencia pull-up que puede activarse o desactivarse utilizando `DigitalWrite()`



(con un valor de HIGH o LOW, respectivamente) cuando el pin esta configurado como entrada. La corriente máxima por salida es 40 mA.

- Serial: 0 (RX) y 1 (TX). Utilizado para recibir (RX) y transmitir (TX) datos serie TTL. En el Arduino Diacemila, estas terminales están conectadas a las correspondientes patas del circuito integrado conversor FTDI USB a TTL serie. En el Arduino BT, están conectados al las terminales correspondientes del modulo Bluetooth WT11. En el Arduino Mini y el Arduino LilyPad, están destinados para el uso de un módulo serie TTL externo (por ejemplo el adaptador Mini-USB).
- Interruptores externos: 2 y 3. Estos terminales pueden ser configurados para disparar una interrupción con un valor bajo, un pulso de subida o bajada, o un cambio de valor.
- PWM: 3, 5, 6, 9, 10, y 11. Proporcionan salidas PWM de 8 bit con la función analogWrite(). En placas con ATmega8, las salidas PWM solo están disponibles en los pines 9, 10, y 11.
- LED: 13. En el Diacemila y el LilyPad hay un Led en placa conectado al pin digital 13. Cuando el pin tiene valor HIGH, el LED está encendido, cuando el pin está en LOW, está apagado

Pines Analógicos

Los pines de entrada analógicos soportan conversiones analógico-digital (ADC) de 10 bit utilizando la función analogRead(). Las entradas analógicas pueden ser también usadas como pines digitales: entrada analógica 0 como pin digital 14 hasta la entrada analógica 5 como pin digital 19. Las entradas analógicas 6 y 7 (presentes en el Mini y el BT) no pueden ser utilizadas como pines digitales.

Pines de alimentación

- VIN (a veces marcada como "9V"). Es el voltaje de entrada a la placa Arduino cuando se está utilizando una fuente de alimentación externa (En comparación con los 5 voltios de la conexión USB o de otra fuente de alimentación regulada). Puedes proporcionar voltaje a través de este



pin. Date cuenta que diferentes placas aceptan distintos rangos de voltaje de entrada, por favor, mira la documentación de tu placa. También date cuenta que el LilyPad no tiene pin VIN y acepta solo una entrada regulada.

- 5V. La alimentación regulada utilizada para alimentar el microcontrolador y otros componentes de la placa. Esta puede venir de VIN a través de un regulador en placa o ser proporcionada por USB u otra fuente regulada de 5V.
- 3V3. (solo en el Diademila) Una fuente de 3.3 voltios generada por el chip FTDI de la placa.
- GND. Pines de tierra, [6].

4.3.2 Diagrama de interconexión entre bloques.

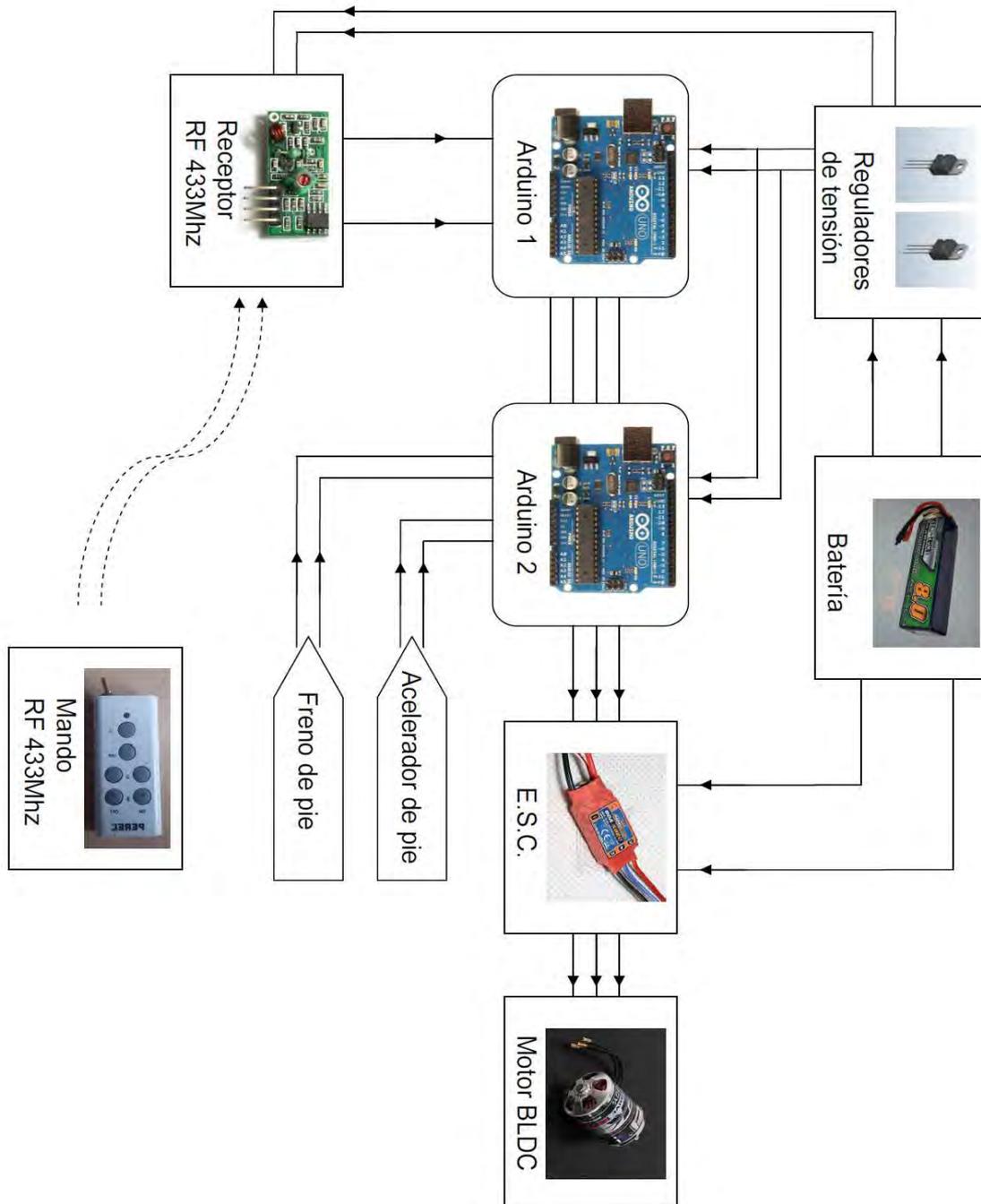


Fig. 4.32 Diagrama de bloques. Interconexión entre la electrónica de control y el resto de bloques del sistema



Reguladores de tensión.

La tensión de la batería oscila entre los 25,2 V a plena carga y los 22,2 V cuando esta sin carga, tensión muy alta para alimentar al Arduino que necesita una tensión de alimentación de 5 Vdc.

Otro elemento a alimentar es el receptor de Radiofrecuencia, el cual lo se alimenta a 9 Vdc. Para ello se usan dos reguladores de tensión, un LM7805 para alimentar las dos placas Arduino y un LM7809 para alimentar el receptor de radiofrecuencia.

Receptor.

Una de las formas de control del Longboard es mediante radiofrecuencia, por lo que se ha incorporado al sistema un receptor Standard de radiofrecuencia el cual leerá la señal proveniente del mando a distancia y la pasara al modulo Arduino que se encarga del tratamiento de dicha señal.

Arduino 1.

Es el encargado de recibir la señal del receptor, procesarla y comunicar con el otro Arduino (2).

Arduino 2.

Es la placa principal del sistema, recibe señales desde la Arduino1, que le comunica lo referente a las ordenes recibidas por radiofrecuencia, también lee las entradas del acelerador y el freno de pie, y en función de todas estas entradas procesa la señal de salida que le envía al ESC en forma de una señal PWM de 50 Hz y con el ciclo de trabajo positivo variable.

ESC

Se encarga de procesar la señal enviada desde Arduino 2 y generar la tensión de salida trifásica hacia el motor. La potencia entregada al motor va en función de la información contenida en la PWM recibida.



Mando Radiofrecuencia.

Es un mando Standard usado para aplicaciones domótica, emite por radiofrecuencia a 433Mhz. Esta alimentado por una batería de 12Vdc

Acelerador y freno de pie.

Son dos pulsadores situados en la parte superior de la tabla del longboard. Mediante dichos pulsadores se consigue que el longboard avance o se detenga a nuestra voluntad.

4.3.3 Esquema eléctrico del bloque de electrónica de control.

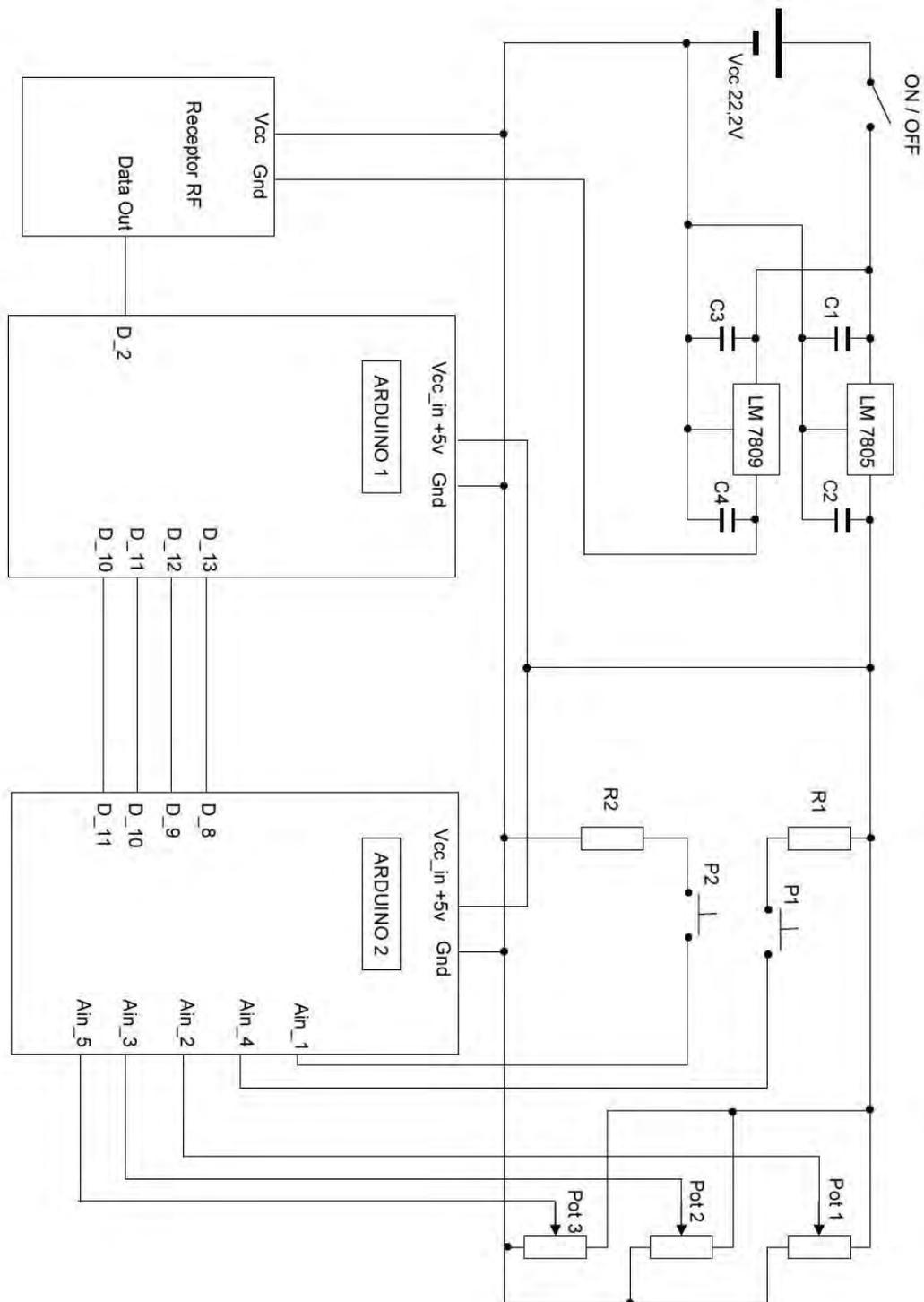


Figura 4.33 Esquema eléctrico del Longboard



En la Figura 4.33 vemos los componentes que forman la parte eléctrica del longboard

Listado de componentes.

- Arduino 1, Arduino 2: Placa Arduino UNO
- Vcc: batería Li-Ion 6s (22,2V)
- Receptor RF: Receptor Standard radio frecuencia
433Mhz
- C1, C3: 0,33 μ F
- C2, C4: 0,1 μ F
- R1, R2: 470 Ohm
- Pot 1, Pot 2, Pot 3: Potenciómetro 10K lineal.
 - Pot 1: Limitador de velocidad
 - Pot 2: Rampa aceleración.
 - Pot 3: Rampa deceleración.
- P1, P2: Pulsador
 - P1: Freno
 - P2: Acelerador
- LM7805: Regulador de tensión LM7805
(Arduinos)
- LM7809: Regulador de tensión LM7809 (receptor
RF)
- On/Off: Interruptor palanca alta intensidad

4.3.4 Lógica de control, diagrama de flujo

Diagrama de flujo de la placa principal (Arduino)

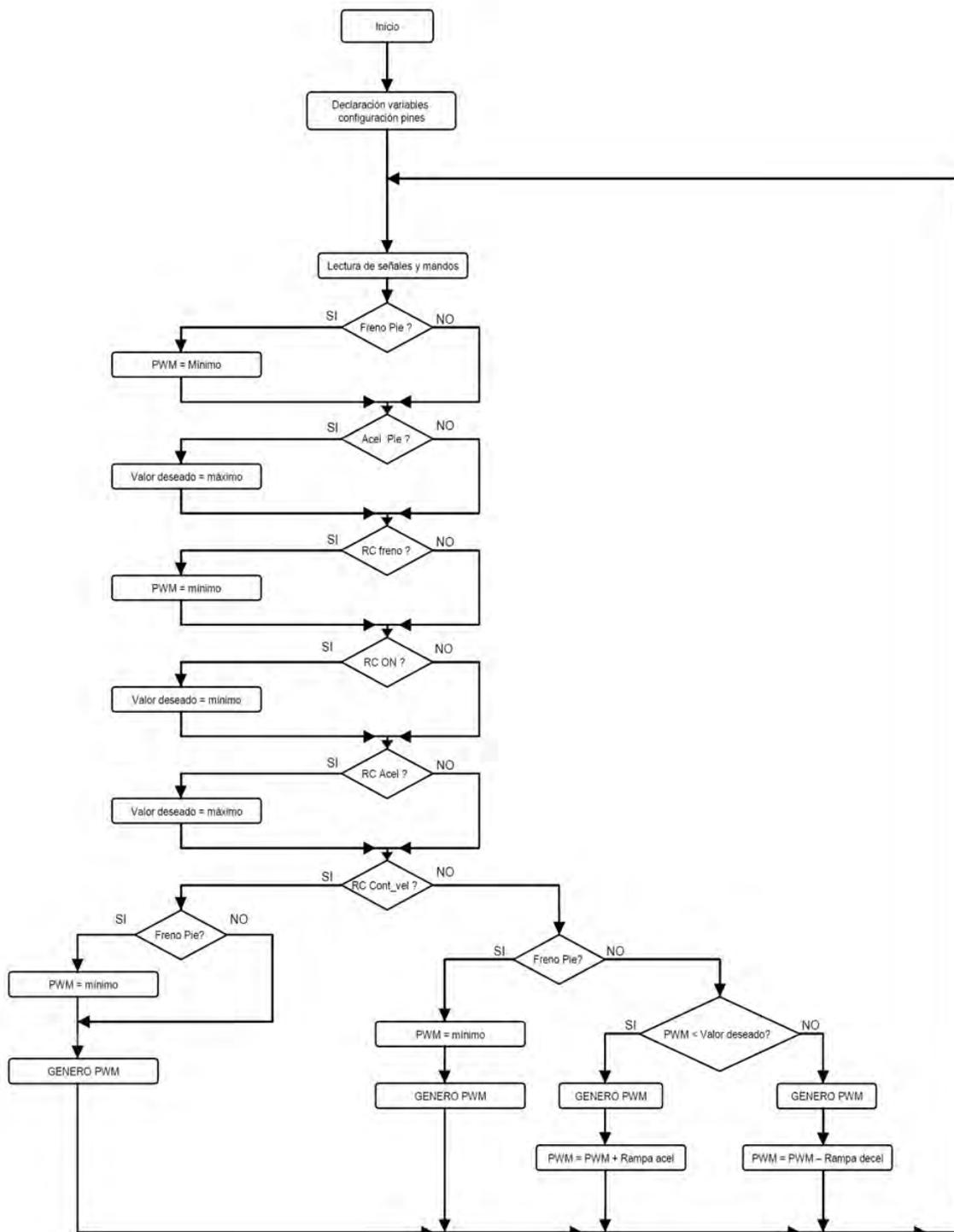


Figura 4.34 Diagrama de flujo de placa Arduino principal

Diagrama de flujo de la placa Arduino receptora RF

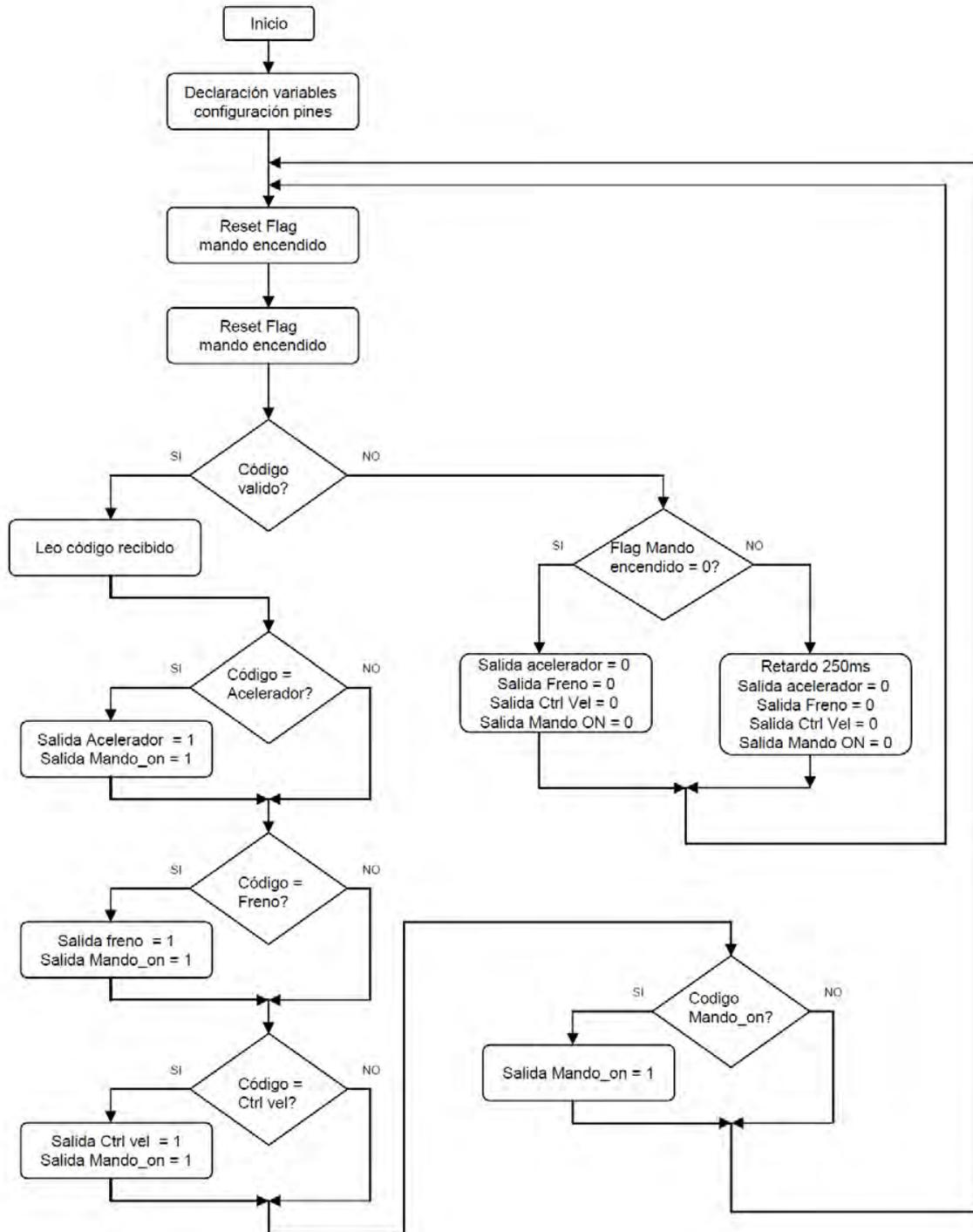


Figura 4.35 Diagrama de flujo de placa Arduino receptora RF

Los códigos de programación de ambas placas Arduino pueden verse en los anexos 6 y anexo 7.

4.3.5 Controles, interface humano.

Una de las especificaciones de diseño del longboard eléctrico es el tipo interacción entre el conductor y el vehículo, se define que debe haber al menos dos formas de conducir el mismo:

- Mediante el uso de pulsadores de pie en la tabla
- Mediante un mando a distancia por radiofrecuencia.

Control por sensores de pie.

Mediante dos pulsadores instalados en la tabla, que harían la función de acelerador (instalado en la parte delantera del Longboard) y freno (instalado en la parte trasera) podemos controlar el Longboard. En la Figura 4.36 se muestra la disposición de estos pulsadores en la tabla del Longboard eléctrico.



Figura 4.36 Control por pulsadores situados en la superficie de la tabla

Es muy intuitivo, ya que al querer acelerar, instintivamente se carga el peso en la parte delantera del Longboard para compensar la aceleración del mismo y así guardar el equilibrio. Por el contrario, cuando se quiere decelerar, inconscientemente se carga peso en la parte trasera para equilibrarse, por lo que intuitivamente se mueve el pie trasero hacia el pulsador de freno.

Es una manera sencilla, que requiere un pequeño periodo de aprendizaje, pero que una vez se haya practicado esta forma de conducirlo, resulta tan cómodo o aun más que dirigirlo con el mando inalámbrico manual.

Una gran ventaja de este sistema sobre el mando inalámbrico es que es totalmente inmune a las interferencias electromagnéticas o inhibidores de señal, que podrían interferir en el control del mando bloqueando el longboard y parándolo.

Otra ventaja es que en caso de pérdida, rotura, o falta de batería del mando inalámbrico se puede seguir usando, por lo que ambos sistemas se complementan perfectamente, quedando a la elección de cómo dirigirlo a cargo del conductor del longboard eléctrico.

Conducción con mando por radiofrecuencia.

Consiste en interactuar con el longboard eléctrico mediante el uso de un mando Standard por radiofrecuencia a 433Mhz, mando típico de aplicaciones domótica.

Con la electrónica de control se lee el código del mando emitido, que será uno u otro en función del botón pulsado, actuando en consecuencia el longboard en función del código leído.

En la Figura 4.37, se puede observar el mando que se encarga de esta función. Es de la marca Perel, extraído de un Kit de tres enchufes tele-controlados por el mismo.



Figura 4.37 Mando Radio Frecuencia utilizado



El mando elegido, en su estado original, si no pulsamos alguno de los botones, el mando no emite ningún código por radiofrecuencia.

El mando emite un código diferente por cada uno de los 6 botones que se pulse, pero también emite diferentes códigos si combinamos la pulsación de dos botones a la vez, por lo que el abanico de códigos posibles es muy amplio.

Se quiere que el longboard pueda diferenciar cuando el conductor quiere manejarlo usando el mando Rf y cuando quiere usarlo con los sensores de pisada. Para ello se necesita que el mando emita algún código siempre que el conductor elija este modo de conducción, por lo que se ha instalado en el mando un interruptor de palanca que hace la función de ON/OFF del mismo.

Internamente se ha puenteado el pulsador “3 OFF” para que en cuanto el interruptor de encendido este en ON, el mando comience a emitir el código de esa tecla pulsada inmediatamente, de esta manera la electrónica de control del longboard lo detecta y actúa en consecuencia. Es una función que se ha implementado por motivos de seguridad, se trata de que cuando el mando este en modo ON, la electrónica de control ignore el pulsador del acelerador de pie y así acelerar por error.

Por seguridad, si el longboard pierde el contacto con el mando, al no recibir el código correcto, automáticamente cede el control del acelerador al pulsador de pie, y en caso de no estar pulsado decelera hasta pararse.

Los comandos que le podemos dar longboard desde el mando son los siguientes:

- Si se pulsa el botón “1 ON” se estará acelerando,
- Si se pulsa el “1 OFF” se estará frenando,
- Si se pulsa el “2 ON” se estará manteniendo la velocidad.

Mediante una rutina, se han leído con la placa Arduino los códigos recibidos por el mando para las pulsaciones que vamos a utilizar, para de esta



forma tener controlados todos los posibles códigos a recibir y así poder asignarle una tarea a cada código correcto recibido.

Puede verse el código de programación de esta rutina de obtención de los datos en el **anexo 9**.

En la Figura 4.38 podemos ver la herramienta “monitor serie” del entorno de programación de Arduino. La rutina de lectura de códigos nos devuelve en la pantalla del PC los códigos recibidos del mando RF.

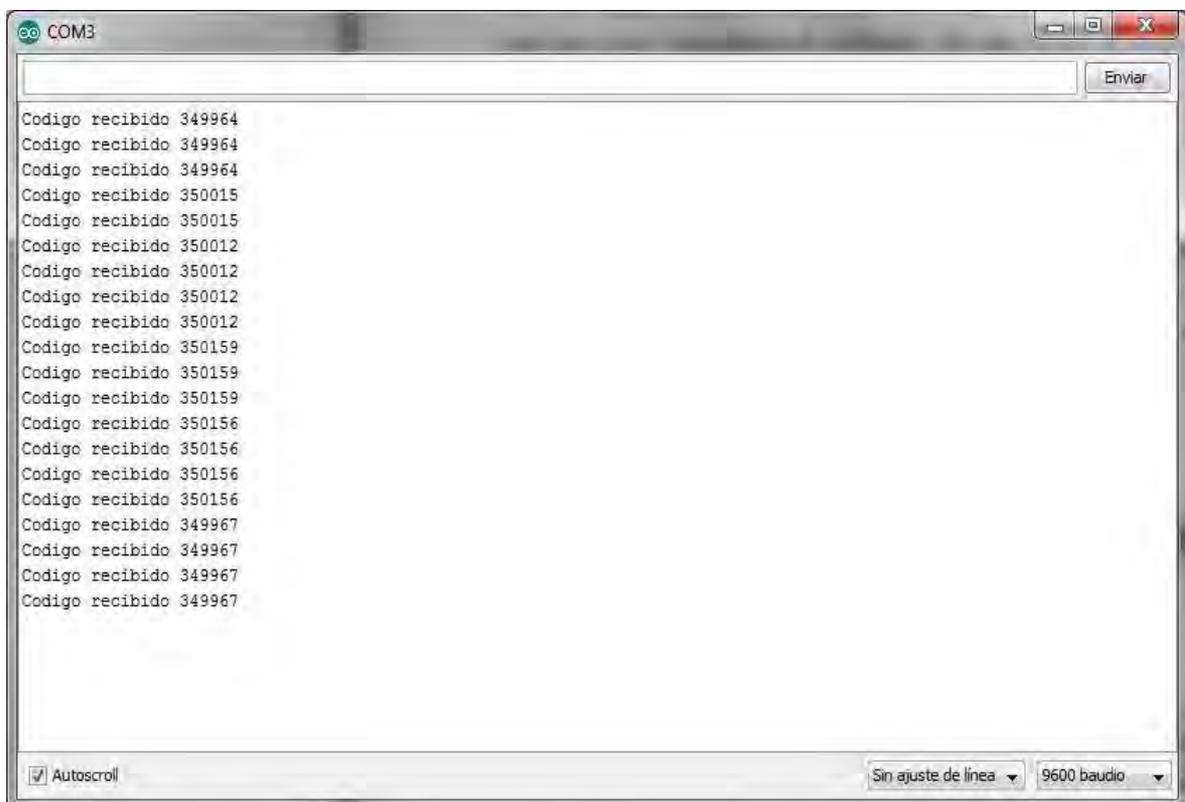


Figura 4.38 Puerto serie donde se visualizan los códigos del mando RF

Los resultados de lanzar este programa de lectura de los códigos del mando son los siguientes (Tabla 4.6).

Botones pulsados		Código recibido	Función asignada
3 OFF		349964	Mando ON
3 OFF + 1 ON	=	350015	Acelerador
3 OFF + 1 OFF	=	350012	Freno
3 OFF + 2 ON	=	350159	Mantener velocidad
3 OFF + 2OFF	=	350156	No Usada
3 OFF + 3 ON	=	349967	No Usada

Tabla 4.6 Códigos emitidos por mando RF y su función. El botón 3 OFF está continuamente activado mediante una conexión interna.

Se usa el botón de 1 ON como acelerador.

Se usa el botón de 1 OFF como freno.

Se usa el botón de 2 ON como control de velocidad.

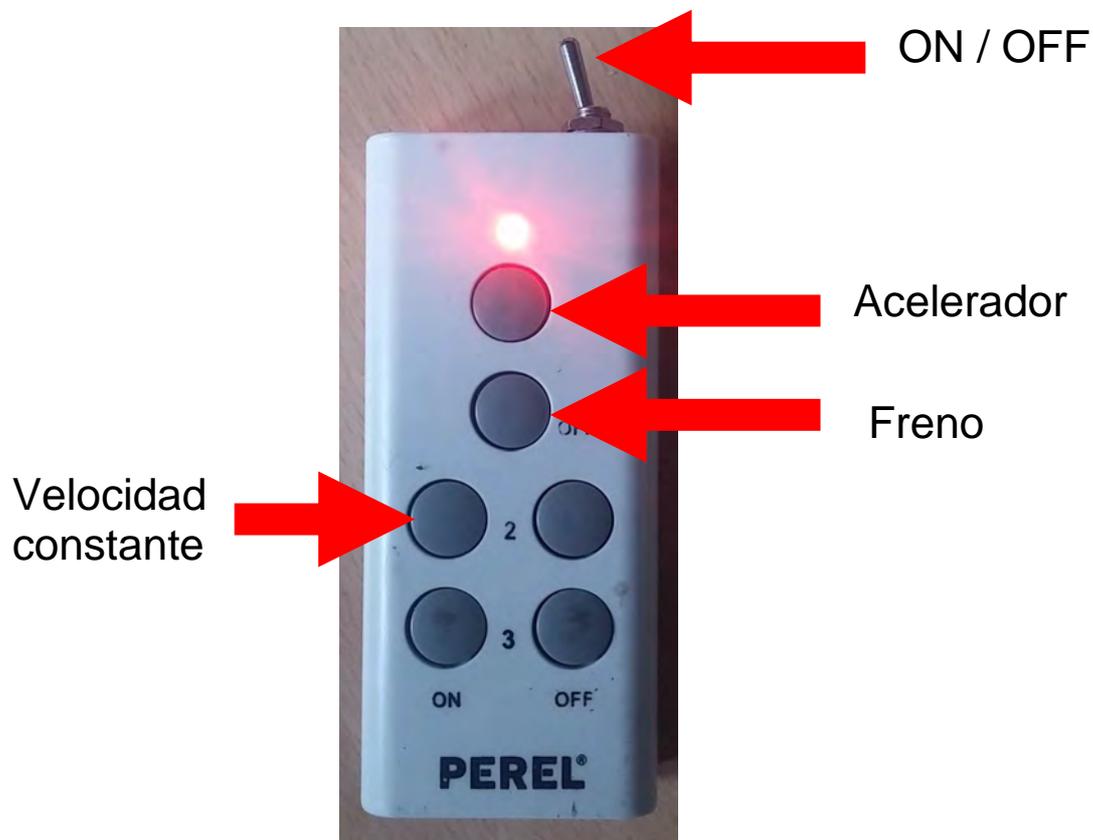


Figura 4.39 Detalle de tareas de cada botón del mando RF

En la Figura 4.39 se puede ver el mando de control por RF, detallándose los botones usados y su función.

A diferencia del control por sensor de pisada, que solo nos permite la función de acelerar y frenar, si se usa el mando RF como interface humano, se tiene una tercera función “velocidad constante”. El funcionamiento de esta tercera función es mantener la velocidad a la que estamos circulando mientras estemos pulsando este botón.

Regulación de prestaciones dinámicas.

Tanto si se conduce el Longboard eléctrico usando el mando a distancia por RF, como si se hace usando los sensores de pisada de la tabla, ambas formas son un tipo de control “todo-nada” al ser pulsadores. Debido a la gran potencia que tiene el motor eléctrico, es inviable el aplicar toda la potencia al motor cuando estamos acelerando, ya que la reacción del longboard seria muy violenta haciéndonos perder el equilibrio, siendo totalmente imposible su uso.

Para poder hacer un uso seguro del longboard eléctrico con este tipo de control, se han implementado tres limitaciones electrónicas de las prestaciones dinámicas que se describen a continuación.

En la Figura 4.40, se aprecia la caja donde esta toda la parte electrónica del longboard, en dicha caja se han instalado tres potenciómetros de ajuste de las prestaciones dinámicas del longboard



Figura 4.40 Potenciómetros ajuste prestaciones dinámicas.



Potenciómetro 1. Regulación de velocidad máxima.

Con este potenciómetro se limita la velocidad máxima alcanzada por el longboard eléctrico en función la posición del mismo. Los límites de regulación de velocidad máxima varían entre 3 km/h y 25 km/h.

Potenciómetro 2. Regulación de la rampa de aceleración.

Cuando se pulsa el acelerador del longboard, ya sea usando el mando RF o el sensor de pisada de la tabla, la aceleración del longboard es controlada mediante una “rampa virtual” que dosifica la potencia entregada al motor en función del tiempo, de esta manera, se suaviza la entrega de potencia al nivel que el usuario del longboard desee. La pendiente de esa rampa virtual es regulada mediante este potenciómetro.

La regulación mínima del potenciómetro 2, es decir, la menor de las pendientes posibles de rampa, esta calculada para que el longboard tarde unos 15 segundos en alcanzar su velocidad máxima (25km/h).

En cambio, si se regula el potenciómetro al máximo de aceleración, el longboard alcanzara la velocidad máxima en unos 3 seg., haciéndolo mas rápido de reacciones, pero a la vez mas difícil de pilotar.

En la Figura 4.41 se han representado gráficamente los límites superior e inferior de la regulación de la pendiente de la rampa de aceleración, pudiendo seleccionar con el potenciómetro 2 cualquiera de las pendientes intermedias.

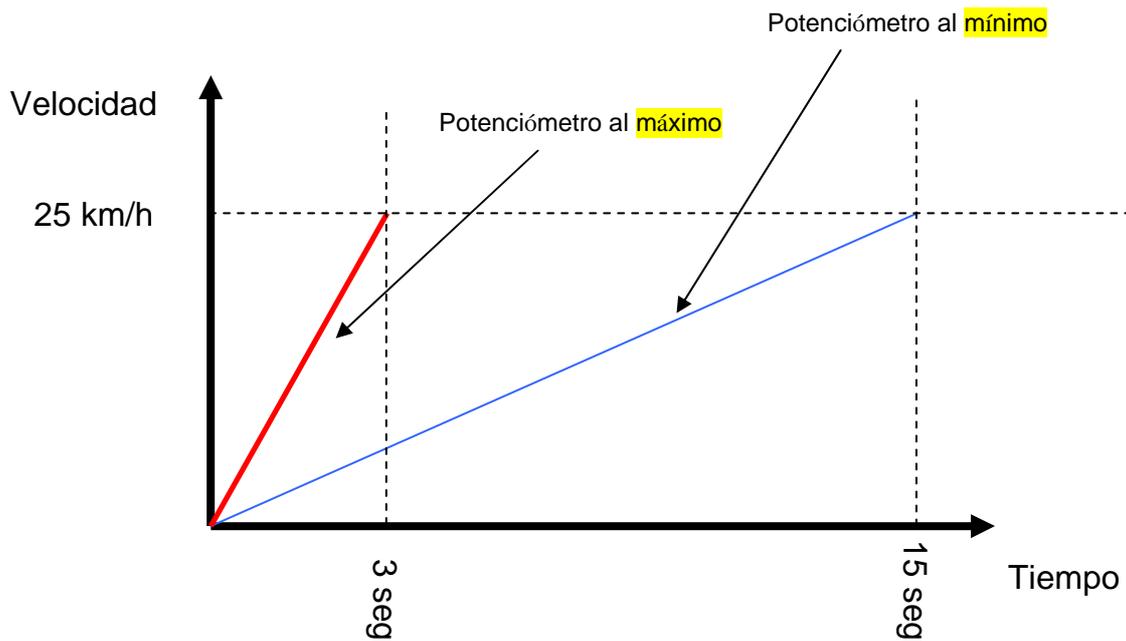


Figura 4.41 Límites ajuste pendiente de rampa de aceleración.

Potenciómetro 3.- Regulación de deceleración:

Cuando se suelta el botón del acelerador, es evidente que no queremos seguir ganando velocidad, sino que queremos reducirla. Para hacer mas suave la conducción del longboard, se ha generado una rampa de deceleración que reduce la potencia eléctrica aplicada al mismo siguiendo una rampa de deceleración. La pendiente de esta rama esta controlada por el potenciómetro numero 3.

Al igual que para la rampa de aceleración, se han fijado unos limites máximo y mínimo de la pendiente de dicha rampa. Con el potenciómetro 3 podemos movernos dentro de esos limites.

En la Figura 4.42 se han representado gráficamente los límites superior e inferior de la regulación de la pendiente de la rampa de deceleración, pudiendo seleccionar con el potenciómetro 3 cualquiera de las pendientes intermedias.

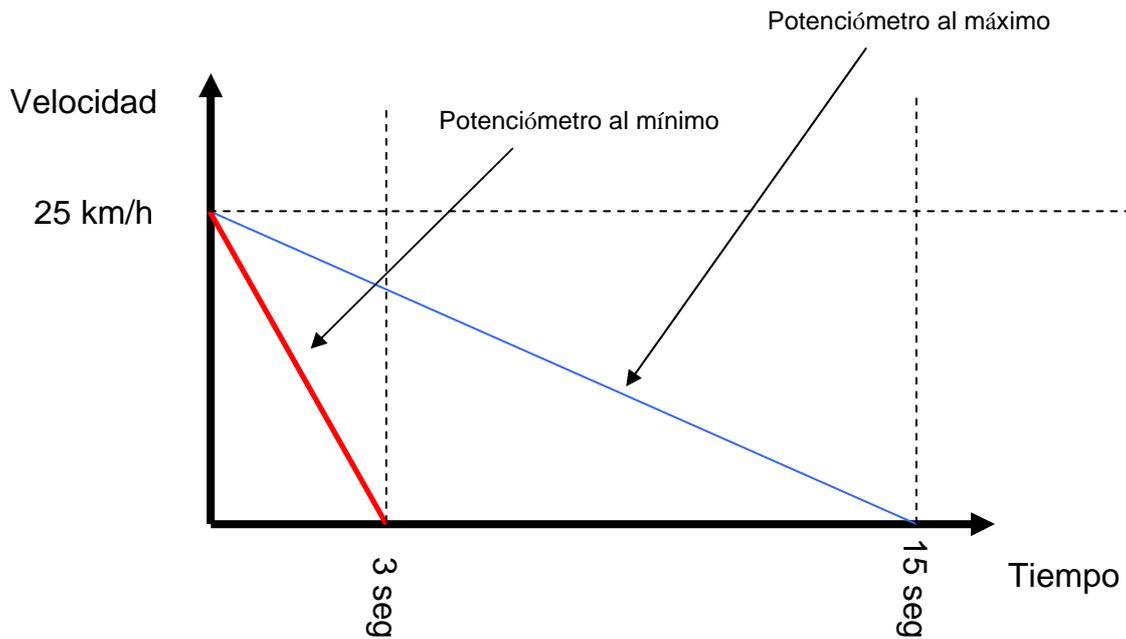


Figura 4.42 Límites ajuste pendiente de rampa de deceleración.

El resultado de la deceleración real irá en función del rozamiento de las ruedas con el terreno, del peso del piloto y de la pendiente del terreno por la que se circule. La rampa de deceleración garantiza una deceleración máxima, siendo siempre la deceleración real igual o menor que la fijada por el potenciómetro 3.

Función de velocidad constante.

En el mando RF, aparte de los botones de acelerador y freno, cuyo funcionamiento es idéntico a los pulsadores de acelerador y freno existentes en la tabla, tenemos esta tercera función. La manera de usar esta función es la siguiente: Se pone en marcha el longboard, se arranca y avanza pulsando el botón de acelerador, una vez que se va a la velocidad deseada, se suelta el botón de acelerador y se pulsa el botón de control de velocidad, de esta forma se está deteniendo la rampa de aceleración congelándola en ese instante, por lo que el longboard seguirá circulando en ese punto que corresponde a la

velocidad deseada mientras se siga pulsando este botón. La potencia entregada al motor será constante, y a su vez la velocidad resultante también.

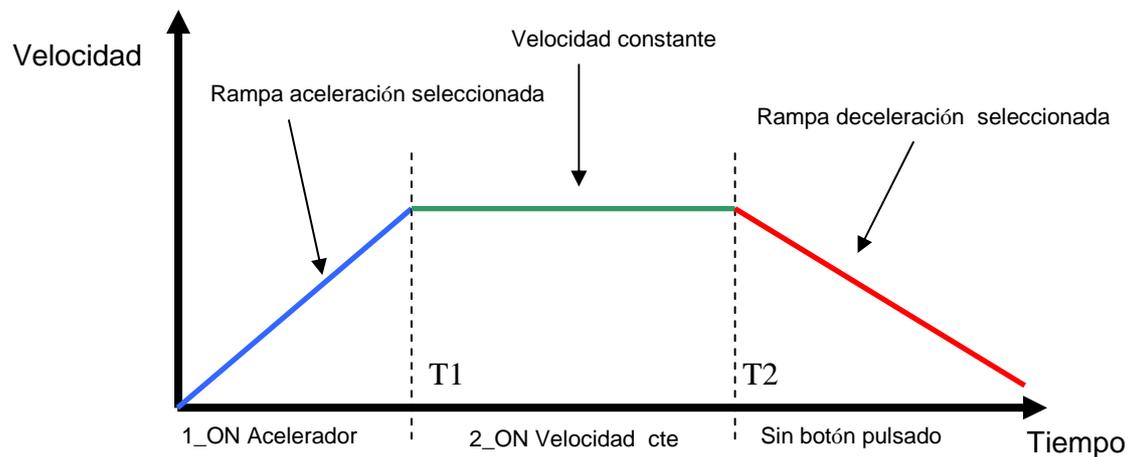


Figura 4.43 Control de velocidad, detalle rampa

En la Figura 4.43 se puede apreciar como en la primera parte de la grafica (parte azul) el longboard va ganando velocidad siguiendo la pendiente de aceleración seleccionada con el potenciómetro 2. En el instante T1 una vez alcanzada la velocidad deseada, se deja de acelerar, y se pulsa el botón de control de velocidad, quedando congelada la rampa de aceleración y manteniendo la velocidad constante del longboard hasta el instante T2, en el que se deja de pulsar el botón de velocidad constante, y desde donde se comienza a desacelerar con la pendiente máxima delimitada por el potenciómetro 3.



Capítulo 5. Resultados experimentales.

5.1 Señales del sistema

Una vez finalizado el proceso de cálculo y diseño del longboard eléctrico, se realiza el montaje del mismo y las primeras pruebas de laboratorio y en campo. En primer lugar, se comprueba que la señal de salida del bloque de electrónica de control hacia el ESC es correcta y cumple con los valores de diseño.

En la Figura 5.1 y en la Figura 5.2 se ve la PWM que llega desde el sistema electrónico de control a la entrada del ESC cuando se tiene el Longboard eléctrico parado, es decir, alimentado y encendido pero sin acelerar.

Se aprecia que la señal de salida del módulo electrónico es una PWM de 50Hz, con periodo en ON de 1ms, que es la señal que necesita el ESC para estar activo pero con orden de no enviar potencia eléctrica a motor.

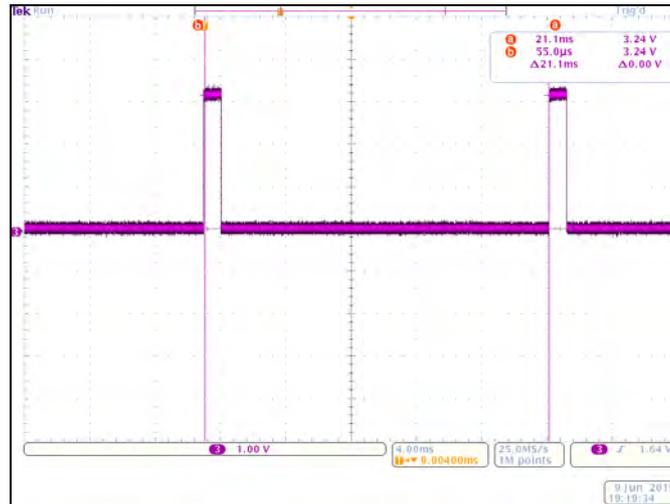


Figura 5.1 PWM estado reposo. $T = 20ms$. $F = 50Hz$, $T_{On} = 1ms$,
 $T_{OFF}=19ms$

Se amplia la base de tiempos para ver en detalle el ciclo positivo.

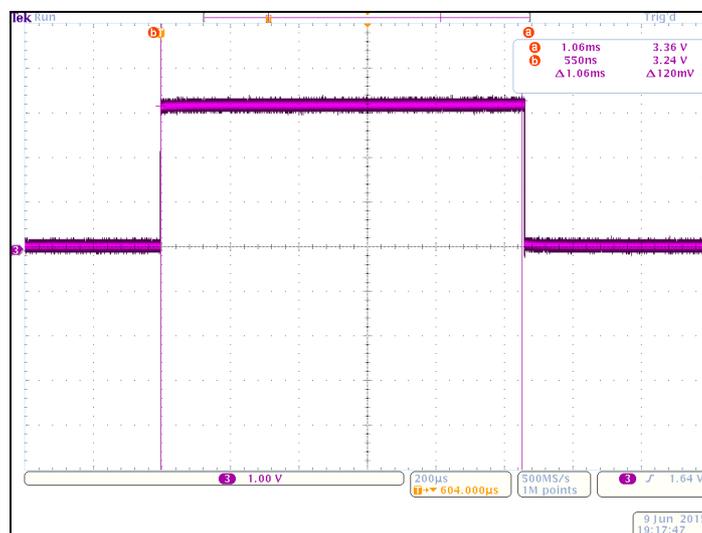


Figura 5.2 PWM estado reposo, detalle ciclo positivo. $T = 20ms$, $T_{ON} = 1ms$. $T_{OFF} = 19ms$, $F = 1/T = 50Hz$

En este estado, el ESC no genera señal de potencia alguna, solo esta preparado para que en cuanto aumente el ciclo positivo de la PWM empezar a mandar energía al motor.

En el momento que se empieza a acelerar, comienza a aumentar el valor del ciclo positivo de la señal que le llega al ESC, es decir, más de 1ms. En ese momento, el ESC comienza a generar a su salida una señal PWM de potencia para cada una de las tres fases del motor. En la Figura 5.3 podemos ver como es esa señal de salida del ESC hace cada una de las tres fases del motor eléctrico.

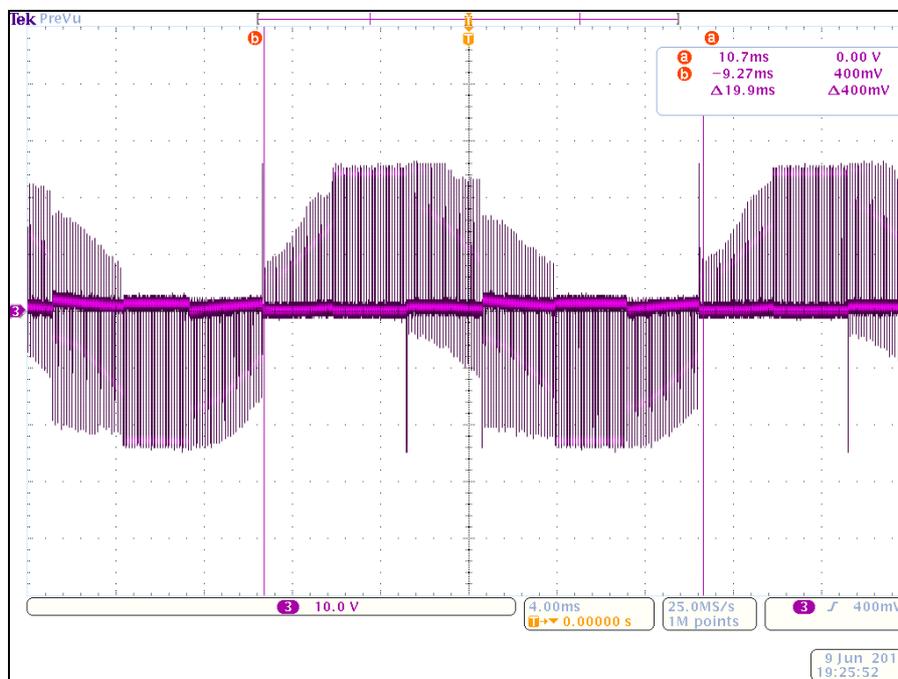


Figura 5.3 Forma de onda alimentación motor, velocidad mínima. $V_{pp} = 48v$.

$$F=50,5 \text{ Hz}, T = 19,8 \text{ ms}$$

En la Figura 5.3 se aprecia una señal de tensión senoidal de 50Hz con una $V_{pp} = 48 \text{ V}$.

En el otro extremo, cuando aceleramos al máximo, la señal que le llegaría al ESC, es una PWM de 50Hz con un tiempo en ON de 1,8ms. Podría ser de hasta 2ms, aumentando aun más la velocidad del motor, pero lo se ha

limitado por programa a estos 1,8ms para disminuir la potencia máxima entregada al motor eléctrico. Podemos apreciar lo descrito en la Figura 5.4.

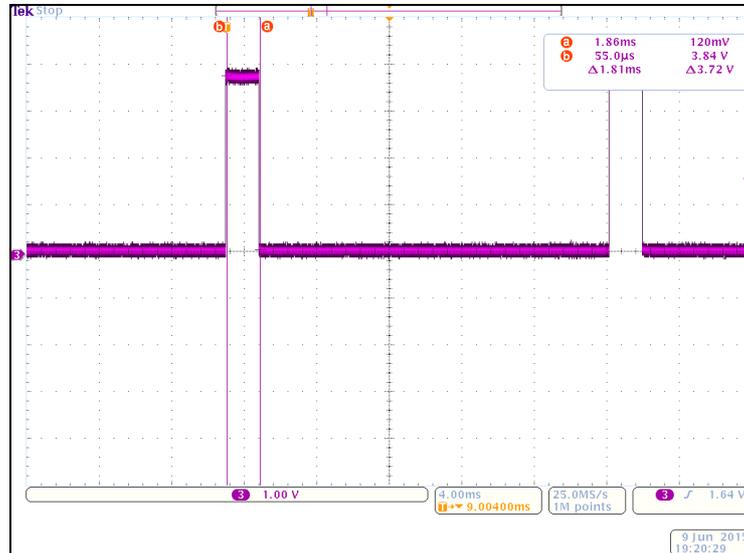


Figura 5.4 Señal PWM Velocidad máxima. $T = 20 \text{ ms}$. $T_{ON} = 1,81 \text{ ms}$, $T_{OFF} = 18,19 \text{ ms}$, $F = 50 \text{ Hz}$.

En ese momento, la señal que le llega a cada fase del motor es la que se observa en la Figura 5.5

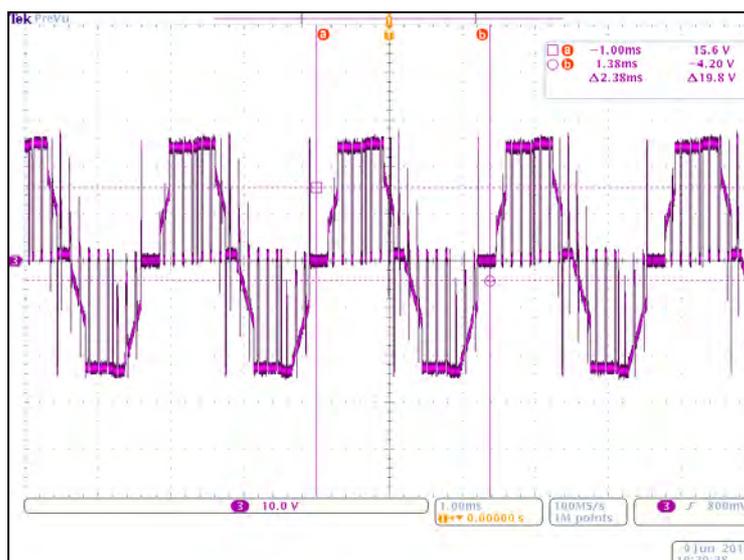


Figura 5.5 Forma de onda alimentación motor, velocidad máxima. $V_{pp} = 48 \text{ v}$.
 $T = 2,38 \text{ ms}$. $F = 420 \text{ Hz}$.

Las características técnicas del ESC nos indican que la señal de salida del ESC hacia cada una de las fases del motor, es una señal PWM con frecuencia portadora de 8 kHz y valor de pico el de la batería que lo alimenta (despreciando la caída de tensión en los interruptores electrónicos). Si ampliamos la base de tiempos del osciloscopio, podemos observar que efectivamente se trata de una señal portadora de dicha frecuencia *Figura 5.6*.

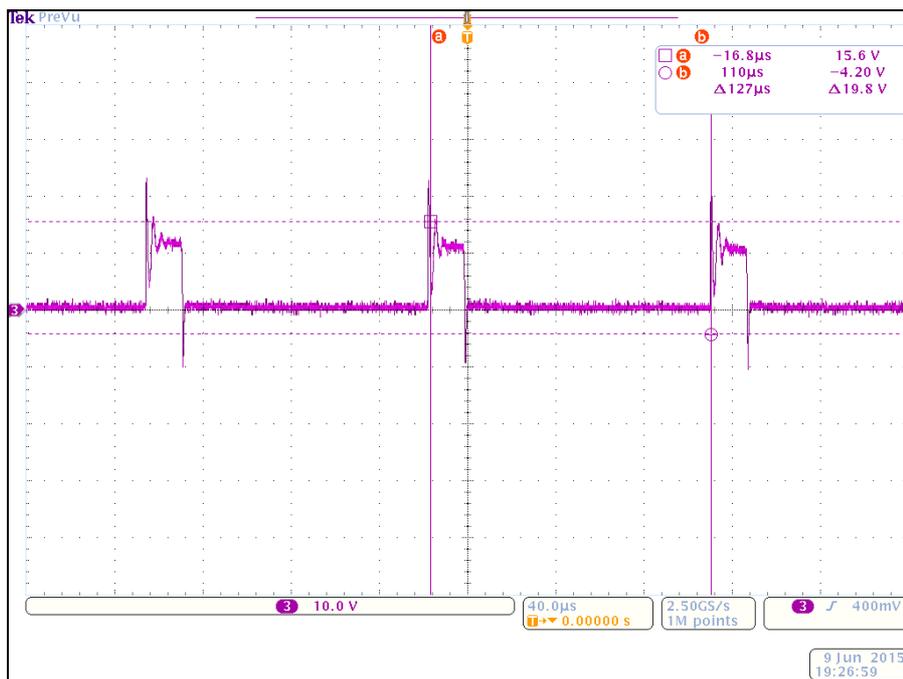


Figura 5.6 PWM de salida del ESC hacia el motor, detalle de frecuencia portadora. $T=125 \mu s$. $F = 8 \text{ kHz}$



5.2 Consumo medio, autonomía teórica.

La autonomía del longboard, depende directamente del consumo eléctrico del mismo. A su vez, el consumo eléctrico del longboard depende directamente de la velocidad a la que se desplaza, del peso del piloto, del coeficiente de rozamiento con el terreno y de la pendiente del suelo por el que se circule. Por lo que la autonomía variará en función de todos estos factores, no habiendo una autonomía fija y constante.

Para hacer un cálculo estimado, se tomará como referencia los consumos eléctricos a diferentes velocidades, siempre en terreno llano.

Para la realización de esta prueba, se ha tomado como referencia un espacio totalmente llano, asfaltado, de 100m de longitud, tomándose los datos de consumo medio de corriente del longboard y el tiempo para diferentes velocidades constantes.

Con estos datos tomados, se calcula la velocidad exacta durante esos 100 metros, que junto con el consumo de corriente medido, nos permite calcular el tiempo de autonomía para ese consumo/velocidad, ya que sabemos la capacidad de la batería, calculando con ello la autonomía teórica en esas condiciones.

Se toman 5 medidas de tiempo y consumo de corriente para cada prueba con la velocidad seleccionada, se hace la media y los resultados son los mostrados en la Tabla 5.1.

Tiempo en 100 m	Consumo (Amp)	Velocidad km/h	Horas autonomía	km autonomía
111	1,03	3,24	7,77	25,19
80	1,41	4,50	5,67	25,53
46	2,50	7,83	3,20	25,04
34	4,20	10,59	1,90	20,17
26	8,00	13,85	1,00	13,85
20	30,00	18,00	0,27	4,80

Tabla 5.1 Obtención datos reales consumo Vs Velocidad



En la Figura 5.7 se puede ver la representación gráfica de la autonomía en función de la velocidad de desplazamiento.

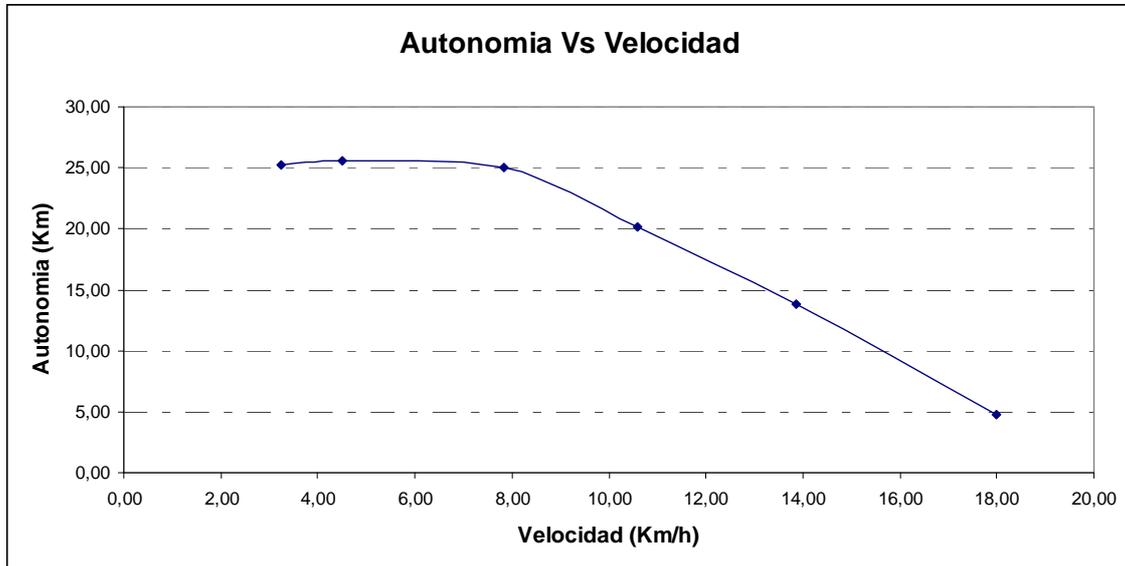


Figura 5.7 Representación de autonomía Vs Velocidad.

Analizando la Figura 5.7 puede verse que en la autonomía cae en función del aumento la velocidad, apreciándose que la zona de mayor autonomía se da para velocidades comprendidas entre 4 km/h y 10 km/h, que son las velocidades de circulación lógicas para este tipo de vehiculo en uso urbano.

5.3 Autonomía real obtenida.

Tras decenas de pruebas de corta duración para probar y ajustar la parte mecánica y la parte electrónica, una vez terminadas dichas pruebas de ajuste, se ha probado la autonomía real del longboard rodando en pista abierta.

- Lugar de la prueba: Madrid Río, Matadero de Madrid, Paseo de la Chopera 15.
- Posicionamiento GPS 40.395420, -3.701029
- Fecha de la prueba, 16/05/2015
- Hora de la prueba 23:00h
- Temperatura: 22°C
- Humedad relativa 35%
- Altitud de la prueba 630m

Se trata de una pista bien asfaltada, bastante sinuosa, con continuas subidas y bajadas de diferentes pendientes. Se eligen dos puntos separados alrededor de 1 km entre si, para hacerlos de (ida y vuelta) en varias ocasiones. En un sentido del recorrido la pendiente media es en subida (río arriba) y en el sentido contrario es en bajada, así se ha podido probar en un terreno con pendiente media cero, pero con constantes subidas y bajadas que permitirán probar a fondo las prestaciones del longboard.

La prueba se ha realizado usando los sensores de presión del pie para conducir el longboard.

Se ha elegido esa hora de la noche, debido a que durante el día el lugar esta bastante concurrido y seria imposible hacer etapas largas de funcionamiento a velocidades medias o altas.

En la Figura 5.8 se muestra el mapa donde esta localizado el emplazamiento donde se ha hecho la prueba. En la Figura 5.9 se muestra una foto aérea de parte del recorrido.

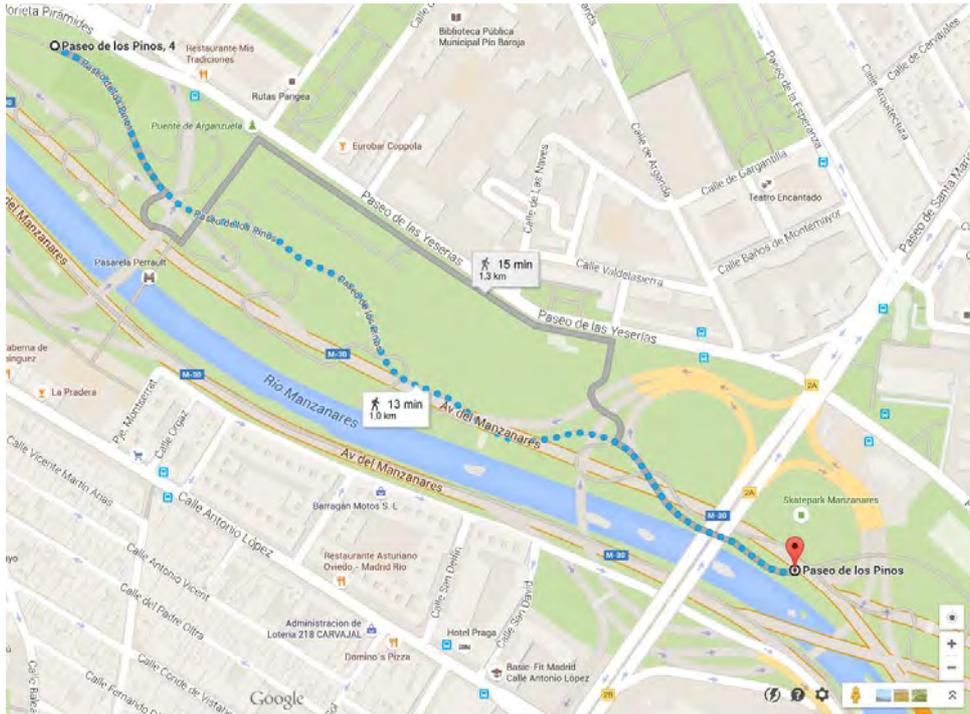


Figura 5.8 Plano del circuito de prueba de autonomía (Madrid Río)



Figura 5.9 Foto del circuito de prueba de autonomía (Madrid Río)

Para la obtención de los datos de la prueba, se ha usado una aplicación de Smartphone llamada “Sport Tracker” que mide, mediante GPS, los parámetros de velocidad, distancia recorrida, altura, y posicionamiento GPS en cada momento, haciendo una toma de datos permanente durante el tiempo de la prueba, aplicación usada normalmente para la practica de deportes como ciclismo, footing, patinaje... etc.



Figura 5.10 APP utilizada para la obtención de los datos de prestaciones en circuito abierto

Los resultados obtenidos en la prueba han sido los siguientes:

- Distancia total recorrida: 10,18 km
- Velocidad media de la prueba 14,5 km/h
- Velocidad máxima obtenida, 30km/h (cuesta abajo)

La prueba se inició con la batería cargada al 100%, con un voltaje en vacío de 25,2 V, que es el máximo al que se pueden cargar estas baterías, ya que cada celda puede ser cargada hasta 4,2 V, y al haber 6 celdas, el total suman 25,2 V.

Cuando terminó la prueba, la tensión medida en vacío en la batería fue de 22,9V, 0,7V por encima del mínimo, que sería 22,2V (3,7 V por celda), se estimó que aun le quedaba una carga en la batería del 20%, lo cual hubiera permitido hacer una distancia de unos 2 km mas antes de que se agotara totalmente la batería, quedando una autonomía real total de unos 12km.

Revisando los datos de autonomía teórica calculada cuando se seleccionó la batería, se comprueba que los resultados obtenidos están muy cerca de lo calculado, que fue de 12,6 km.

En el anexo 10, se pueden ver con más en detalle los datos de la prueba de autonomía realizada.

Se realiza una segunda prueba en el mismo emplazamiento. Esta prueba trata obtener la autonomía total de manera práctica, es decir, hasta que se agote la batería.

Los resultados obtenidos en la prueba han sido los siguientes:

- Distancia total recorrida: 16,04 km
- Velocidad media de la prueba 13 km/h
- Velocidad máxima obtenida, 24 km/h

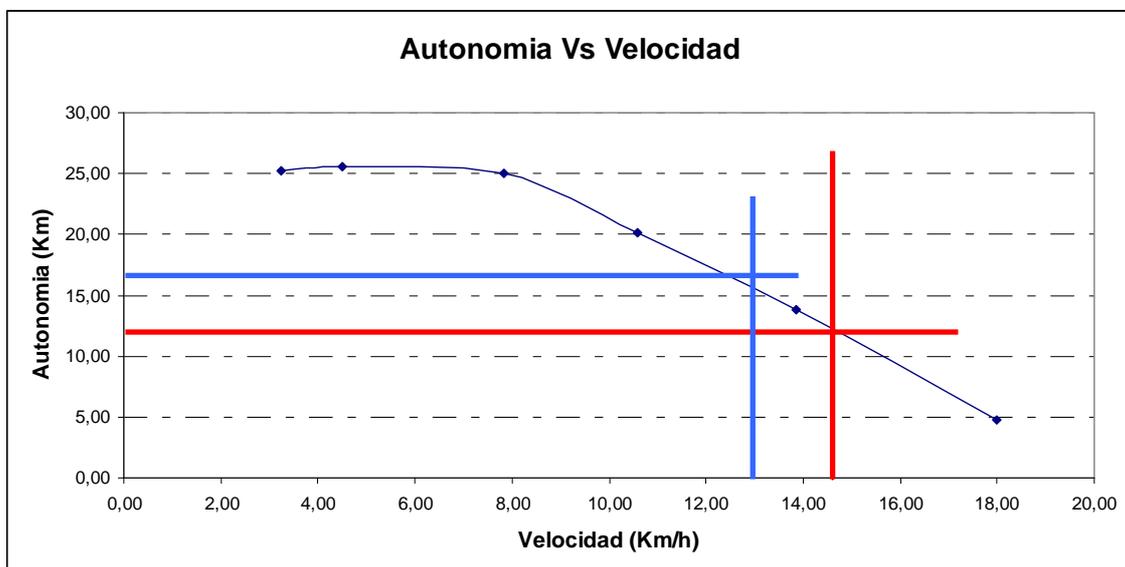


Figura 5.11 Comparación de la autonomía teórica con la obtenida en las pruebas en campo abierto.



En la Figura 5.11 se ha representado sobre la grafica de autonomía teórica, los datos obtenidos en las dos pruebas en circuito de obtención de autonomía. Se puede comprobar que los resultados obtenidos en las pruebas reales de autonomía están muy próximos a los calculados teóricamente.

5.4 Sensaciones al conducirlo

Una de los resultados más importantes de este proyecto es la sensación que transmite el longboard al conductor que lo utiliza. En general el longboard se maneja de una forma sencilla, y la sensación de control y seguridad que transmite es elevada. Los diferentes pilotos que han probado el longboard, personas de diferentes edades y perfiles (desde los 6 a los 50 años), han sido capaces de llevarlo con seguridad a los pocos minutos de empezar a usarlo, lo cual es una garantía de que se trata de un vehiculo útil y amigable, lo que animara considerablemente a su uso frecuente, razón principal de su diseño y construcción.



Capítulo 6. Conclusiones y trabajos futuros.

6.1 Conclusiones.

Basándose en las especificaciones de diseño propuestas en el capítulo 3, el resultado final del diseño, construcción y prueba del longboard eléctrico, ha sido la creación de un vehículo, a partir de un longboard Standard, que ha sido motorizado eléctricamente, añadiéndole todos y cada uno de los componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos necesarios para su funcionamiento.

El motor utilizado ha sido un motor DC *Brushless* (*sin escobillas*), trifásico sin escobillas con una potencia máxima de 2.400W, de los cuales solo utilizamos 1.000W para la propulsión del longboard eléctrico.

La batería utilizada es una batería de li-ion con 8.000 mA/h de capacidad máxima y 6 celdas, que le dan una tensión nominal de 22,2 V.

Con la batería utilizada, la autonomía real conseguida ha sido, en función de la velocidad a la que circulemos, entre 12 km y 24 km, en terreno llano y con un conductor de 90 kg de peso.



La velocidad máxima que nos permite el desarrollo de transmisión seleccionado es de 25 km/h

El longboard tiene tracción a las dos ruedas traseras, con embrague de fricción para facilitar la maniobra de giro.

La transmisión mecánica elegida y utilizada es una transmisión por correas dentadas y poleas metálicas.

Se ha diseñado con la electrónica de control para tener:

- Posibilidad de controlarlo con mando a distancia por radio frecuencia, con las funciones de acelerador, freno y control de velocidad.
- Posibilidad de regulación por sensores de pisada en la tabla, con las funciones de acelerador y freno.
- Posibilidad de regulación del límite de velocidad máxima deseada del longboard. Actuando sobre un potenciómetro variamos el límite de velocidad máxima entre 3 km/h y 25 km/h.
- Posibilidad de regulación de la aceleración del longboard eléctrico. Variando la posición de un potenciómetro se dota de mayor o menor aceleración al longboard.
- Posibilidad de regulación de deceleración máxima del longboard, fijando dicha deceleración máxima mediante la variación de la posición de un potenciómetro.
- La electrónica de control elegida para la gestión del longboard esta basada en el sistema Arduino.



6.2 Mejoras sobre la base existente.

Miniaturización del sistema electrónico. El proyecto se ha basado en la placa Arduino UNO, pensando en futuras ampliaciones, por lo que la gran cantidad de entradas y salidas que actualmente están libres pueden ser usadas. En el supuesto que no se necesitaran más entradas y salidas, se podrán perfectamente trabajar con placas de Arduino NANO, cuyo tamaño es sensiblemente menor, pudiendo reducirse considerablemente el tamaño de la caja que contiene los elementos electrónicos.

Ruedas de goma más altas y blandas. Una de las mejoras consistiría en adaptar al longboard ruedas de goma más blandas y altas, a poder ser neumáticas, para que absorban las vibraciones que transmite el terreno a la tabla y a su vez a los pies del conductor, ya que cuando se utiliza cierto tiempo por superficies rugosas, las vibraciones hacen la conducción ligeramente incomoda. La adopción de este tipo de ruedas también haría el longboard mucho más silencioso y seguro, ya que las ruedas más altas aumentan la distancia libre al suelo, evitando que el longboard choque o golpee con obstáculos de tamaño pequeño que pueda haber en el camino.

Motor más pequeño. El motor instalado es excesivamente potente para esta aplicación, de hecho se está usando al 40% de su potencia máxima, siendo limitado por la alimentación que recibe y por el programa del microprocesador que lo gobierna.

Se podría sustituir por un motor más pequeño, ligero y barato, aunque debido a su régimen de giro más elevado podría complicar la parte de la transmisión mecánica y reducir la eficiencia electro-mecánica del mismo.

Tracción a una sola rueda. Se ha probado en este longboard a haciéndolo trabajar con tracción a una sola rueda (soltando del todo la tensión sobre el embrague de fricción) y apenas se ha encontrado diferencia de



comportamiento dinámico respecto a la tracción a las dos ruedas actuales, siendo mas sencillo de implementar la parte mecánica.

6.3 Trabajos futuros

Uno de los objetivos principales del proyecto es que este longboard sea una plataforma para que futuros alumnos puedan seguir haciéndola crecer.

Algunas ideas para continuar e investigar con el longboard, como por ejemplo:

Medidor de velocidad: Implementando un sistema de medición en alguna de las ruedas, para tomar lectura de esta medición y así poder leer y comprobar la velocidad real a la que se circula. También se podría realimentar dicha velocidad para conseguir fijar una velocidad real de crucero.

Función de calculo de autonomía / Estado de carga de baterías.

Implementar un sistema de medición de carga de las baterías para que el conductor pueda saber en cada momento su estado. De la misma forma se puede diseñar por programa una rutina que estime la autonomía restante en función de dicha carga y del consumo medio de los últimos km.

Sistema de frenado eléctrico. Se podría implementar un sistema de forma que cuando se pulse el botón de freno se active un sistema de frenado basado en resistencias (disipativo).

Frenada regenerativa. Un paso más allá sería el diseñar e implementar un sistema de frenado que devolviera la energía a la batería.



Control por voz. Se podría diseñar un sistema de comunicación entre longboard y conductor mediante el cual y por órdenes de voz, pueda ser controlarlo.

Control por aplicación móvil. Mediante el diseño de una aplicación en Android y comunicación Bluetooth, se podría usar un Smartphone para controlar el longboard, abriéndose un gran abanico de posibilidades.



Capítulo 7. Presupuesto.

7.1 Presupuesto base mecánica.

Base Mecánica	Nº Unid.	Precio unitario	Total
Long board, HAWAII BAMBOO Oxelo	1	80,50	80,50
Rodamiento Motor	1	5,60	5,60
Rodamientos poleas conducidas	2	2,30	4,60
Poleas conductoras (motor)	2	3,98	7,96
Poleas conducidas (ruedas)	2	8,87	17,74
Correas	2	10,02	20,04
Soporte motor	1	3,00	3,00
Horas soporte motor	5	30,00	150,00
Tornillos sujeccion soporte motor	5	0,20	1,00
Tuercas sujeccion soporte motor	5	0,05	0,25
Tornillos sujeccion poleas conducidas	6	0,20	1,20
tuercas sujeccion poleas conducidas	6	0,05	0,30
Soporte metalicobateria	1	3,00	3,00
Horas fabricacion soporte Bateria	1	30,00	30,00
Tornillos sujeccio soporte bateria	4	0,20	0,80
tuercas sujeccion soporte bateria	4	0,05	0,20
Horas torno	3	60,00	180,00
Otros, pequeño material auxiliar	1	5,00	5,00
		Total base	511,19
		IVA (21%)	107,35
		Total con IVA	618,54

Tabla 7.1 Presupuesto de la base mecánica



7.2 Presupuesto de la electrónica de potencia.

Electronica de potencia	Nº Unid.	Precio unitario	Total
Motor Electrico DC Brushless	1	70,34	70,34
Regulador motor ESC	1	23,45	23,45
Bateria	1	88,40	88,40
Otros, pequeño material auxiliar	1	5,00	5,00
		Total base	187,19
		IVA (21%)	39,31
		Total	226,50

Tabla 7.2 Presupuesto de la electrónica de potencia

7.3 Presupuesto de la electrónica de control.

Electronica de control	Nº Unid.	Precio unitario	Total
Arduino UNO	2	5,06	10,12
Plusadores antibandalicos acelerador y freno	2	4,43	8,86
Potenciómetros 10K lineales	2	1,89	3,78
Regulador tension LM7805	1	0,50	0,50
Regulador tension LM7809	1	0,50	0,50
Resistencias 470 Ohm	2	0,01	0,02
Caja de plastico	1	7,76	7,76
Condensador 0,33uF	2	0,11	0,22
Condensador 0,1uF	2	0,11	0,22
Condensador 1000uF	1	0,23	0,23
Interruptor palanca	1	3,60	3,60
Receptor RF	1	3,80	3,80
Cableado variado	1	10,00	10,00
Conectores hembra para cable tipo banana	4	2,54	10,16
conectores banana macho	4	1,67	6,68
Conectores RCA hembra panel	3	1,23	3,69
Conectores RCA macho	3	1,45	4,35
Mando RF	1	11,38	11,38
Placa baquelita de tiras	1	3,47	3,47
Canaleta	1	2,22	2,22
Otros, pequeño material auxiliar	1	5,00	5,00
		Total base	96,56
		IVA (21%)	20,28
		Total	116,84

Tabla 7.3 Presupuesto de la electrónica de control



7.4 Presupuesto de la ingeniería.

INGENIERIA	Nº Unid.	Precio unitario	Total
Horas de ingeniería (2 meses, 8h/día)	300	40,00	12000,00
		Total base	12000,00
		IVA (21%)	2520,00
		Total	14520,00

Tabla 7.4 Presupuesto de la ingeniería

7.5 Presupuesto total del proyecto longboard eléctrico.

TOTAL LONGBOARD	Nº Unid.	Precio unitario	Total
Base mecanica	1	511,19	511,19
Electronica de potencia	1	187,19	187,19
Electronica de control	1	96,56	96,56
Ingenieria	1	12000,00	12000,00
		Total base	12794,94
		IVA (21%)	2686,94
		Total	15481,88

Tabla 7.5 Presupuesto total del proyecto longboard eléctrico.



Capítulo 8. Anexos.

8.1 Anexo 1: Diagrama de bloques del sistema.

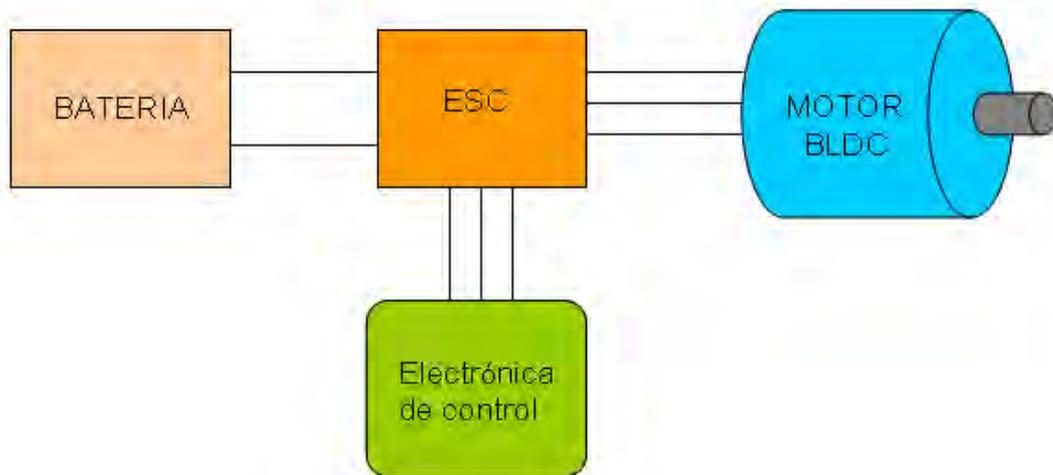


Figura 8.1 Diagrama de bloques del sistema

8.2 Anexo 2: Diagrama de interconexión entre bloques.

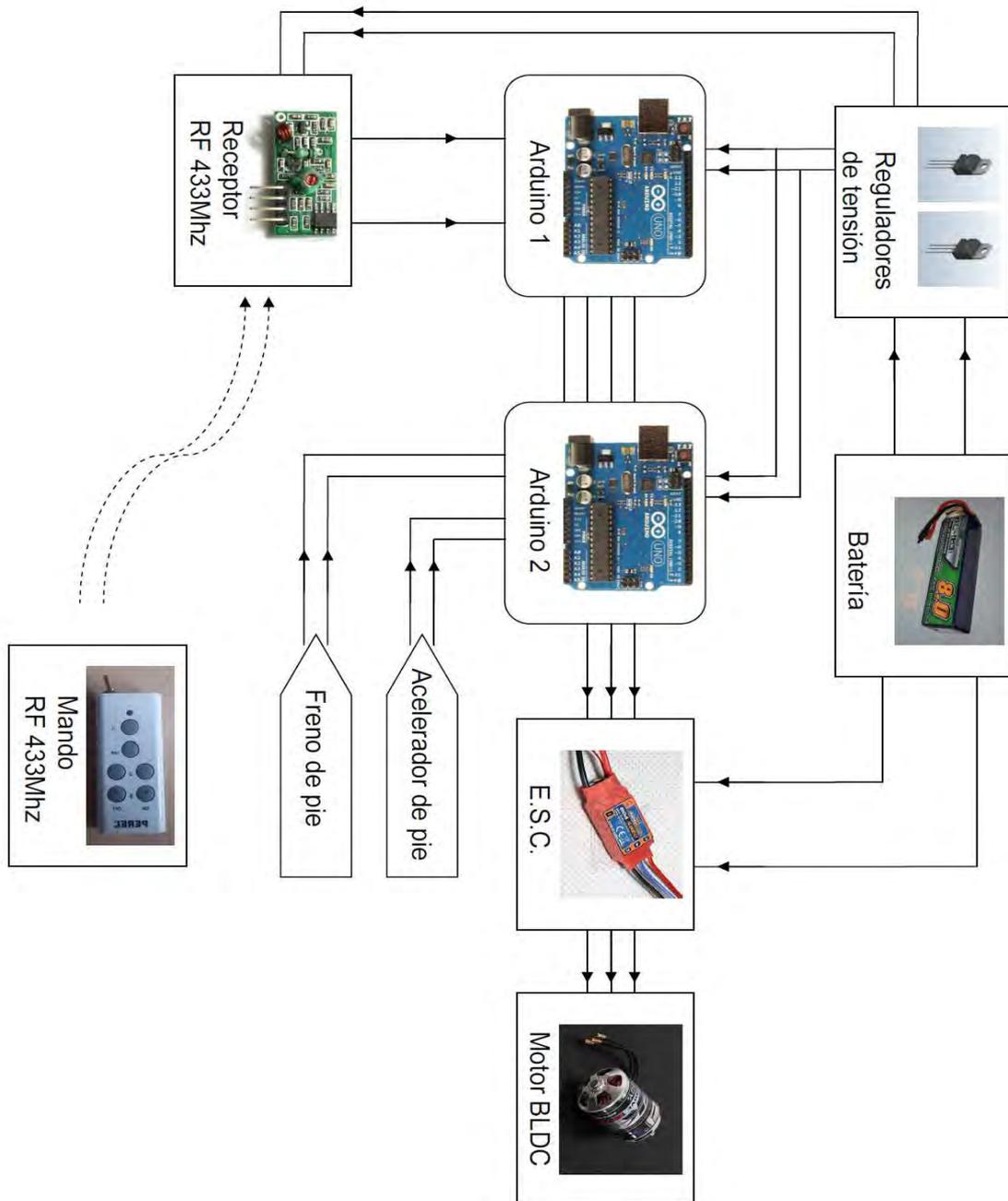


Figura 8.2 Diagrama de bloques del sistema. Interconexión entre la electrónica de control y el resto de bloques del sistema.

8.3 Anexo 3: Esquema eléctrico del bloque electrónica de control.

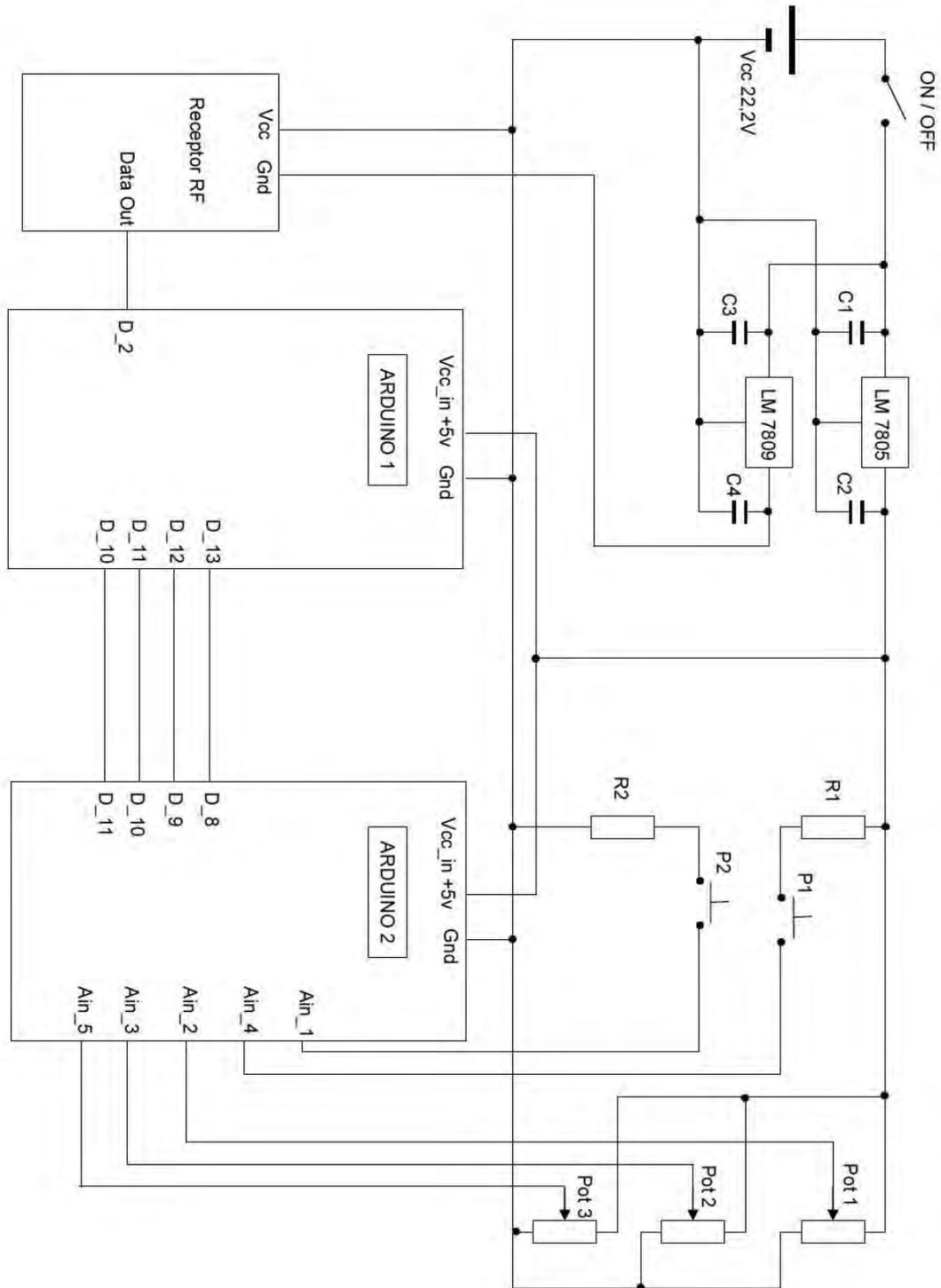


Figura 8.3 Esquema eléctrico del bloque electrónica de control



Listado de componentes del esquema del anexo 3:

Arduino 1, Arduino 2:	Placa Arduino UNO
Vcc:	Bateria Li-Ion 6s (22,2V)
Receptor RF:	Receptor Standard radio frecuencia 433Mhz
C1, C3:	0,33 μ F
C2, C4:	0,1 μ F
R1, R2:	470 Ohm
Pot 1, Pot 2, Pot 3:	Potenciómetro 10K lineal.
• Pot 1:	Limitador de velocidad
• Pot 2:	Rampa aceleración.
• Pot 3:	Rampa deceleración.
P1, P2:	Pulsador
• P1	Freno
• P2	Acelerador
LM7805:	Regulador de tensión LM7805 (Arduinos)
LM7809:	Regulador de tensión LM7809 (receptor RF)
On/Off:	Interruptor palanca alta intensidad

8.4 Anexo 4: Arduino UNO.

Introducción general a una placa Arduino.

Mirando a la placa desde la parte de superior, el esquema de lo que se muestra en la Figura 8.4 puedes ver (los componentes de la placa con los que puedes interactuar en su uso normal están resaltados):

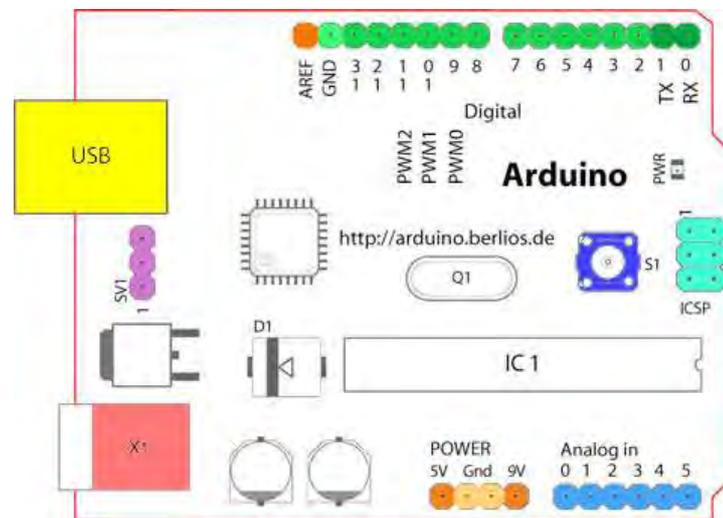


Figura 8.4 Detalle de pines placa Arduino UNO

Empezando según las agujas del reloj:

- Terminal de referencia analógica (naranja)
Tierra digital (verde claro)
Terminales digitales 2-13 (verde).
- Terminales digitales 0-1/ E/S serie - TX/RX (verde oscuro) - Estos pines no se pueden utilizar como e/s digitales (`digitalRead()` y `digitalWrite()`) si se está utilizando comunicación serie (por ejemplo `Serial.begin()`).
- Botón de reinicio - S1 (azul oscuro)
- Programador serie en circuito "In-circuit Serial Programmer" o "ICSP" (azul celeste).



- Terminales de entrada analógica 0-5 (azul claro)
- Terminales de alimentación y tierra (alimentación: naranja, tierras: naranja claro)
Entrada de alimentación externa (9-12VDC) - X1 (rosa)
- Selector de alimentación externa o por USB (coloca un jumper en los dos pines mas cercanos de la alimentación que quieras) - SV1 (púrpura).
En las versiones nuevas de Arduino la selección de alimentación es automática por lo que puede que no tengas este selector.
USB (utilizado para subir programas a la placa y para comunicaciones serie entre la placa y el ordenador; puede utilizarse como alimentación de la placa) (amarillo), [6]

8.5 Anexo 5: Diagrama de flujo del programa de Arduino 1, receptora RF.

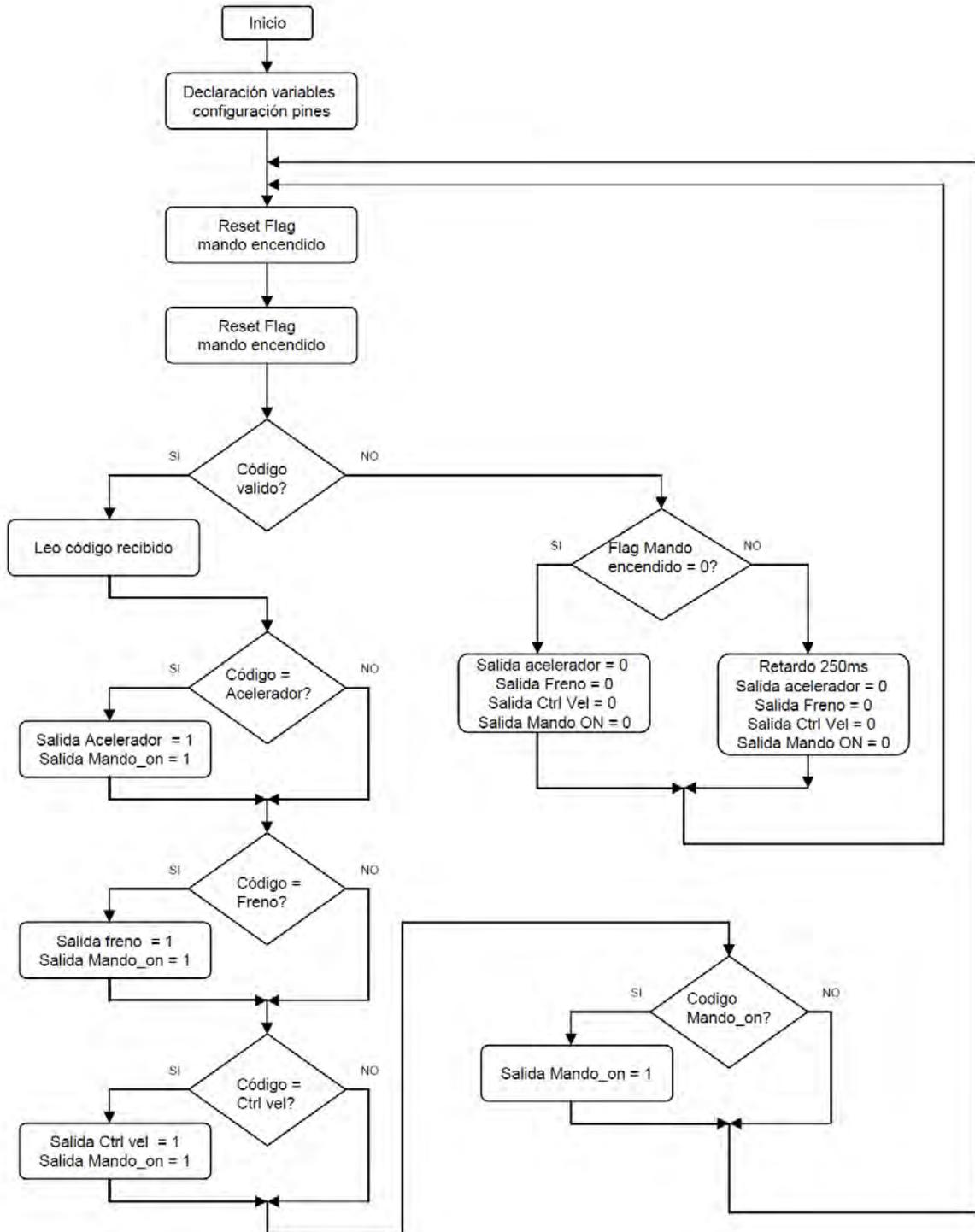


Figura 8.5 Diagrama de flujo del programa de la placa Arduino 1, receptora RF.

8.6 Anexo 6: Diagrama de flujo de la placa principal Arduino 2.

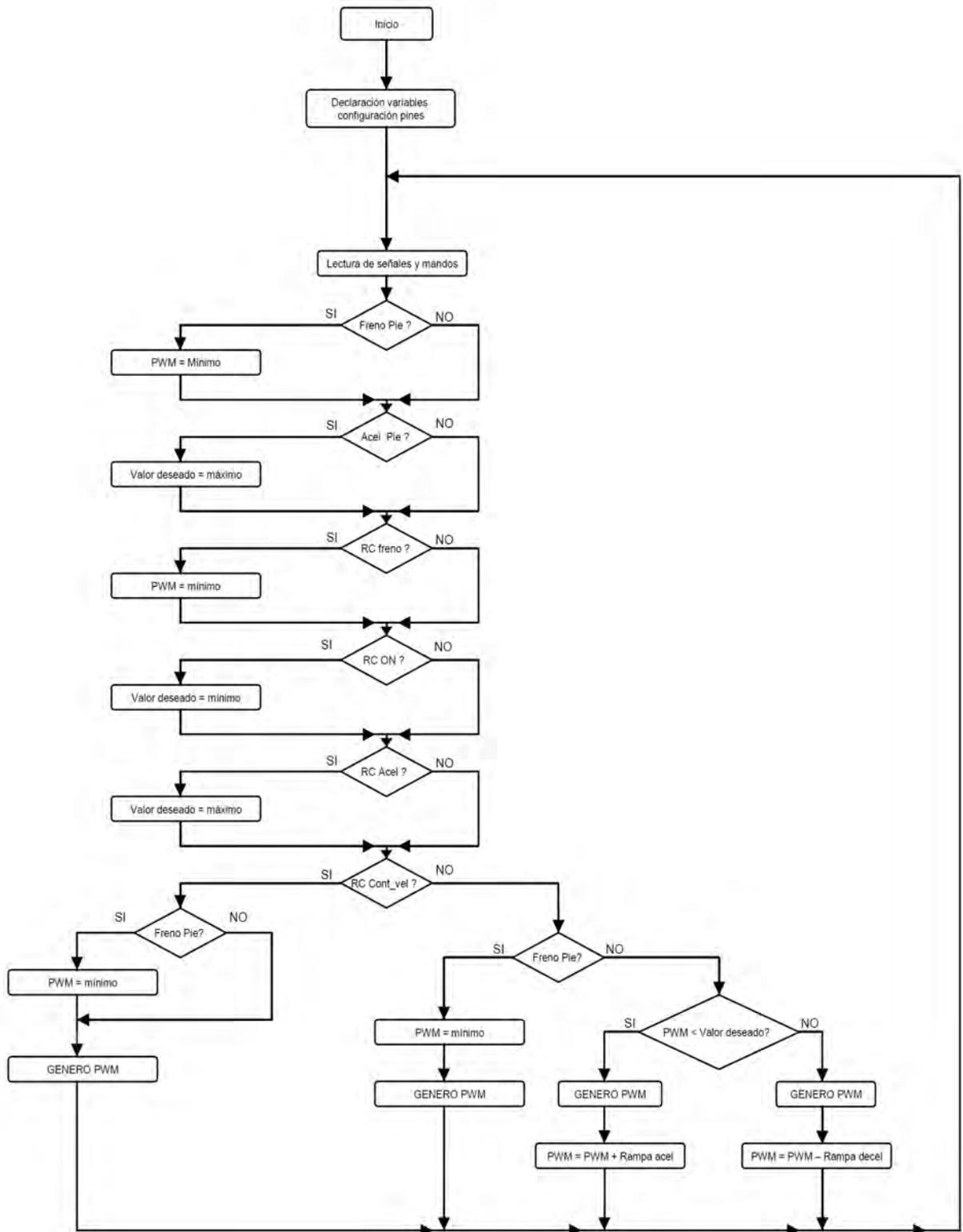


Figura 8.6 Diagrama de flujo de la placa principal Arduino 2.



8.7 Anexo 7: Código de programa Arduino 1, receptora.

Al usar dos placas Arduino diferentes, se necesitan dos códigos de programación diferentes, uno por placa.

Código de programación de la placa ARDUINO 1 que se encarga de la gestión del receptor de radiofrecuencia:

```
*****  
*****  
  
#include <RCSwitch.h>           // incluimos RCSwitch  
RCSwitch mySwitch = RCSwitch(); // llamada a la función RSCwitch  
long int acelerador = 350015;    // Código numérico botón de acelerador  
long int freno = 350012;        // Código numérico botón de freno  
long int control_vel = 350159;   // Código numérico botón Control_vel  
long int mando_on = 349964;     // Código numérico recibido al encender el mando  
long int value = 0;             //Variable Long int para guardar el código recibido.  
int mandoencendido = 0;        // Flag indica que el mando esta encendido o no.  
  
void setup()  
{  
  mySwitch.enableReceive(0);    // Chequeamos si hay código correcto recibido  
  pinMode (13, OUTPUT);        // Pin 13 como salida acelerador  
  pinMode(12, OUTPUT);        // Pin 12 como salida freno  
  pinMode (11, OUTPUT);        // Pin 11 como salida manteniendo la velocidad  
  pinMode (10, OUTPUT);        // Pin 13 como salida mando esta encendido.  
}  
void loop()  
{  
  mandoencendido = 0;         // reset de flag mandoencendido  
  
  if (mySwitch.available())   // Pasa el if si se recibe un código valido.  
  {  
    mandoencendido = 0;       // Reseteo el flag de mandoencendido.
```



```
value = 0; // Reseteo la variable código recibido.
long int value = mySwitch.getReceivedValue(); // Guardo en value el código recibido.

if (value == acelerador) // pasa por aquí si estamos acelerando
{
digitalWrite(13, HIGH); // ponemos el pin de acelerador en HIGH, resto en LOW
digitalWrite(12, LOW);
digitalWrite(11, LOW);
digitalWrite(10, HIGH); // ponemos el pin de MANDO_ON en HIGH
mandoencendido = 1;
}
if (value == freno)
{
digitalWrite(13, LOW);
digitalWrite(12, HIGH); // ponemos el pin de freno en HIGH, resto en LOW
digitalWrite(11, LOW);
digitalWrite(10, HIGH); // ponemos el pin de MANDO_ON en HIGH
mandoencendido = 1;
}
if (value == control_vel)
{
digitalWrite(13, LOW);
digitalWrite(12, LOW);
digitalWrite(11, HIGH); // ponemos el pin de control velocidad en HIGH, resto en
LOW
digitalWrite(10, HIGH); // ponemos el pin de MANDO_ON en HIGH
mandoencendido = 1;
}
if (value == mando_on)
{
digitalWrite(13, LOW);
digitalWrite(12, LOW);
digitalWrite(11, LOW);
digitalWrite(10, HIGH);
mandoencendido = 1; // ponemos el pin de MANDO_ON en HIGH
```



}

value = 0; // reseteamos la variable value

mySwitch.resetAvailable(); // reseteamos la función de recepción de código.

}

else if (mandoencendido == 0) //pasa por aquí si el mando esta apagado,

{

digitalWrite(13, LOW); // reseteamos todo

digitalWrite(11, LOW);

digitalWrite(10, LOW);

digitalWrite(12, LOW);

}

delay (250); // esperamos 250 milisegundos

digitalWrite(13, LOW);

digitalWrite(11, LOW);

digitalWrite(10, LOW);

digitalWrite(12, LOW);

}



8.8 Anexo 8: Código de programa Arduino 2, principal

```
*****  
*****  
  
const int pinacelerador = A1; // Asigno la entrada Analógica A1 para el acelerador de la  
tabla  
const int pinlimitador = A2; // Asigno la entrada Analógica A2 para el potenciómetro que  
me limita la velocidad  
const int pinrampa = A3; // Asigno la entrada Analógica A3 para el potenciómetro que  
me dice la rampa de aceleración  
const int pinfreno = A4; // Asigno la entrada Analógica A4 para el freno de la tabla  
const int pinrampadece = A5; // Asigno la entrada Analógica A3 para el potenciómetro  
que me dice la rampa de deceleración  
  
const int pin_freno_mando = 9; // Entrada que lee si estamos frenando con el  
mando RF  
const int pin_acelerador_mando = 8; // Entrada que lee si estamos acelerando con el  
mando RF  
const int pin_controlvel_mando = 10; // Entrada que lee si estamos con el control  
velocidad activado con el mando RF  
const int pin_mando_on = 11; // Entrada que lee si el mando RF esta encendido.  
  
int acelerador = 0; //  
int Valor_deseado = 0;  
int PWM_ON = 1030; // mínimo acelerador 1.03ms  
int limite = 0;  
int valorlimite = 0;  
int limitevalue = 0;  
int lecturarampa = 0;  
int valorrampa = 0;  
int rampavalue = 0;  
int freno = 0;  
int frenovalue = 0;  
int ONminimo = 1030;
```



```
int valorrampadece = 0;
int rampadecevalue = 0;
int ONmaximo = 1800; // máximo acelerador 1,8ms)
int limitadorminimo = 1150;
int mando_freno = 0;
int mando_acelerador = 0;
int mando_controlvel = 0;
int mando_mando_on = 0;
int tiempo = 10000; (10 ms para temporizaciones)

void setup() {
  pinMode(13, OUTPUT);
  pinMode(8, INPUT);
  pinMode(9, INPUT);
  pinMode(10, INPUT);
  pinMode (11, INPUT);
}

void loop() {
  acelerador = analogRead(pinacelerador); // leo si estamos acelerando en la tabla
  valorlimite = analogRead(pinlimitador); // leo el valor del potenciómetro limitador
  velocidad
  valorrampa = analogRead(pinrampa); // leo el valor del potenciómetro rampa
  aceleración
  freno = analogRead(pinfreno); // leo si estamos frenando en la tabla
  valorrampadece = analogRead(pinrampadece); // leo el valor del potenciómetro rampa
  de deceleración

  limitevalue = map(valorlimite, 0, 1023, limitadorminimo, ONmaximo); // asignación de
  limites del acelerador
  rampavalue = map(valorrampa, 0, 1023, 1, 6); // lectura de la rampa deseada limites
  mínimo y máximo
  Valor_deseado= map(acelerador, 0, 1023, ONminimo, limitevalue); //limites del
  acelerador
  frenovalue = map(freno, 0, 1023, 1, 50); // detecto si esta el freno accionado o no.
```



*rampadecevalue = map(valorrampadece, 0, 1023, 1, 6; // asignación numérica de
rampa deceleración entre 1 y 6*

*mando_acelerador = digitalRead (pin_acelerador_mando); // leo si estamos acelerando
con el mando RF*

*mando_freno = digitalRead(pin_freno_mando); // leo si estamos frenando con el
mando RF*

*mando_controlvel = digitalRead (pin_controlvel_mando); // leo si estamos manteniendo
velocidad con el mando RF*

*mando_mando_on = digitalRead (pin_mando_on); // leo si esta encendido el mando
RF*

if (mando_mando_on == HIGH) // Leo si el mando esta encendido

```
{  
  Valor_deseado= ONminimo;  
}
```

if (mando_freno == HIGH) // leo si estamos frenando desde el mando

```
{  
  frenovalue = 0;  
}
```

if (mando_acelerador == HIGH)// leo si estamos acelerando desde el mando

```
{  
  Valor_deseado = limitevalue;  
}
```

if (mando_controlvel == HIGH)

```
{  
  frenovalue = map(freno, 0, 1023, 1, 50); //leo si estamos pulsando el freno de la tabla  
  if (frenovalue == 1) //Freno activado?  
  {  
    PWM_ON = ONminimo; // si estamos frenando, paso a PWM minima, si no estamos  
    frenando, la PWM será la que haya, para poder hacer control de velocidad  
  }  
}
```



```
digitalWrite(13, HIGH); // ciclo positivo de PWM para el ESC
delayMicroseconds(PWM_ON); // esperamos el tiempo en PWM ON en la velocidad
que estuviera
digitalWrite(13, LOW); // Ciclo negativo de PWM para el Esc
delayMicroseconds(tiempo); // 10ms esperando
delayMicroseconds(tiempo-PWM_ON); //10ms menos el tiempo en PWM ON
}
else // Seguimos aquí si no estamos con control de velocidad del mando
{
if (freno > 1) // si el freno esta sin activar...
{
if (PWM_ON < Valor_deseado) // pasa por aquí si estamos acelerando
{
digitalWrite(13, HIGH); // PWM on
delayMicroseconds(PWM_ON);
digitalWrite(13, LOW);
delayMicroseconds(tiempo);
delayMicroseconds(tiempo-PWM_ON);
PWM_ON = PWM_ON+rampavalue; //incrementamos el tiempo seleccionado por
rampa de aceleración para seguir acelerando
}
else // Pasa por aquí si estamos desacelerando
{
digitalWrite(13, HIGH);
delayMicroseconds(PWM_ON);
digitalWrite(13, LOW);
delayMicroseconds(tiempo);
delayMicroseconds(tiempo-Valor_deseado);
PWM_ON = PWM_ON-rampadecevalue; // decrementamos el tiempo seleccionado por
rampa deceleración para seguir decelerando
}
}
else // pasa por aquí si el freno esta activado
{
PWM_ON = ONminimo;
```



```
digitalWrite(13, HIGH);  
delayMicroseconds(ONminimo);  
digitalWrite(13, LOW);  
delayMicroseconds(tiempo);  
delayMicroseconds(tiempo-ONminimo);  
}  
}  
}
```

```
*****  
*****
```



8.9 Anexo 9: Código de programa lector de código RF

Código de programación de la rutina que lee y extrae mediante comunicación serie con el PC los códigos recibidos.

```
*****
*****
#include <RCSwitch.h>           // Incluimos librería RCswitch
RCSwitch mySwitch = RCSwitch();
void setup()
{
  Serial.begin(9600);          //habilitamos la comunicación serie con el PC, 9600 baudios
  mySwitch.enableReceive(0);    // Usamos la int (0), que es el pin #2 del Arduino
}
void loop()
{
  if (mySwitch.available()) // cumple si el dato recibido es correcto.
  {
    Serial.print("Código recibido "); // imprime los caracteres "código recibido "
    Serial.println( mySwitch.getReceivedValue() ); // imprime el valor del código leído
    mySwitch.resetAvailable(); // reseto el dato recibido.
  }
}
*****
*****
```

8.10 Anexo 10: Pruebas dinámicas.

En la Figura 8.7 se aprecia las primeras pruebas de funcionamiento dinámico del longboard. Como elemento de control se utilizó un potenciómetro de 10 Kohm unido por cable con la electrónica de control. Este potenciómetro trabaja como divisor de tensión, siendo dicha tensión la referencia de potencia deseada. Las baterías utilizadas eran dos baterías de plomo-acido de moto, de 12 Vdc cada una, instaladas en serie para tener los 24 V necesarios



Figura 8.7 Primeras pruebas dinámicas del longboard eléctrico.

Las siguientes pruebas dinámicas realizadas, de mayor distancia, se recogen en la Figura 8.8

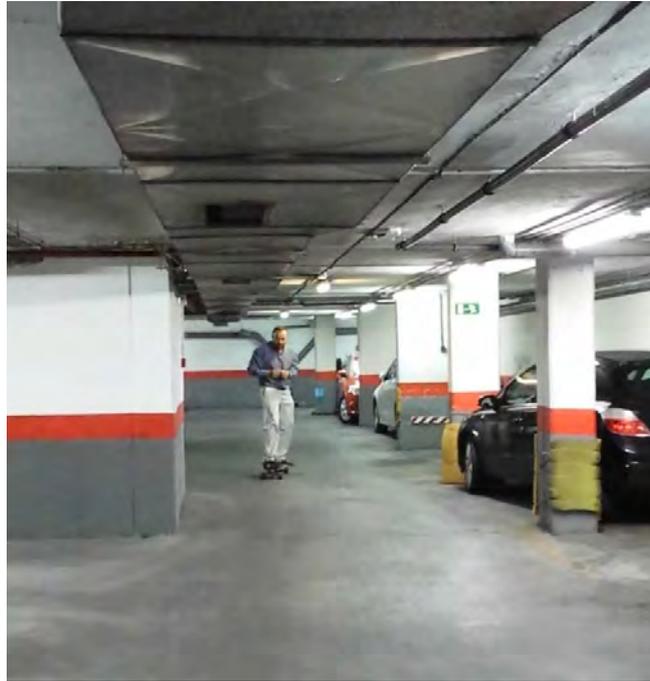


Figura 8.8 Primeras pruebas de mayor distancia con el longboard eléctrico.

En la *Figura 8.8* se muestra el ámbito en el que se han realizado el mayor número de pruebas para desarrollar las características del longboard eléctrico.

Una vez se que se consiguió ajustar la parte mecánica y eléctrica para que funcionara como se deseaba, se instaló en el longboard la batería definitiva, de una capacidad sensiblemente mayor que las baterías de prueba. El siguiente paso ha sido probarlo rodando en la calle, en tandas de dos kilómetros de recorrido.

Una vez puesto a punto, se realizaron las pruebas de autonomía de largo recorrido, pruebas que se describen a continuación:

La primera prueba se realizó en el parque de Madrid Río, zona ideal para rodar con este vehículo debido a que no hay tráfico urbano y el asfalto está en muy buenas condiciones. Debido a la gran afluencia de gente paseando y en bicicleta que suele haber en este emplazamiento, la prueba se

realizo entrada la noche para que las pruebas dinámicas pudieran ser más fiables al hacer menos paradas. Se eligió una zona del parque que tuviera subidas y bajadas, para así probar la potencia del longboard. De un kilómetro aproximadamente de recorrido, para repetir el recorrido varias veces.

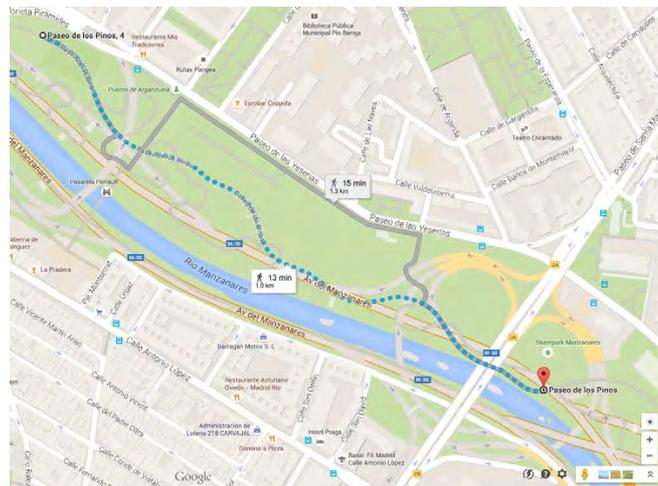


Figura 8.9 Plano recorrido prueba dinámica de autonomía



Figura 8.10 Foto aérea del recorrido prueba dinámica de autonomía

En la Figura 8.9 se puede ver un plano del entorno donde se realizó la prueba, con el recorrido realizado marcado en línea de puntos. En la Figura 8.10 se muestra una foto aérea del lugar donde se realizó la prueba de autonomía.

Mientras realizaba la prueba, se usó el programa “Sport Tracker”, aplicación que se encarga de hacer una toma permanente de datos relativos a velocidad, distancia recorrida y posición en el plano en todo momento.

Los resultados de la prueba fueron los siguientes:



Figura 8.11 Resultados resumen de la prueba de autonomía

De todos los datos que muestra el resumen de la prueba, el único dato no fiable de la Figura 8.11 es la velocidad máxima que indica (43,8 km/h), ya que fue en un momento de baja calidad de la señal GPS recibiendo un dato erróneo de posición y velocidad.

La velocidad máxima real de la prueba fue de unos 30 km/h.



Figura 8.12 Velocidad durante la prueba

En la Figura 8.12 se puede ver la velocidad medida durante los 10 km que duro la prueba.

Los primeros kilómetros se hicieron con el longboard mas limitado en velocidad punta que los últimos, donde se aumento el límite de velocidad. En la grafica se puede ver como esa velocidad aumenta en la parte final de la toma de datos.

Merece la pena destacar que en ningún momento de la prueba las prestaciones del longboard sufrieron deterioro alguno, incluso tras finalizar la prueba la potencia y velocidad del mismo podían ser las mismas que al principio de la prueba.

Al acabar la prueba, midiendo la tensión en vacío en bornes de la batería, la tensión medida fue de 22,9V (al comienzo de la misma se tenían 25,2V, el máximo admisible). Esto quiere decir, que quedaba un 20% de carga en la batería aproximadamente, por lo que se podría haber recorrido otro 20% más de distancia, llegando sin problemas a los 12 km.

La temperatura de los elementos de potencia (batería, motor y ESC) en ningún momento de la prueba se elevó por encima de temperaturas peligrosas para su buen funcionamiento.

Segunda prueba de autonomía.

Se realiza en el mismo recorrido, pero esta vez para probar la autonomía total real del longboard hasta que se agotara la batería.

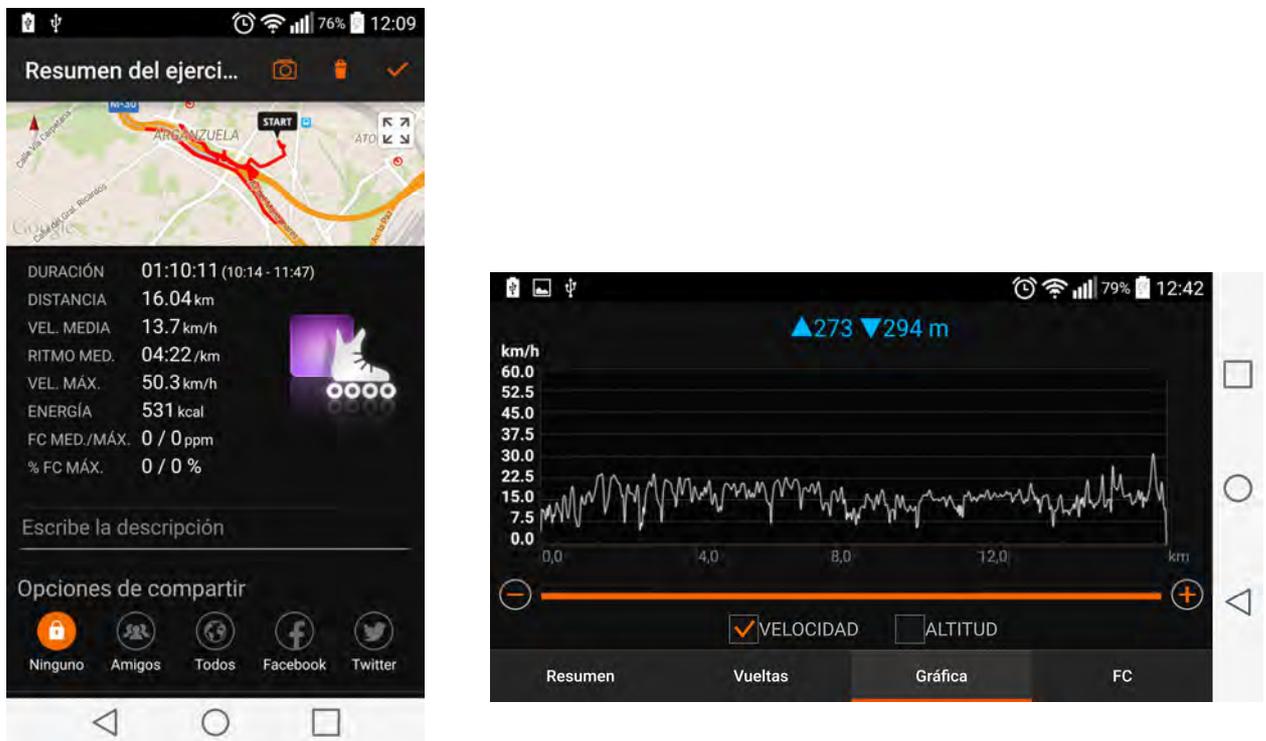


Figura 8.13 resultados de la segunda prueba de autonomía mostrados por el programa Sports tracker

Los resultados obtenidos en la segunda prueba han sido los siguientes:

- Distancia total recorrida: 16,04 km
- Velocidad media de la prueba 13,7 km/h



8.11 Anexo 11: Despiece y cotas.

Listado numerado de piezas.

- (1) Polea conducida de rueda trasera (x2)
- (2) Tornillos sujeción poleas conducidas (x6)
- (3) Rueda trasera (x2)
- (4) Rodamiento polea conducida (x2)
- (5) Eje trasero (x1)
- (6) Tuercas (x2) ruedas al eje
- (7) Tornillos Allen M6, soporte motor al eje (x3)
- (8) Tuercas M6.
- (9) Motor Eléctrico
- (10) Carcasa cilíndrica anclaje motor
- (11) Anclaje original motor
- (12) Tornillos (x4) sujeción anclaje motor aluminio original.
- (13) Rodamiento auxiliar motor
- (14) Casquillo reductor rodamiento motor
- (15) Eje auxiliar motor
- (16) Tormillos eje auxiliar (x4)
- (17) Arandela separadora polea conductora
- (18) Polea conductora (x2)
- (19) Tuerca eje motor (x2)
- (20) Prolongación eje principal motor.
- (21) Embrague de fricción
- (22) Tormillos tensores correas (x2)
- (23) Tormillos sujeción soporte motor al eje (x3)
- (24) Correas
- (25) Soporte motor
- (26) Piezas originales de fijación del eje del longboard.
- (27) Bridas de sujeción de la batería



- (28) Tornillos sujeción bridas metálicas batería
- (29) Caja eléctrica (medidas y cotas)
- (30) Placas electrónicas Arduino UNO
- (31) Receptor RF
- (32) Placa alimentación
- (33) Interruptor ON/OFF
- (34) Potenciómetros de ajuste prestaciones.
- (35) Conectores Acelerador, freno y ESC.
- (36) Borneros entrada alimentación desde batería.
- (37) Borneros salida alimentación ESC
- (38) ESC
- (39) Mando RF

Se describe a continuación cada una de las piezas que componen el longboard, mostrando también su acotado.

(1) Polea conducida de rueda trasera (x2)

Polea de aluminio marca WEDA, modelo 21 T 5 30. Se le han realizado 3 taladros de sujeción de 5 mm de diámetro, simétricamente situados en un diámetro de 36 mm. Es una polea de 30 dientes.



Figura 8.14 Polea conducida de rueda trasera.

(2) Rueda trasera (x2)

A las ruedas originales del longboard se les han practicado tres taladros paralelos al eje de la misma, taladros de 5 mm de diámetro simétricamente situados en un diámetro de 36 mm.



Figura 8.15 rueda trasera del longboard

(3) Tornillos de sujeción de poleas conducidas (x6)

Tornillos de métrica 5 x 40 mm, con cabeza de tipo Allen.



Figura 8.16 tornillos de sujeción de poleas conducidas

(4) Rodamiento de polea conducida (x2)

Rodamientos embutidos en las poleas conducidas (1)



Figura 8.17 Rodamiento de polea conducida.

Diámetro exterior: 25 mm

Diámetro interior: 9 mm

(5) Eje trasero

Es el eje original del longboard al que se le han realizado unas modificaciones para poder motorizarlo.

Las modificaciones han sido las siguientes:

- Realización de tres taladros de 7 mm de diámetro
- Torneado del eje para alojar el rodamiento auxiliar de las poleas conducidas.

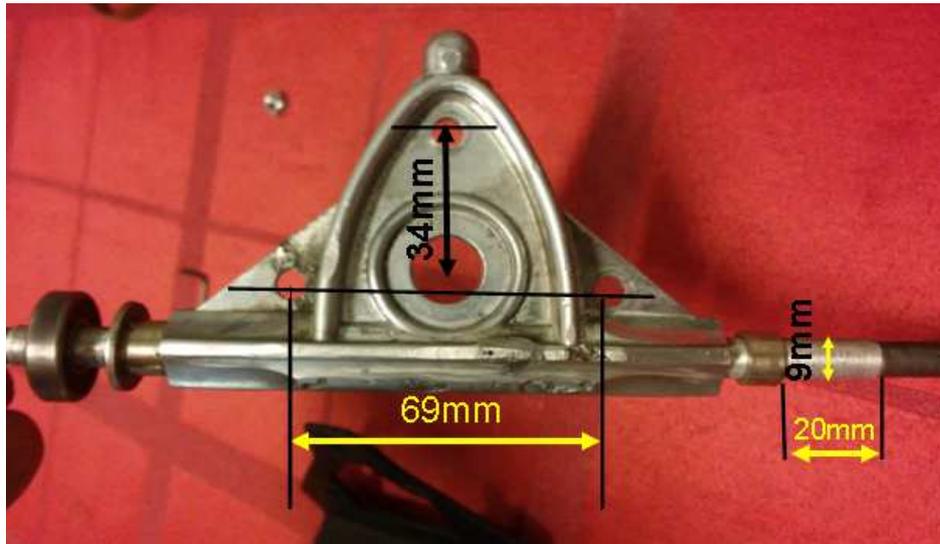


Figura 8.18 Eje trasero modificado

(6) Tuerca de fijación de la ruedas al eje (x2).

Tuercas originales del longboard para sujeción de la rueda al eje. M8



Figura 8.19 tuerca de fijación de la rueda al eje.

(7) Tornillos Allen M6, soporte motor al eje (x3)

Tornillos de cabeza tipo Allen de rosca métrica 6 mm x 30 mm de largo.

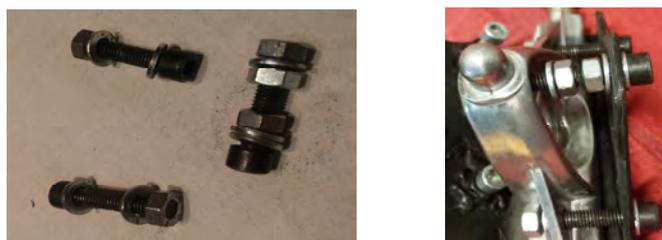


Figura 8.20 Tornillos fijación soporte del motor al eje trasero.

(8) Tuercas Métrica 6

Tuercas Standard métrica 6.

(9) Motor Eléctrico.

Motor eléctrico *Turnigy Aerodrive SK3 - 6374-168kv Brushless (sin escobillas)*



Figura 8.21 Motor eléctrico Turnigy Aerodrive SK3 - 6374-168kv Brushless (sin escobillas)

(10) Carcasa cilíndrica anclaje motor.

Carcasa cilíndrica hecha a medida para esta aplicación. Se parte de la base de un tubo hueco de hierro de 70 mm de diámetro interior y 3 mm de pared.

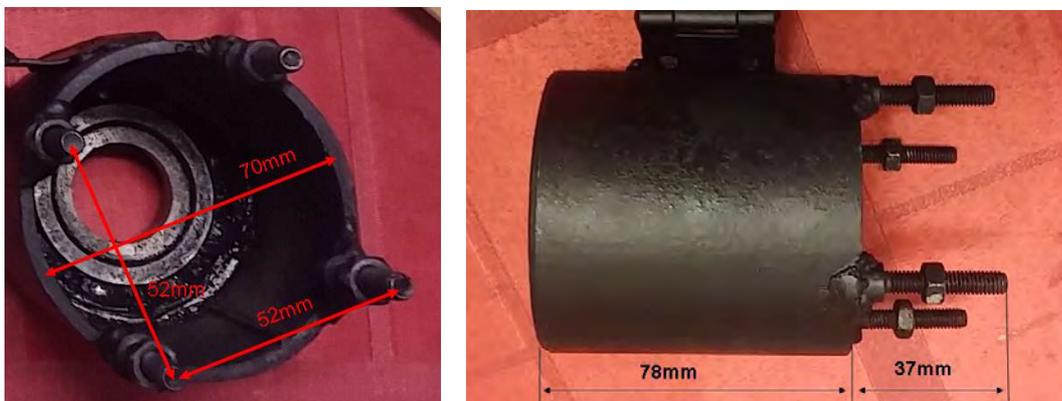


Figura 8.22 carcasa cilíndrica para el anclaje y protección del motor.

Se le sueldan 4 espárragos roscados de métrica 6 mm y 37 mm de longitud para sujeción del motor eléctrico.

(11) Anclaje original del motor.

Pieza de aluminio suministrada con el motor, se usa para anclarlo rígidamente a alguna superficie.



Figura 8.23 Anclaje original del motor.

- Medidas entre taladros para anclaje al superficie rígida 52 mm
- Diámetro de taladros de anclaje, 6,5 mm

(12) Tornillos (x4) sujeción anclaje motor.

Cuatro tornillos de M3 de 5 mm de longitud con la cabeza avellanada. Fijan el soporte del motor original al estator del mismo



Figura 8.24 tornillos de sujeción del anclaje original del motor al estator.

(13) Rodamiento auxiliar del motor.

Rodamiento de 71 mm de diámetro exterior, 38 mm de diámetro interior que da apoyo al eje del motor para evitar cabeceos y que se pueda dañar.



Figura 8.25 rodamiento auxiliar del motor

(14) Casquillo reductor del diámetro interior del rodamiento auxiliar del motor

Casquillo metálico de 38 mm exterior y a 29 mm interior. Para reducir del diámetro interior del rodamiento al diámetro exterior del eje auxiliar del motor.



Figura 8.26 Casquillo reductor del diámetro interior del rodamiento auxiliar del motor

(15) Eje auxiliar del motor.

Accesorio suministrado con el motor, sirve para poder usar ambas partes del motor como elementos de tracción.



Figura 8.27 Eje auxiliar del motor.

Se le ha practicado al eje un taladro que lo atraviesa transversalmente de 2 mm de diámetro, situado a 15 mm del extremo exterior del eje. Este taladro alojara la grupilla que hará que la polea conductora gire solidaria con el eje.

(16) Tornillos de sujeción del eje auxiliar del motor (x4)

Tornillos de rosca métrica 3 mm y de 20 mm de longitud que fijan el eje auxiliar del motor al rotor exterior del mismo, apoyándose en el rodamiento auxiliar.



Figura 8.28 Tornillos de sujeción del eje auxiliar del motor.

(17) Arandela separadora de la polea conductora.

Arandela de aluminio que viene con el eje auxiliar del motor, se usa para separar la polea conductora del rodamiento, así evitar que la correa roce con la carcasa metálica de protección del motor.



Figura 8.29 Arandela separadora de la polea conductora.

(18) Polea conductora (x2).

Polea de aluminio marca WEDA transmisiones, modelo 21 T 5 15
Diámetro exterior 28 mm, 15 dientes.



Figura 8.30 polea conductora.

(19) Grupilla de fijación de la polea al eje auxiliar.

Grupilla de acero inoxidable de 2 mm de grosor que se encarga de hacer girar solidarios la polea y el eje auxiliar del motor.



Figura 8.31 Grupilla de fijación de la polea al eje auxiliar

Una vez introducida en el taladro que tiene la polea y el eje, se dobla para que no pueda salirse.

(20) Prolongación del eje principal motor.

Se trata de una prolongación para el eje principal del motor, para poder instalar la segunda polea. Este elemento está incluido entre los accesorios que vienen con el motor eléctrico.



Figura 8.32 Prolongación del eje principal del motor.

(21) Embrague de fricción

Compuesto por dos arandelas de acero de 24 mm de diámetro exterior, por 10 mm de diámetro interior, y una arandela de caucho de 20 mm de diámetro exterior, por 4 mm de espesor.



Figura 8.33 embrague de fricción.

(22) Tornillos tensores de las correas (x2)

Dos tornillos de rosca métrica 6 mm, con cabeza tipo Allen, de 20 mm de longitud.



Figura 8.34 tornillos tensores de las correas.

(23) Tornillos de sujeción del soporte motor al eje (x3).

Tres tornillos de rosca métrica 6mm, con cabeza tipo Allen, 30 mm de longitud fijan el soporte del motor al eje trasero.



Figura 8.35 Tornillos de sujeción del soporte motor al eje

(24) Correas de transmisión (x2).

Correas, marca WEDA Transmisiones, modelo BANDO 10-T5-280



Figura 8.36 Correas de transmisión

(25) Soporte del motor.

Fabricado desde una pletina de 2 mm de espesor.

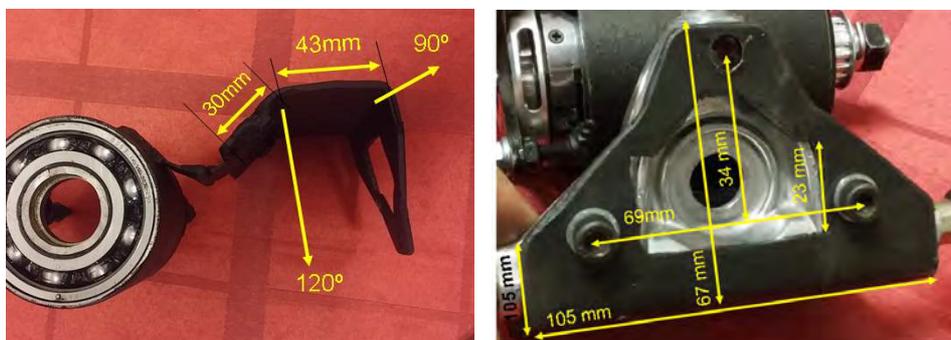


Figura 8.37 soporte del motor.

(26) Piezas originales de fijación del eje del longboard.

Silent-block de goma, arandela metálica y tuerca que sujetan el eje dejándole oscilar venciendo la resistencia de la goma.



Figura 8.38 Piezas originales de fijación del eje del longboard.

(27) Bridas de sujeción de la batería (x2).

Bridas fabricadas a medida a partir de pletina de 2 mm de espesor.



Figura 8.39 Bridas de sujeción de la batería.

(28) Tornillos de sujeción bridas metálicas de la batería (x4).

Cuatro tornillos métrica 5 mm, de 50 mm de longitud, con cabeza Phillips avellanada para quedar enrasado con la tabla, con 4 tuercas. Se encargan de fijar las bridas a la tabla.

(29) Caja eléctrica.

Caja hueca de plástico para albergar componentes electrónicos.

- Medidas: 197 mm largo, 113 mm ancho y 62 altura

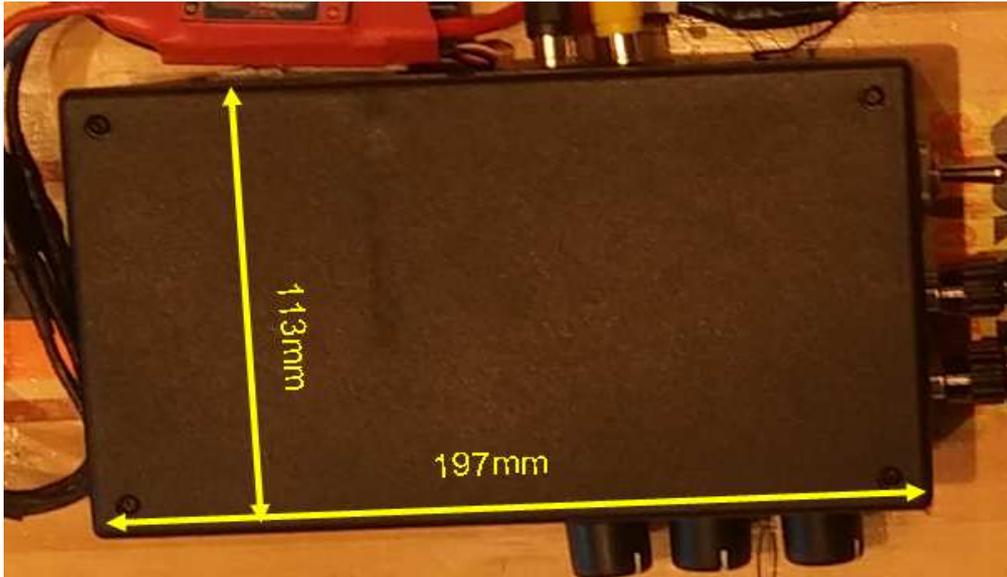


Figura 8.40 Caja eléctrica, vista inferior.

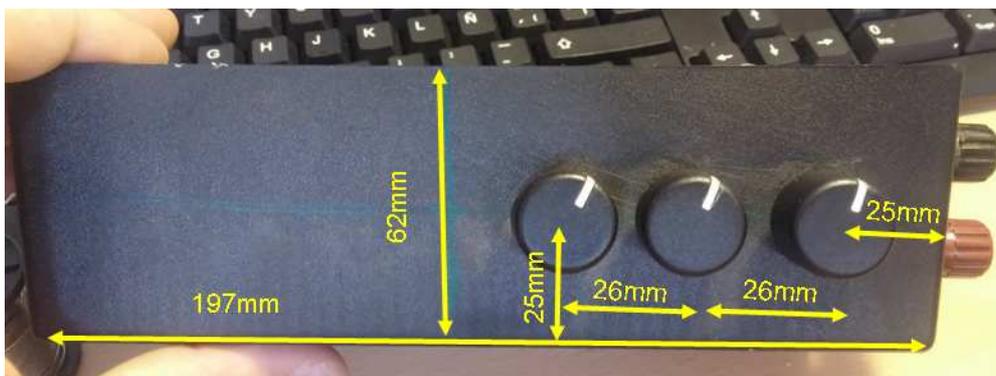


Figura 8.41 caja eléctrica, vista lateral izquierda.

Potenciómetros (34) que controlan las prestaciones dinámicas, de izquierda a derecha:

- Control de rampa de deceleración
- Control de rampa de aceleración

- Control del límite de velocidad máxima.

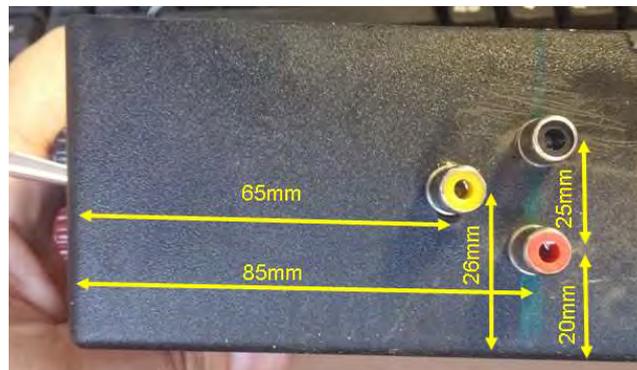


Figura 8.42 caja eléctrica, vista lateral derecha.

- Conector amarillo: conector para salida de señal ESC
- Conector Negro, pulsador Freno
- Conector Rojo, pulsador acelerador

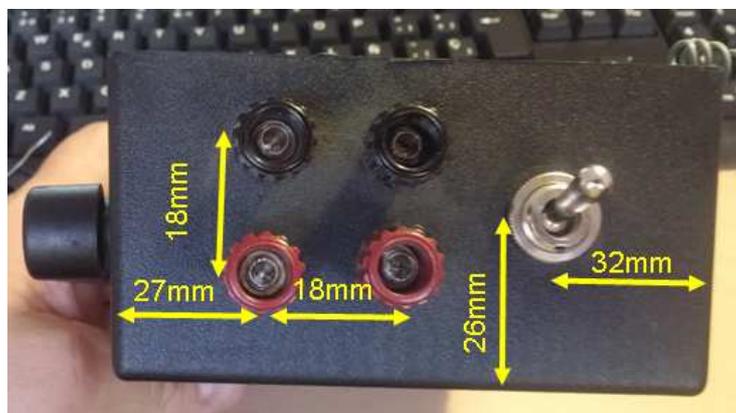


Figura 8.43 caja eléctrica, vista frontal.

- Interruptor ON/OFF (33)
- Bornero rojo y negro lazo izquierdo de la *Figura 8.43*, salida de alimentación para el ESC. Rojo (+), Negro (-)
- Bornero rojo y negro parte central de la *Figura 8.43*, entrada de alimentación general desde la batería. Rojo (+), Negro (-)

Interior de la caja eléctrica.

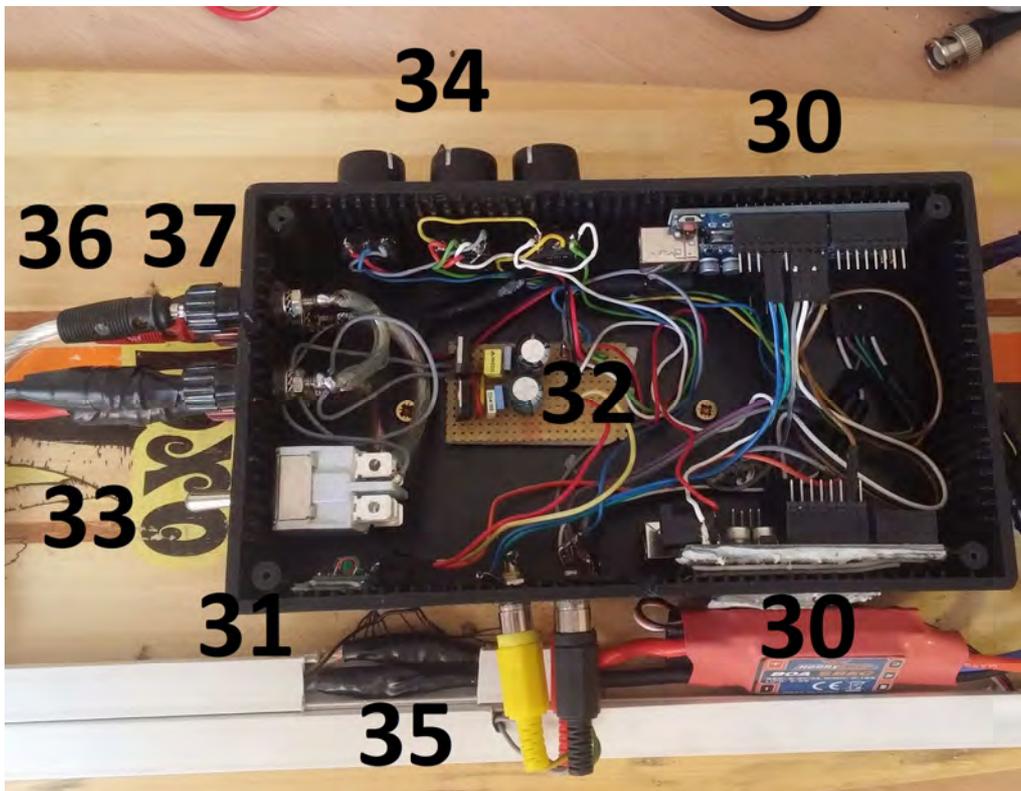


Figura 8.44 caja eléctrica, componentes interiores.

(30) Placas electrónicas Arduino UNO (x2).

(31) Receptor RF

Receptor estándar de RF a 433Mhz.

(32) Placa alimentación.

Compuesta por un LM7805 que alimenta a los dos Arduino y un LM7809 que alimenta al receptor de RF.

(33) Interruptor ON/OFF.

Corta la corriente de la batería. Es de palanca y de gran amperaje (30 A) para que no se dañe por el alto consumo que puede tener el longboard.

(34) Potenciómetros de ajuste prestaciones.

Potenciómetros de 10K usados como divisor de tensión para control de funciones:

- Limitación velocidad máxima.
- Regulación de la rampa de aceleración.
- Regulación de la rampa de deceleración.

(35) Conectores Acelerador, freno y ESC.

Conectores hembra embutidos en la caja y conectores macho en cables tipo RCA.

(36) Bornes entrada alimentación desde batería.

Bornes hembra de alto amperaje, embutidos en la caja. Conector macho tipo banana en los cables de batería para alimentar el sistema. Rojo (+), Negro (-)

(37) Borneros salida alimentación ESC

Bornes hembra de alto amperaje, embutidos en la caja. Conector macho tipo banana en los cables del ESC. Rojo (+), Negro (-)

(38) ESC.

ESC de la marca Hobby King, modelo 80A ESC 4A SBEC. Se instala fuera de la caja, para así garantizar una correcta ventilación y refrigeración del mismo. Se sujeta a la caja con una brida de plástico.



Figura 8.45 ESC Hobby King, modelo 80A ESC 4A SBEC

(39) Mando RF de control.

Mando a distancia inalámbrico por Radio Frecuencia a 433Mhz, con el cual se controla el Longboard.

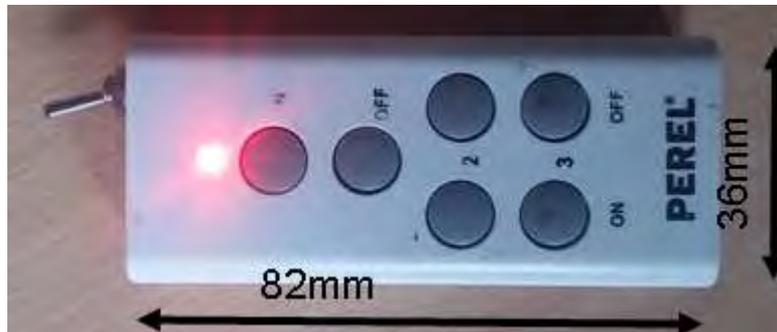


Figura 8.46 Mando RF de control.

Montaje de ruedas traseras.

En primer lugar se debe acometer el montaje poleas conducidas (1) en las ruedas traseras (3). Las poleas conducidas (1) se atornillan a las ruedas traseras (3) mediante tres tornillos de sujeción de las poleas conducidas (2). En la *Figura 8.49* se puede ver la secuencia de montaje de las poleas conducidas en las ruedas traseras.



Figura 8.49 Secuencia de montaje de las poleas conducidas en las ruedas traseras.

Montaje de rodamiento auxiliar en poleas conducidas.

En el interior de la polea conducida (1), se aloja el rodamiento (4) que dará rigidez y suavidad al conjunto.



Figura 8.50 montaje de rodamiento auxiliar en poleas conducidas.

Una vez montado el rodamiento en la polea conducida (1), se monta el conjunto rueda-polea-rodamiento en el eje trasero del longboard (5) como se puede ver en la *Figura 8.51*.



Figura 8.51 montaje de ruedas traseras en eje trasero

Se fijan las ruedas al eje con las tuercas (6) de sujeción de las mismas.



Figura 8.52 fijación de ruedas traseras al eje trasero.

El siguiente paso es montar el motor eléctrico (9) en la carcasa cilíndrica (10) construida para tal efecto. Primero se monta el anclaje original del motor (11) en el cuerpo del mismo.



Figura 8.53 secuencia de montaje del anclaje original en el cuerpo del motor,

Usando los tornillos (12) de sujeción se fija el anclaje en el motor.

Se monta en el rodamiento (13) el casquillo (14) que reducirá el diámetro interior del rodamiento al exterior del eje auxiliar (15) del motor.

Se monta el rodamiento (13) auxiliar del motor en la carcasa cilíndrica de protección (10) del mismo,



Figura 8.54 Montaje del motor eléctrico en la carcasa cilíndrica de protección

Se monta el motor eléctrico (9) en la carcasa de protección y anclaje (10) introduciéndolo por el lado contrario al rodamiento (13) hasta que los taladros del anclaje original del motor (11) entren en los cuatro espárragos roscados de la carcasa.

Se da la vuelta al conjunto, y se coloca el eje auxiliar del motor (15) enfrentando los taladros del eje auxiliar con las roscas de la parte trasera del rotor exterior del motor:



Figura 8.55 secuencia de montaje del eje auxiliar del motor.

Se introducen los tornillos de sujeción del eje auxiliar (16) y se aprietan. Una vez apretados, el motor quedara centrado en el interior de la carcasa cilíndrica.

Se fija ahora el anclaje original del motor (11) con las tuercas de métrica 6 que hay en ambos lados de los espárragos, bloqueándolo y quedando fijada su posición.

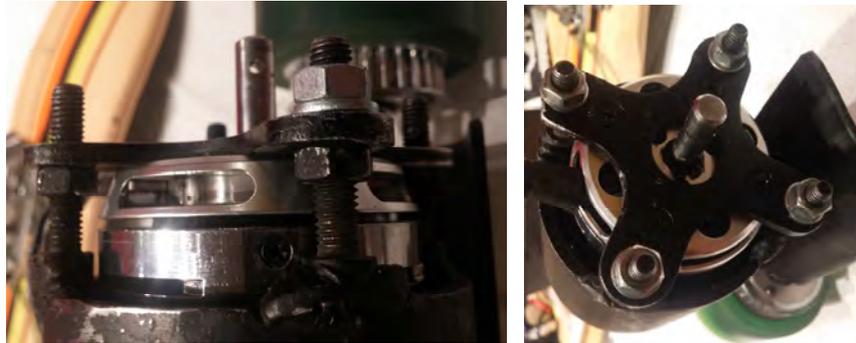


Figura 8.56 fijación del motor eléctrico en carcasa protectora.

De esta manera se tiene el motor centrado y fijado en el interior de la carcasa protectora.

Se introduce en el eje auxiliar (15) la arandela separadora (17) y la polea conductora (18)



Figura 8.57 Secuencia de montaje de la polea conductora en motor eléctrico

Se introduce la grupilla (19) de acero de 2 mm en el taladro de la polea que atraviesa el eje, para que de esta forma giren solidarios.



Figura 8.58 Fijación de polea conductora en el eje auxiliar del motor.

Se dobla la grupilla (19) para evitar que se pueda salir de su alojamiento y se aprieta el conjunto con la tuerca.

Se monta la prolongación del eje principal del motor (20) en el lado opuesto a la polea ya montada:



Figura 8.59 montaje de la prolongación del eje principal del motor

Se monta el casquillo cónico (21) que se encargara del apriete de la prolongación al eje motor (20), se monta la otra polea conductora (18), se monta el embrague de fricción (21) y lo se fija con la tuerca eje motor (19).



Figura 8.60 montaje de polea conductora y embrague de fricción

Llegados a este paso, se procede al montaje del conjunto motor-carcasa en el eje trasero. Primero se montan los tornillos tensores de las correas (22) en los taladros roscados del soporte motor (25)



Figura 8.61 montaje del soporte del motor en el eje trasero.

Se fija el soporte al eje usando los tornillos (7) con sus tuercas (8) para fijarlo rígidamente al eje trasero.

El soporte motor puede ser ajustado para variar la altura del motor al suelo. Este ajuste se realiza variando la distancia del soporte al eje mediante el ajuste del tornillo superior de sujeción, usando las tuercas espaciadoras se puede fijar en la posición deseada.



Figura 8.62 regulación de altura libre del motor

A continuación se procede al montaje de las correas (24) y al tensado de las mismas usando los tornillos (22) de tensado.



Figura 8.63 tensado de las correas

Una vez tensadas las correas, se procede a fijar los tornillos tensores (22) apretando la tuerca (8) contra el soporte bloqueando el libre giro del tensor y así evitando que se afloje. Una vez hecho esto, ya se puede montar el conjunto en la tabla usando las piezas originales de fijación del eje del longboard (26).



Figura 8.64 montaje del eje trasero completo sobre fijación original del mismo.

Primero se introduce el eje trasero en su alojamiento, posteriormente se monta el silent-block de goma, con su parte mas ancha en el lado del eje, luego la arandela metálica para rematar con la tuerca.

8.12.2 Electrónica de potencia.

Batería.

Para tener un reparto de pesos lo más equilibrado posible, la batería se ha montado en la parte inferior de la tabla lo más cerca posible del eje delantero del longboard.

La batería queda fijada a la tabla por mediación de las dos bridas metálicas de sujeción (27) que la abrazan contra la misma. Estas se fijan a la tabla mediante los cuatro tornillos de sujeción de las bridas (28) y sus tuercas.

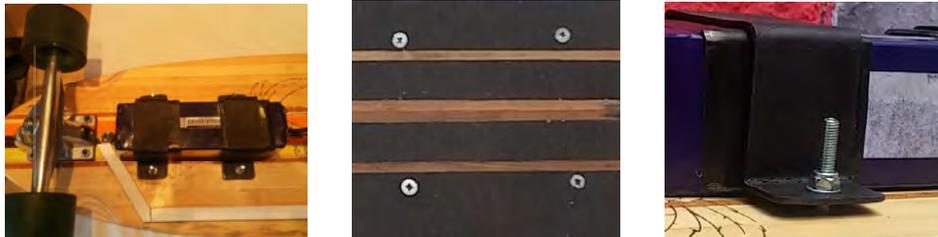


Figura 8.65 montaje y anclaje de la batería.

El ESC

El ESC (38) se ha montado en el exterior de la caja para garantizar su buena refrigeración. Va fijado a la misma mediante una brida de plástico. La salida del mismo se conecta al motor eléctrico mediante 3 conectores individuales hembra de 4 mm de diámetro.



Figura 8.66 Fijación del ESC a la caja eléctrica.

8.12.3 Electrónica de control.

Sensores de acelerador y freno.



Figura 8.67 Situación de pulsadores de acelerador y freno en la tabla.

La tabla tiene practicados dos taladros pasantes de 20 mm de diámetro, en estos taladros es donde se alojan los pulsadores que hacen la función de acelerador y freno de pie. Dichos pulsadores se encajan en los taladros a presión y sujetos con cinta de doble cara aplicada en el cuerpo del mismo quedando fijados a la tabla.

La electrónica de control está metida dentro de la caja eléctrica (29) del longboard.



Figura 8.68 Caja eléctrica.

En la caja eléctrica se alojan las dos placas Arduino UNO (30), el receptor RF (31), la placa de alimentación (32), el interruptor de ON/OFF (33), los tres potenciómetros de ajuste de prestaciones (34), conectores de pulsador

de freno, acelerador y salida para ESC (35), los borneros de entrada de corriente de batería y los de salida de alimentación al ESC (36).

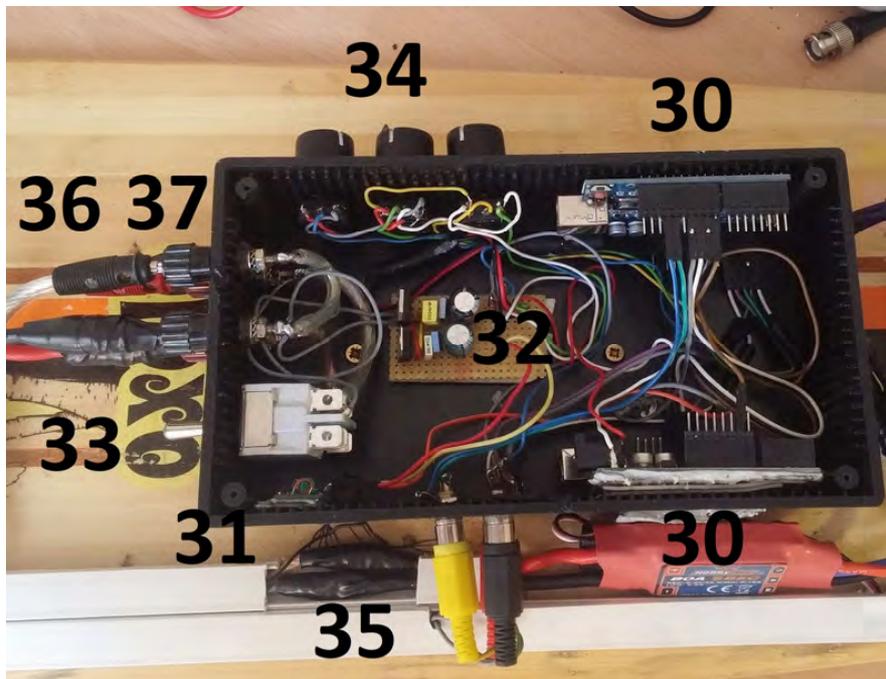


Figura 8.69 componentes que contiene la caja eléctrica.

En este prototipo, la caja va fijada a la tabla mediante tres tiras de cinta adhesiva de doble cara, que evitan y absorben las vibraciones, y dos tornillos que enroscan directamente en la tabla que aseguran la fijación de la caja a la tabla.

Las placas electrónicas van fijadas a la caja con cinta de doble cara.

El interruptor, los borneros de conexiones y los potenciómetros son de panel, por lo que están integrados en la caja y sujetos con su sistema de tuerca.

8.13 Anexo 13: Especificaciones técnicas WEDA poleas

**POLEAS DENTADAS PASO METRICO SERIE BAT PARA CORREAS "AT"
METRIC PULLEYS "AT"**



SERIE BAT 5 (PASO 5mm) PARA CORREAS DE LONGITUD 10 mm

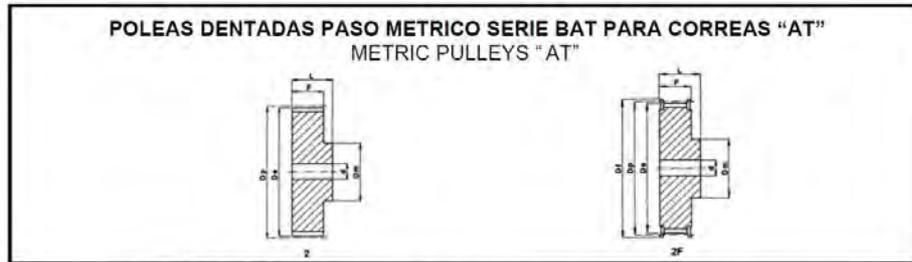
MATERIAL	CODIGO	TIPO	DIENTES	De	Df	Dm	F	L	d	W GAA	Kg
ALUMINIO UNI 6061 - T6	21 BAT 5 12	2F	12	17,85	23,0	10	15	27	-	201	0,01
	21 BAT 5 14	2F	14	21,05	25,0	13	15	27	-	203	0,02
	21 BAT 5 15	2F	15	22,65	28,0	15	15	27	-	204	0,02
	21 BAT 5 16	2F	16	24,20	32,0	18	15	27	-	205	0,03
	21 BAT 5 18	2F	18	27,40	32,0	20	15	27	-	205	0,03
	21 BAT 5 19	2F	19	29,00	36,0	22	15	27	-	206	0,04
	21 BAT 5 20	2F	20	30,60	36,0	23	15	27	-	206	0,04
	21 BAT 5 22	2F	22	33,85	38,0	24	15	27	-	207	0,05
	21 BAT 5 24	2F	24	37,00	42,0	26	15	27	-	208	0,06
	21 BAT 5 25	2F	25	38,55	44,0	26	15	27	-	209	0,06
	21 BAT 5 26	2F	26	40,20	44,0	26	15	27	-	209	0,06
	21 BAT 5 27	2F	27	41,80	48,0	30	15	27	8	210	0,07
	21 BAT 5 28	2F	28	43,35	48,0	32	15	27	8	210	0,07
	21 BAT 5 30	2F	30	46,55	51,0	34	15	27	8	211	0,07
	21 BAT 5 32	2F	32	49,70	54,0	38	15	27	8	212	0,09
	21 BAT 5 36	2F	36	56,05	63,0	38	15	27	8	215	0,11
	21 BAT 5 40	2F	40	62,45	66,0	40	15	27	8	216	0,14
	21 BAT 5 42	2F	42	65,60	71,0	40	15	27	8	217	0,16
	21 BAT 5 44	2	44	68,80	-	45	15	27	8	-	0,18
	21 BAT 5 48	2	48	75,15	-	50	15	27	8	-	0,20
21 BAT 5 60	2	60	94,25	-	65	15	27	8	-	0,31	



WEDA TRANSMISIONES S.L.

pg. 21 - poleas

C./Circunvalación, 45
Tel. 93 719 05 57 - Fax 93 718 24 43
08210 BARBERÀ DEL VALLES (Barcelona)
E-mail: scarnorr.weda@rexo.es



SERIE BAT 5 (PASO 5mm) PARA CORREAS DE LONGITUD 16 mm

MATERIAL	CODIGO	TIPO	DIENTES	De	Df	Dm	F	L	d	Nº GUIA	Kg
ALUMINIO UNI 9006 - T5	27 BAT 5 12	2F	12	17.85	23.0	10	21	27	-	201	0.02
	27 BAT 5 14	2F	14	21.05	25.0	13	21	27	-	203	0.03
	27 BAT 5 15	2F	15	22.85	28.0	16	21	27	-	204	0.03
	27 BAT 5 16	2F	16	24.20	32.0	18	21	27	-	205	0.04
	27 BAT 5 18	2F	18	27.40	32.0	20	21	27	-	205	0.04
	27 BAT 5 19	2F	19	29.00	36.0	22	21	27	-	206	0.05
	27 BAT 5 20	2F	20	30.60	36.0	23	21	27	-	206	0.06
	27 BAT 5 22	2F	22	33.85	38.0	24	21	27	-	207	0.06
	27 BAT 5 24	2F	24	37.00	42.0	26	21	27	-	208	0.08
	27 BAT 5 25	2F	25	38.55	44.0	26	21	27	-	209	0.08
	27 BAT 5 26	2F	26	40.20	44.0	26	21	27	-	209	0.09
	27 BAT 5 27	2F	27	41.80	48.0	30	21	27	8	210	0.09
	27 BAT 5 28	2F	28	43.35	48.0	32	21	27	8	210	0.09
	27 BAT 5 30	2F	30	46.55	51.0	34	21	27	8	211	0.10
	27 BAT 5 32	2F	32	49.70	54.0	38	21	27	8	212	0.12
	27 BAT 5 36	2F	36	56.05	63.0	38	21	27	8	215	0.16
	27 BAT 5 40	2F	40	62.45	66.0	40	21	27	8	216	0.19
	27 BAT 5 42	2F	42	65.60	71.0	40	21	27	8	217	0.20
	27 BAT 5 44	2	44	68.80	-	45	21	27	8	-	0.23
	27 BAT 5 48	2	48	75.15	-	50	21	27	8	-	0.28
27 BAT 5 60	2	60	94.25	-	65	21	27	8	-	0.43	

SERIE BAT 5 (PASO 5mm) PARA CORREAS DE LONGITUD 25 mm

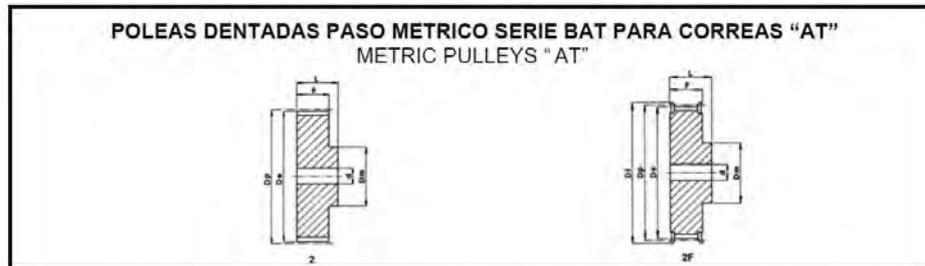
MATERIAL	CODIGO	TIPO	DIENTES	De	Df	Dm	F	L	d	Nº GUIA	Kg
ALUMINIO UNI 9006 - T6	36 BAT 5 12	2F	12	17.85	23.0	10	30	36	-	201	0.03
	36 BAT 5 14	2F	14	21.05	25.0	13	30	36	-	203	0.04
	36 BAT 5 15	2F	15	22.85	28.0	16	30	36	-	204	0.04
	36 BAT 5 16	2F	16	24.20	32.0	18	30	36	-	205	0.05
	36 BAT 5 18	2F	18	27.40	32.0	20	30	36	-	205	0.06
	36 BAT 5 19	2F	19	29.00	36.0	22	30	36	-	206	0.07
	36 BAT 5 20	2F	20	30.60	36.0	23	30	36	-	206	0.08
	36 BAT 5 22	2F	22	33.85	38.0	24	30	36	-	207	0.08
	36 BAT 5 24	2F	24	37.00	42.0	26	30	36	8	208	0.11
	36 BAT 5 25	2F	25	38.55	44.0	26	30	36	8	209	0.12
	36 BAT 5 26	2F	26	40.20	44.0	26	30	36	8	209	0.12
	36 BAT 5 27	2F	27	41.80	48.0	30	30	36	8	210	0.13
	36 BAT 5 28	2F	28	43.35	48.0	32	30	36	8	210	0.14
	36 BAT 5 30	2F	30	46.55	51.0	34	30	36	8	211	0.15
	36 BAT 5 32	2F	32	49.70	54.0	38	30	36	8	212	0.18
	36 BAT 5 36	2F	36	56.05	63.0	38	30	36	8	215	0.23
	36 BAT 5 40	2F	40	62.45	66.0	40	30	36	8	216	0.28
	36 BAT 5 42	2F	42	65.60	71.0	40	30	36	8	217	0.29
	36 BAT 5 44	2	44	68.80	-	45	30	36	8	-	0.31
	36 BAT 5 48	2	48	75.15	-	50	30	36	8	-	0.40
36 BAT 5 60	2	60	94.25	-	65	30	36	8	-	0.61	



WEDA TRANSMISIONES S.L.

pág 22 - poleas

C./Circunvalación, 45
Tel. 93 719 05 57 - Fax 93 718 24 43
08210 BARBERÀ DEL VALLÈS (Barcelona)
E-mail: rcarnerr.weda@nexo.es



SERIE BAT 10 (PASO 10mm) PARA CORREAS DE LONGITUD 16 mm

MATERIAL	CODIGO	TIPO	DIENTES	De	Df	Dm	F	L	d	Nº GUIA	Kg.
ALUMINIO UNI 9006 - T6	31 BAT 10 15	2F	15	45.90	51	32	21	31	8	211	0.12
	31 BAT 10 16	2F	16	49.10	54	35	21	31	8	212	0.13
	31 BAT 10 18	2F	18	55.45	60	40	21	31	8	214	0.17
	31 BAT 10 19	2F	19	58.65	66	44	21	31	8	216	0.18
	31 BAT 10 20	2F	20	61.80	66	46	21	31	8	216	0.21
	31 BAT 10 22	2F	22	68.20	75	52	21	31	8	218	0.25
	31 BAT 10 24	2F	24	74.55	83	58	21	31	8	219	0.29
	31 BAT 10 25	2F	25	77.75	83	60	21	31	8	219	0.31
	31 BAT 10 26	2F	26	80.90	87	60	21	31	8	220	0.36
	31 BAT 10 27	2F	27	84.05	91	60	21	31	8	221	0.37
	31 BAT 10 28	2F	28	87.25	93	60	21	31	8	222	0.40
	31 BAT 10 30	2F	30	93.65	97	60	21	31	8	223	0.44
	31 BAT 10 32	2F	32	100.00	106	65	21	31	10	224	0.49
	31 BAT 10 36	2F	36	112.75	119	70	21	31	10	225	0.62
	31 BAT 10 40	2F	40	125.45	131	80	21	31	10	226	0.77
	31 BAT 10 44	2	44	138.20	-	88	21	31	10	-	1.00
	31 BAT 10 48	2	48	150.95	-	95	21	31	16	-	1.10
	31 BAT 10 60	2	60	189.15	-	110	21	31	16	-	1.70

SERIE BAT 10 (PASO 10mm) PARA CORREAS DE LONGITUD 25 mm

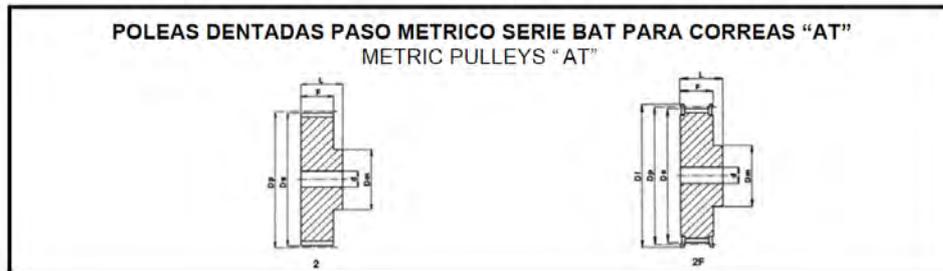
MATERIAL	CODIGO	TIPO	DIENTES	De	Df	Dm	F	L	d	Nº GUIA	Kg.
ALUMINIO UNI 9006 - T6	40 BAT 10 15	2F	15	45.90	51	32	30	40	8	211	0.15
	40 BAT 10 16	2F	16	49.10	54	35	30	40	8	212	0.18
	40 BAT 10 18	2F	18	55.45	60	40	30	40	8	214	0.22
	40 BAT 10 19	2F	19	58.65	66	44	30	40	8	216	0.25
	40 BAT 10 20	2F	20	61.80	66	46	30	40	8	216	0.28
	40 BAT 10 22	2F	22	68.20	75	52	30	40	8	218	0.34
	40 BAT 10 24	2F	24	74.55	83	58	30	40	8	219	0.39
	40 BAT 10 25	2F	25	77.75	83	60	30	40	8	219	0.42
	40 BAT 10 26	2F	26	80.90	87	60	30	40	8	220	0.48
	40 BAT 10 27	2F	27	84.05	91	60	30	40	8	221	0.54
	40 BAT 10 28	2F	28	87.25	93	60	30	40	8	222	0.55
	40 BAT 10 30	2F	30	93.65	97	60	30	40	8	223	0.64
	40 BAT 10 32	2F	32	100.00	106	65	30	40	10	224	0.69
	40 BAT 10 36	2F	36	112.75	119	70	30	40	10	225	0.87
	40 BAT 10 40	2F	40	125.45	131	80	30	40	10	226	1.07
	40 BAT 10 44	2	44	138.20	-	88	30	40	10	-	1.35
	40 BAT 10 48	2	48	150.95	-	95	30	40	16	-	1.52
	40 BAT 10 60	2	60	189.15	-	110	30	40	16	-	2.34



WEDA TRANSMISIONES S.L.

pág. 23 - poleas

C./Circunvalación, 45
Tel. 93 719 05 57 - Fax 93 718 24 43
08210 BARBERÀ DEL VALLÈS (Barcelona)
E-mail: rcarnerr.weda@nexo.es



SERIE BAT 10 (PASO 10mm) PARA CORREAS DE LONGITUD 32 mm

MATERIAL	CODIGO	TIPO	DIENTES	De	Df	Dm	F	L	d	Nº GUIA	Kg.
ALUMINIO UNI 9006 - T6	47 BAT 10 18	2F	18	55.45	60	40	37	47	10	214	0.25
	47 BAT 10 19	2F	19	58.85	66	44	37	47	10	216	0.29
	47 BAT 10 20	2F	20	61.80	66	46	37	47	12	216	0.32
	47 BAT 10 22	2F	22	68.20	75	52	37	47	12	218	0.39
	47 BAT 10 24	2F	24	74.55	83	58	37	47	12	219	0.47
	47 BAT 10 25	2F	25	77.75	83	60	37	47	12	219	0.53
	47 BAT 10 26	2F	26	80.90	87	60	37	47	12	220	0.56
	47 BAT 10 27	2F	27	84.05	91	60	37	47	12	221	0.60
	47 BAT 10 28	2F	28	87.25	93	60	37	47	12	222	0.64
	47 BAT 10 30	2F	30	93.65	97	60	37	47	12	223	0.74
	47 BAT 10 32	2F	32	100.00	106	65	37	47	16	224	0.84
	47 BAT 10 36	2F	36	112.75	119	70	37	47	16	225	1.06
	47 BAT 10 40	2F	40	125.45	131	80	37	47	16	226	1.32
	47 BAT 10 44	2	44	138.20	-	88	37	47	16	-	1.61
	47 BAT 10 48	2	48	150.95	-	95	37	47	16	-	1.93
	47 BAT 10 60	2	60	189.15	-	110	37	47	16	-	3.00

SERIE BAT 10 (PASO 10mm) PARA CORREAS DE LONGITUD 50 mm

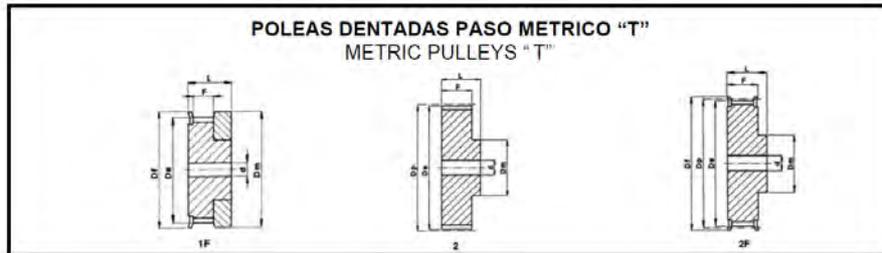
MATERIAL	CODIGO	TIPO	DIENTES	De	Df	Dm	F	L	d	Nº GUIA	Kg.
ALUMINIO UNI 9006 - T6	66 BAT 10 18	2F	18	55.45	60	40	56	66	10	214	0.42
	66 BAT 10 19	2F	19	58.85	66	44	56	66	10	216	0.47
	66 BAT 10 20	2F	20	61.80	66	46	56	66	12	216	0.52
	66 BAT 10 22	2F	22	68.20	75	52	56	66	12	218	0.57
	66 BAT 10 24	2F	24	74.55	83	58	56	66	12	219	0.74
	66 BAT 10 25	2F	25	77.75	83	60	56	66	12	219	0.77
	66 BAT 10 26	2F	26	80.90	87	60	56	66	12	220	0.82
	66 BAT 10 27	2F	27	84.05	91	60	56	66	12	221	0.95
	66 BAT 10 28	2F	28	87.25	93	60	56	66	12	222	0.96
	66 BAT 10 30	2F	30	93.65	97	60	56	66	12	223	1.17
	66 BAT 10 32	2F	32	100.00	106	65	56	66	12	224	1.30
	66 BAT 10 36	2F	36	112.75	119	70	56	66	16	225	1.64
	66 BAT 10 40	2F	40	125.45	131	80	56	66	16	226	2.00
	66 BAT 10 44	2	44	138.20	-	88	56	66	16	-	2.36
	66 BAT 10 48	2	48	150.95	-	95	56	66	16	-	2.83
	66 BAT 10 60	2	60	189.15	-	110	56	66	16	-	4.37



WEDA TRANSMISIONES S.L.

pág. 24 - poleas

C./Circunvalación, 45
Tel. 93 719 05 57 - Fax 93 718 24 43
08210 BARBERA DEL VALLÉS (Barcelona)
E-mail: rcarnerr.weda@nexo.es

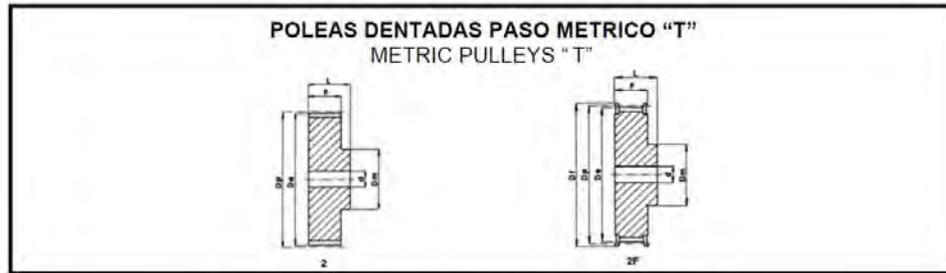


T 2,5 (PASO 2,5 mm) PARA CORREAS DE LONGITUD 6 mm

MATERIAL	CODIGO	TIPO	DIENTES	De	Df	Dm	F	L	d	Nº GUIA	Kg.
ALUMINIO UNI 9006 - T6	16 T 2,5 12	1F	12	9,00	12,0	12	9	16	-	100	-
	16 T 2,5 14	1F	14	10,80	15,0	14	9	16	-	101	-
	16 T 2,5 15	1F	15	11,40	15,0	15	9	16	-	101	-
	16 T 2,5 16	1F	16	12,20	16,0	16	9	16	-	102	-
	16 T 2,5 18	2F	18	13,80	17,5	10	10	16	3	104	-
	16 T 2,5 19	2F	19	14,60	17,5	10	10	16	3	104	-
	16 T 2,5 20	2F	20	15,40	19,5	11	10	16	3	105	-
	16 T 2,5 22	2F	22	17,00	23,0	11	10	16	3	106	-
	16 T 2,5 24	2F	24	18,55	23,0	12	10	16	3	107	0,01
	16 T 2,5 25	2F	25	19,35	23,0	13	10	16	3	107	0,01
	16 T 2,5 26	2F	26	20,15	25,0	14	10	16	4	108	0,01
	16 T 2,5 28	2F	28	21,75	25,0	14	10	16	4	108	0,02
	16 T 2,5 30	2F	30	23,35	28,0	16	10	16	6	109	0,02
	16 T 2,5 32	2F	32	24,95	32,0	16	10	16	6	110	0,02
	16 T 2,5 36	2F	36	28,10	36,0	20	10	16	6	111	0,03
	16 T 2,5 40	2F	40	31,30	38,0	22	10	16	6	112	0,03
	16 T 2,5 44	2	44	34,50	-	24	10	16	6	-	0,04
	16 T 2,5 48	2	48	37,70	-	26	10	16	6	-	0,05
	16 T 2,5 60	2	60	47,25	-	34	10	16	8	-	0,07

T 5 (PASO 5 mm) PARA CORREAS DE LONGITUD 10 mm

MATERIAL	CODIGO	TIPO	DIENTES	De	Df	Dm	F	L	d	Nº GUIA	Kg.
ALUMINIO UNI 9006 - T6	21 T 5 10	2F	10	15,05	19,5	8	15	21	-	200	0,01
	21 T 5 12	2F	12	18,25	23,0	10	15	21	-	201	0,01
	21 T 5 14	2F	14	21,45	25,0	13	15	21	-	203	0,02
	21 T 5 15	2F	15	23,05	28,0	16	15	21	-	204	0,02
	21 T 5 16	2F	16	24,60	32,0	18	15	21	-	205	0,03
	21 T 5 18	2F	18	27,80	32,0	20	15	21	-	205	0,03
	21 T 5 19	2F	19	29,40	36,0	22	15	21	-	206	0,04
	21 T 5 20	2F	20	31,00	36,0	23	15	21	-	206	0,04
	21 T 5 22	2F	22	34,25	38,0	24	15	21	-	207	0,05
	21 T 5 24	2F	24	37,40	42,0	26	15	21	-	208	0,06
	21 T 5 25	2F	25	38,95	44,0	26	15	21	-	209	0,06
	21 T 5 26	2F	26	40,60	44,0	26	15	21	-	209	0,06
	21 T 5 27	2F	27	42,20	48,0	30	15	21	8	210	0,07
	21 T 5 28	2F	28	43,75	48,0	32	15	21	8	210	0,07
	21 T 5 30	2F	30	46,95	51,0	34	15	21	8	211	0,07
	21 T 5 32	2F	32	50,10	54,0	38	15	21	8	212	0,09
	21 T 5 36	2F	36	56,45	63,0	38	15	21	8	215	0,11
	21 T 5 40	2F	40	62,85	66,0	40	15	21	8	216	0,14
	21 T 5 42	2F	42	66,00	71,0	40	15	21	8	217	0,18
	21 T 5 44	2F	44	69,20	-	45	15	21	8	-	0,18
	21 T 5 48	2	48	75,55	-	50	15	21	8	-	0,20
	21 T 5 60	2	60	94,65	-	65	15	21	8	-	0,31



T 5 (PASO 5 mm) PARA CORREAS DE LONGITUD 16 mm

MATERIAL	CODIGO	TIPO	DIENTES	De	Df	Dm	F	L	d	Nº GUÍA	Kg
ALUMINIO UNI 9006 - T6	27 T 5 10	2F	10	15.05	19.5	8	21	27	-	200	0.02
	27 T 5 12	2F	12	18.25	23.0	10	21	27	-	201	0.02
	27 T 5 14	2F	14	21.45	25.0	13	21	27	-	203	0.03
	27 T 5 15	2F	15	23.05	28.0	16	21	27	-	204	0.03
	27 T 5 16	2F	16	24.60	32.0	18	21	27	-	205	0.04
	27 T 5 18	2F	18	27.80	32.0	20	21	27	-	205	0.04
	27 T 5 19	2F	19	29.40	36.0	22	21	27	-	206	0.05
	27 T 5 20	2F	20	31.00	36.0	23	21	27	-	206	0.06
	27 T 5 22	2F	22	34.25	38.0	24	21	27	-	207	0.06
	27 T 5 24	2F	24	37.40	42.0	26	21	27	-	208	0.08
	27 T 5 25	2F	25	38.95	44.0	26	21	27	-	209	0.08
	27 T 5 26	2F	26	40.60	44.0	26	21	27	-	209	0.09
	27 T 5 27	2F	27	42.20	48.0	30	21	27	8	210	0.09
	27 T 5 28	2F	28	43.75	48.0	32	21	27	8	210	0.09
	27 T 5 30	2F	30	46.95	51.0	34	21	27	8	211	0.10
	27 T 5 32	2F	32	50.10	54.0	38	21	27	8	212	0.12
	27 T 5 36	2F	36	56.45	63.0	38	21	27	8	215	0.16
	27 T 5 40	2F	40	62.85	66.0	40	21	27	8	216	0.19
	27 T 5 42	2F	42	66.00	71.0	40	21	27	8	217	0.20
	27 T 5 44	2	44	69.20	-	45	21	27	8	-	0.23
	27 T 5 48	2	48	75.55	-	50	21	27	8	-	0.28
	27 T 5 60	2	60	94.65	-	65	21	27	8	-	0.43

T 5 (PASO 5 mm) PARA CORREAS DE LONGITUD 25 mm

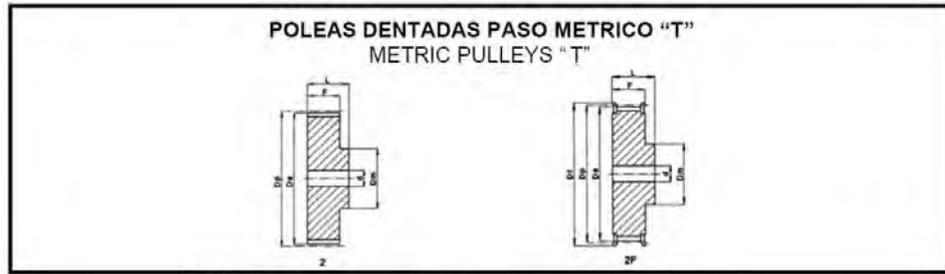
MATERIAL	CODIGO	TIPO	DIENTES	De	Df	Dm	F	L	d	Nº GUÍA	Kg
ALUMINIO UNI 9006 - T6	36 T 5 10	2F	10	15.05	19.5	8	30	36	-	200	0.02
	36 T 5 12	2F	12	18.25	23.0	10	30	36	-	201	0.03
	36 T 5 14	2F	14	21.45	25.0	13	30	36	-	203	0.04
	36 T 5 15	2F	15	23.05	28.0	16	30	36	-	204	0.04
	36 T 5 16	2F	16	24.60	32.0	18	30	36	-	205	0.05
	36 T 5 18	2F	18	27.80	32.0	20	30	36	-	205	0.06
	36 T 5 19	2F	19	29.40	36.0	22	30	36	-	206	0.07
	36 T 5 20	2F	20	31.00	36.0	23	30	36	-	206	0.08
	36 T 5 22	2F	22	34.25	38.0	24	30	36	-	207	0.08
	36 T 5 24	2F	24	37.40	42.0	26	30	36	-	208	0.11
	36 T 5 25	2F	25	38.95	44.0	26	30	36	-	209	0.12
	36 T 5 26	2F	26	40.60	44.0	26	30	36	-	209	0.12
	36 T 5 27	2F	27	42.20	48.0	30	30	36	8	210	0.13
	36 T 5 28	2F	28	43.75	48.0	32	30	36	8	210	0.14
	36 T 5 30	2F	30	46.95	51.0	34	30	36	8	211	0.15
	36 T 5 32	2F	32	50.10	54.0	38	30	36	8	212	0.18
	36 T 5 36	2F	36	56.45	63.0	38	30	36	8	215	0.23
	36 T 5 40	2F	40	62.85	66.0	40	30	36	8	216	0.28
	36 T 5 42	2F	42	66.00	71.0	40	30	36	8	217	0.29
	36 T 5 44	2	44	69.20	-	45	30	36	8	-	0.31
	36 T 5 48	2	48	75.55	-	50	30	36	8	-	0.40
	36 T 5 60	2	60	94.65	-	65	30	36	8	-	0.61



WEDA TRANSMISIONES S.L.

pág. 26 - poleas

C./Circunvalación, 45
Tel. 93 719 05 57 - Fax 93 718 24 43
08210 BARBERÀ DEL VALLÈS (Barcelona)
E-mail: rcarnerr.weda@nexo.es



T 10 (PASO 10 mm) PARA CORREAS DE LONGITUD 16 mm

MATERIAL	CODIGO	TIPO	DIENTES	De	Df	Dm	F	L	d	Nº GUIA	Kg.
ALUMINIO UNI 9006 - T6	31 T 10 12	2F	12	36.35	42	28	21	31	6	208	0.08
	31 T 10 14	2F	14	42.70	48	32	21	31	8	210	0.10
	31 T 10 15	2F	15	45.90	51	32	21	31	8	211	0.12
	31 T 10 16	2F	16	49.10	54	35	21	31	8	212	0.13
	31 T 10 18	2F	18	55.45	60	40	21	31	8	214	0.17
	31 T 10 19	2F	19	58.65	66	44	21	31	8	216	0.18
	31 T 10 20	2F	20	61.80	66	46	21	31	8	216	0.21
	31 T 10 22	2F	22	68.20	75	52	21	31	8	218	0.25
	31 T 10 24	2F	24	74.55	83	58	21	31	8	219	0.29
	31 T 10 25	2F	25	77.75	83	60	21	31	8	219	0.31
	31 T 10 26	2F	26	80.90	87	60	21	31	8	220	0.36
	31 T 10 27	2F	27	84.10	91	60	21	31	8	221	0.37
	31 T 10 28	2F	28	87.25	93	60	21	31	8	222	0.40
	31 T 10 30	2F	30	93.65	97	60	21	31	8	223	0.44
	31 T 10 32	2F	32	100.00	106	65	21	31	10	224	0.49
	31 T 10 36	2F	36	112.75	119	70	21	31	10	225	0.62
	31 T 10 40	2F	40	125.45	131	80	21	31	10	226	0.77
	31 T 10 44	2	44	138.20	-	88	21	31	10	-	1.00
	31 T 10 48	2	48	150.95	-	95	21	31	16	-	1.10
	31 T 10 60	2	60	189.15	-	110	21	31	16	-	1.70

T 10 (PASO 10 mm) PARA CORREAS DE LONGITUD 25 mm

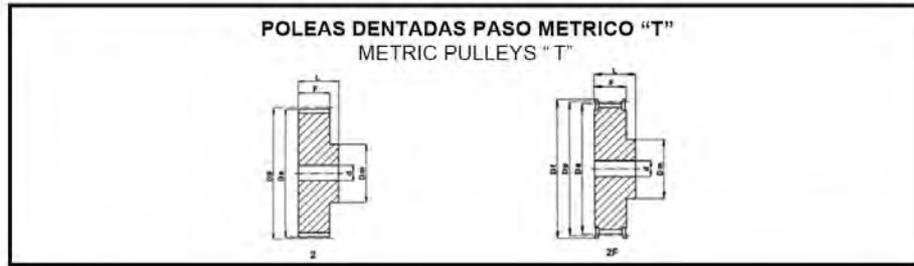
MATERIAL	CODIGO	TIPO	DIENTES	De	Df	Dm	F	L	d	Nº GUIA	Kg.
ALUMINIO UNI 9006 - T6	40 T 10 12	2F	12	36.35	42	28	30	40	6	208	0.10
	40 T 10 14	2F	14	42.70	48	32	30	40	8	210	0.13
	40 T 10 15	2F	15	45.90	51	32	30	40	8	211	0.15
	40 T 10 16	2F	16	49.10	54	35	30	40	8	212	0.18
	40 T 10 18	2F	18	55.45	60	40	30	40	8	214	0.22
	40 T 10 19	2F	19	58.65	66	44	30	40	8	216	0.25
	40 T 10 20	2F	20	61.80	66	46	30	40	8	216	0.28
	40 T 10 22	2F	22	68.20	75	52	30	40	8	218	0.34
	40 T 10 24	2F	24	74.55	83	58	30	40	8	219	0.39
	40 T 10 25	2F	25	77.75	83	60	30	40	8	219	0.42
	40 T 10 26	2F	26	80.90	87	60	30	40	8	220	0.48
	40 T 10 27	2F	27	84.10	91	60	30	40	8	221	0.54
	40 T 10 28	2F	28	87.25	93	60	30	40	8	222	0.55
	40 T 10 30	2F	30	93.65	97	60	30	40	8	223	0.64
	40 T 10 32	2F	32	100.00	106	65	30	40	10	224	0.69
	40 T 10 36	2F	36	112.75	119	70	30	40	10	225	0.87
	40 T 10 40	2F	40	125.45	131	80	30	40	10	226	1.07
	40 T 10 44	2	44	138.20	-	88	30	40	10	-	4.35
	40 T 10 48	2	48	150.95	-	95	30	40	16	-	1.52
	40 T 10 60	2	60	189.15	-	110	30	40	16	-	2.34



WEDA TRANSMISIONES S.L.

pág 27 - poleas

C./Circunvalación, 45
Tel. 93 719 05 57 - Fax 93 718 24 43
08210 BARBERÀ DEL VALLES (Barcelona)
E-mail: rcarnerr.weda@nexo.es



T 10 (PASO 10 mm) PARA CORREAS DE LONGITUD 32 mm

MATERIAL	CODIGO	TIPO	DIENTES	De	Df	Dm	F	L	d	Nº GUIA	Kg.
ALUMINIO UNI 9005 - T6	47 T 10 18	2F	18	55.45	60	40	37	47	10	214	0.25
	47 T 10 19	2F	19	58.65	66	44	37	47	10	216	0.29
	47 T 10 20	2F	20	61.80	66	46	37	47	12	216	0.32
	47 T 10 22	2F	22	68.20	75	52	37	47	12	218	0.39
	47 T 10 24	2F	24	74.55	83	58	37	47	12	219	0.47
	47 T 10 25	2F	25	77.75	83	60	37	47	12	219	0.53
	47 T 10 26	2F	26	80.90	87	60	37	47	12	220	0.56
	47 T 10 27	2F	27	84.10	91	60	37	47	12	221	0.60
	47 T 10 28	2F	28	87.25	93	60	37	47	12	222	0.64
	47 T 10 30	2F	30	93.65	97	60	37	47	12	223	0.74
	47 T 10 32	2F	32	100.00	106	65	37	47	12	224	0.84
	47 T 10 36	2F	36	112.75	119	70	37	47	16	225	1.06
	47 T 10 40	2F	40	125.45	131	80	37	47	16	226	1.32
	47 T 10 44	2	44	138.20	-	88	37	47	16	-	1.61
	47 T 10 48	2	48	150.95	-	95	37	47	16	-	1.93
	47 T 10 60	2	60	189.10	-	110	37	47	16	-	3.00

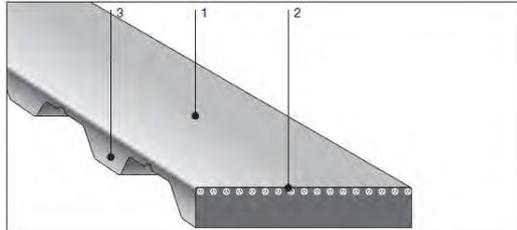
T 10 (PASO 10 mm) PARA CORREAS DE LONGITUD 50 mm

MATERIAL	CODIGO	TIPO	DIENTES	De	Df	Dm	F	L	d	Nº GUIA	Kg.
ALUMINIO UNI 9006 - T6	66 T 10 18	2F	18	55.45	60	40	56	66	10	214	0.42
	66 T 10 19	2F	19	58.65	66	44	56	66	10	216	0.47
	66 T 10 20	2F	20	61.80	66	46	56	66	12	216	0.52
	66 T 10 22	2F	22	68.20	75	52	56	66	12	218	0.57
	66 T 10 24	2F	24	74.55	83	58	56	66	12	219	0.74
	66 T 10 25	2F	25	77.75	83	60	56	66	12	219	0.77
	66 T 10 26	2F	26	80.90	87	60	56	66	12	220	0.82
	66 T 10 27	2F	27	84.10	91	60	56	66	12	221	0.95
	66 T 10 28	2F	28	87.25	93	60	56	66	12	222	0.96
	66 T 10 30	2F	30	93.65	97	60	56	66	12	223	1.17
	66 T 10 32	2F	32	100.00	106	65	56	66	12	224	1.30
	66 T 10 36	2F	36	112.75	119	70	56	66	16	225	1.64
	66 T 10 40	2F	40	125.45	131	80	56	66	16	226	2.00
	66 T 10 44	2	44	138.20	-	88	56	66	16	-	2.36
	66 T 10 48	2	48	150.95	-	95	56	66	16	-	2.83
	66 T 10 60	2	60	189.10	-	110	56	66	16	-	4.37

8.14 Anexo 14: Especificaciones técnicas WEDA correas

SYNCHRONOUS BELTS (POLYURETHANE)

BANDO BANCOLLAN SYNCHRONOUS BELTS



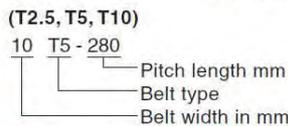
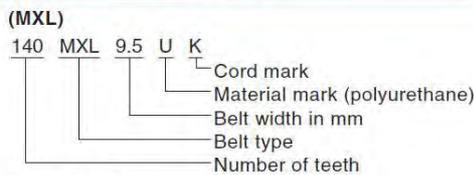
Construction

- 1: Polyurethane backing
- 2: Steel cord tensile members (For MXL, Aramid tensile members)
- 3: Polyurethane teeth

Features

- Non-slip
Accurate tooth dimension and steel cord ensures minimal stretching, no slippage and constant speeds.
- High oil and ozone resistance.
- Special backside surfaces are available.
Bando can mold virtually any special configuration on the belt's backside surface.

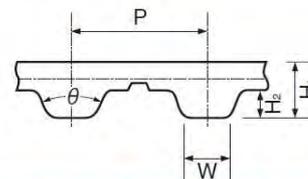
Size mark



We recommend Bando Bancollan Synchronous Belts are ideal for the following conditions.

- For improved performance from the belt i.e. as a conveyor or print drive, special shapes or indications can be formed on the backside.
- High oil or ozone resistance.
- High shock load applications.

Dimensions



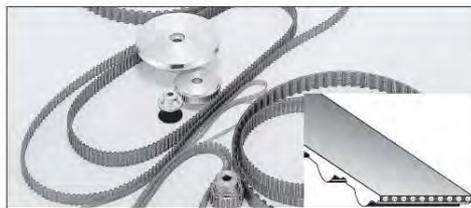
Type	P	W	H ₁	H ₂	θ
MXL	2.032mm (0.080")	0.76mm (0.030")	1.2mm (0.043")	0.51mm (0.020")	40°
XL	5.08mm (0.200")	1.35mm (0.053")	2.25mm (0.089")	1.25mm (0.049")	40°
L	9.525mm (0.375")	3.2mm (0.126")	3.5mm (0.138")	1.9mm (0.075")	40°
T2.5	2.5mm (0.098")	1.0mm (0.039")	1.3mm (0.051")	0.7mm (0.028")	40°
T5	5.0mm (0.197")	1.80mm (0.071")	2.2mm (0.087")	1.2mm (0.047")	40°
T10	10.0mm (0.394")	3.5mm (0.138")	4.5mm (0.177")	2.5mm (0.098")	40°

(XL, L)

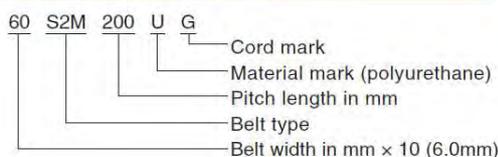


For XL type, Aramid cord (K) is available.

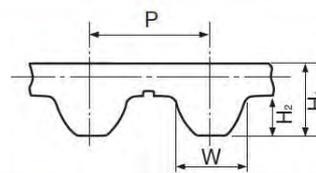
BANDO BANCOLLAN STS BELTS



Size mark



Dimensions



Type	P	W	H ₁	H ₂	Cord Mark
S2M	2.0mm	1.3mm	1.4mm	0.76mm	G K
S3M	3.0mm	1.95mm	2.0mm	1.14mm	G K

※Cord mark
G---Glass cord
K---Aramid cord



SYNCHRONOUS BELTS (POLYURETHANE)

BANDO BANCOLLAN SYNCHRONOUS / STS BELTS

Standard Sizes

BELT TYPE	P(mm)	NOMINAL WIDTH	BELT NUMBER (PITCH LENGTH mm)
S2M (Polyurethane)	2.0	40, 60, 100	76, 78, 80, 86, 90, 92, 100, 102, 106, 110, 112, 114, 116, 120, 122, 126, 128, 138, 140, 142, 144, 148, 158, 160, 164, 166, 168, 170, 172, 176, 180, 184, 186, 190, 200, 206, 214, 216, 218, 220, 224, 230, 234, 236, 238, 240, 250, 256, 258, 260, 264, 266, 280, 290, 296, 300, 314, 316, 320, 334, 340, 354, 360, 370, 380, 396, 400, 436, 440, 448, 454, 460, 474, 480, 488, 494, 500, 504, 520, 544, 548, 560, 580, 600, 620, 630, 654, 710, 754, 790, 800, 806, 828, *900, 976, *1000, *2250 ※Aramid Cordonly
S3M (Polyurethane)	3.0	60, 100, 150	120, 144, 150, 159, 162, 171, 174, 177, 186, 192, 195, 201, 204, 210, 213, 219, 222, 225, 234, 237, 240, 246, 252, 255, 264, 267, 270, 276, 285, 300, 312, 318, 327, 339, 342, 354, 360, 378, 384, 390, 396, 402, 405, 417, 420, 432, 447, 453, 459, 486, 501, 504, 507, 513, 516, 519, 537, 564, 588, 600, 609, 633, 660, 666, 681, 699, 750, 765, 774, 789, 804, 810, 885, 900, 936, 951, 1005, 1050, 1146, 1260, 1383, 1596, 1800, 2100
BELT TYPE	P(mm)	NOMINAL WIDTH	BELT NUMBER (NO OF TEETH)
T2.5 (Polyurethane)	2.500	3, 5, 7, 10, 13	120, 145, 160, 177.5, 200, 230, 245, 265, 285, 305, 317.5, 330, 380, 420, 480, 492.5, 500, 600, 620, 650, 780, 915, 950
T5 (Polyurethane)	5.000	5, 10, 15, 20, 25	165, 185, 200, 215, 220, 225, 245, 250, 255, 260, 270, 275, 280, 295, 300, 305, 325, 330, 340, 350, 355, 365, 375, 390, 400, 410, 420, 425, 450, 455, 465, 475, 480, 500, 510, 525, 545, 550, 560, 575, 600, 610, 620, 630, 640, 650, 660, 675, 690, 695, 700, 720, 750, 780, 800, 815, 840, 850, 900, 940, 990, 1000, 1075, 1100, 1140, 1215, 1380, 1440
T10 (Polyurethane)	10.000	15, 20, 25, 30, 50	260, 370, 400, 410, 440, 450, 500, 530, 560, 610, 630, 660, 690, 700, 720, 750, 780, 810, 840, 880, 890, 900, 920, 960, 970, 980, 1000, 1010, 1080, 1110, 1140, 1150, 1210, 1240, 1250, 1300, 1320, 1350, 1390, 1400, 1420, 1440, 1450, 1460, 1500, 1560, 1610, 1750, 1780, 1880, 1960, 2250
MXL (Polyurethane)	2.032	3.2, 4.8, 6.4, 9.5, 12.7	30, 35, 37, 40, 41, 42, 45, 48, 50, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 60, 63, 65, 67, 68, 70, 71, 72, 73, 75, 76, 79, 80, 81, 82, 83, 85, 87, 88, 90, 91, 94, 95, 97, 98, 100, 102, 103, 106, 110, 112, 114, 115, 118, 120, 123, 125, 126, 128, 130, 132, 134, 136, 140, 144, 150, 155, 157, 160, 165, 170, 175, 180, 184, 190, 194, 195, 200, 205, 210, 212, 215, 220, 225, 230, 236, 240, 250, 255, 260, 265, 270, 280, 295, 300, 305, 310, 330, 336, 340, 347, 350, 360, 438, 453, 468, 579, 660
BELT TYPE	P(mm)	NOMINAL WIDTH	BELT NUMBER (PITCH LENGTH INCHESx10)
XL (Polyurethane)	5.080	025, 031, 037, 050, 075	60, 70, 80, 84, 90, 96, 100, 110, 114, 120, 130, 140, 150, 154, 156, 160, 166, 168, 170, 176, 180, 190, 198, 200, 202, 210, 212, 220, 230, 236, 240, 250, 254, 260, 270, 290, 300, 320, 330, 376, 396, 414, 430, 460, 478, 480, 490, 512, 564, 630, 670, 686, 730
L (Polyurethane)	9.525	050, 075, 100, 150, 200	124, 150, 165, 187, 210, 225, 240, 255, 270, 285, 300, 322, 345, 360, 367, 390, 420, 450, 480, 510, 540, 600



8.15 Anexo 15: Ficha técnica.

Potencia máxima	1.000 W
Tensión alimentación	22,2 V
Capacidad Batería	8 Ah
Tipo de motor	DC <i>Brushless (sin escobillas)</i>
Relación de transmisión	2 a 1
Tipo de transmisión	Correa dentada
Peso total	12 Kg.
Peso máximo autorizado	100 Kg
Longitud máxima	106 cm
Anchura máxima	25 cm
Altura libre al suelo minima	22 mm
Autonomía media ponderada*	14 km
Velocidad máxima	25 km/h
Limitación velocidad	3 – 25 km/h

* Terreno llano, peso conductor 90 Kg, velocidad media 14 km/h

8.16 Anexo 16: Características técnicas motor.

Datos del motor dados por el fabricante:

Product Config Table	
Kv(rpm/v)	168
Peso (g)	840
Max Current(A)	70
Resistance(mh)	19
Max Voltage(V)	44
Power(W)	2400
Shaft A (mm)	8
Length B (mm)	86
Diámetro C (mm)	59
Can Length (mm)	62
Total Length E (mm)	113

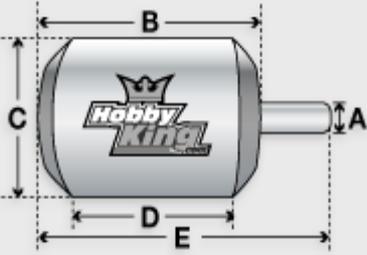


Tabla 8.1 Datos del motor dados por el fabricante.



Figura 8.70 motor Turnigy Aerodrive SK3 - 6374-168kv Brushless (sin escobillas)

Numero de polos: 16T

Voltaje máximo: 12S Li Poly (12 celdas de batería de Li-ion) (44,4v).

RPM/V: 168kv

Resistencia interna: 0.019 Ohm

Máxima carga: 70A

Máxima potencia: 2.400W

Diámetro del eje: 8.0mm

Distancia entre taladros de sujeción: 32mm



Rosca de los taladros de sujeción: M4 (Rosca Métrica 4 mm)

Peso: 840g.

Diámetro de los conectores eléctricos: 4.0 mm

8.17 Anexo 17: Características técnicas ESC

El modelo seleccionado es el Hobby King 80A ESC 4A SBEC, cuyos datos característicos son:



Figura 8.71 ESC Hobby King 80A ESC 4A SBEC

Constant Current: **80A**

Burst Current: **100A**

Battery: **2-6S Lipoly / 5-18s NiXX**

SBEC: **5.5v / 4A**

Motor Type: **Sensorless *Brushless* (sin escobillas)**

Size: **67 x 32 x 23 mm**

Battery Wire: **12AWG**

Motor Wire: **14AWG**

Weight: **95g**

Tabla 8.2 Características del ESC Hobby King 80A ESC 4A SBEC

8.18 Anexo 18: Características técnicas batería

Capacity: 8.000 mAh

Voltage: 6S1P / 6 Cell / 22.2 V

Discharge: 25C Constant / 50C Burst

Weight: 1.105 g (including wire, plug & case)

Dimensions: 195x50x55 mm

Discharge Plug: 5 mm bullet-connector

Advantages over traditional Lipoly batteries;

- Power density reaches 7.5 kw/kg.
- Less Voltage sag during high rate discharge, giving more power under load.
- Internal impedance can reach as low as 1.2 mOhm
- Greater thermal control, pack usually doesn't exceed 60degC
- Swelling during heavy load doesn't exceed 5%,
- Higher capacity during heavy discharge. More than 90% at 100% C rate.
- Fast charge capable, up to 15C
- Longer Cycle Life, almost double that of standard lipoly technology.

Product Config Table	
Capacidad(mAh)	8000
Configuración (s)	6
Discharge (c)	25
Peso (g)	1105
Max Charge Rate (C)	5
Longitud-A(mm)	195
Height-B(mm)	50
Anchura-C(mm)	55



Figura 8.72 Características de la batería dadas por el fabricante.

Las características más destacables son:

Corriente máxima de descarga = 25 C o lo que es lo mismo, $25 \times 8 = 200$ Amp

Corriente máxima de carga = 5 C es decir, 40 A.





Capítulo 9. Bibliografía y referencias

- [1] **Juan Miguel García Haro:** Proyecto fin de carrera “Desarrollo de un controlador para motores DC *Brushless (sin escobillas)* basado en CompactRIO y LabVIEW de National Instruments para el estudio de nuevos algoritmos de control”. UC3M
- [2] **GENERALIDADES DE LA MODULACIÓN DE ANCHO DE PULSO**
Francisco M. González-Longatt. flongatt@elecisc.ing.ucv.ve
Universidad Central de Venezuela
- [3] **Scientia et Technica Año XIV, No 40, Diciembre de 2008.**
Universidad Tecnológica de Pereira. ISSN 0122-1701 37
Fecha de Recepción: 8 de Septiembre de 2008
Fecha de Aceptación: 1 de Diciembre de 2008.
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN INVERSOR TRIFÁSICO
Design and Construction of a Three-phase inverter
- [4] Wikipedia. https://es.wikipedia.org/wiki/Bater%C3%ADa_de_ion_de_litio
Fecha Mayo 2015
- [5] Wikipedia. <https://es.wikipedia.org/wiki/Arduino>
Fecha mayo 2015



- [6] Menosmedia.org. <http://www.menosmedia.org/spip.php?article43>
Fecha mayo2015
- [7] Oliver Garrido Díaz: Proyecto fin de carrera “Control inalámbrico de sistemas basado en el uso de energía solar”
- [7] Pagina Web Hobby King: www.hobbyking.com
Fecha mayo 2015
- [8] Pagina Web www.arduino.cc
Fecha mayo 2015
- [9] Pagina Web: www.electronicaembajadores.com
Fecha mayo 2015
- [10] Pagina Web: <http://www.zboardshop.com/>
Fecha mayo 2015
- [11] Pagina Web:
<http://www.mellowboards.com/?gclid=CJy21pHt7MUCFQH4wgodxb4Ayg>
Fecha mayo 2015
- [12] Pagina Web: <https://fiikelectricskateboards.co.uk/>
Fecha mayo 2015
- [13] Pagina Web: <http://www.e-glide.com>
Fecha mayo 2015

