

# Tabla de Contenido

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Motivación . . . . .	1
1.2. Antecedentes del proyecto . . . . .	3
1.3. Objetivos . . . . .	4
1.4. Alcance . . . . .	5
1.5. Estructura del trabajo . . . . .	6
<b>2. Antecedentes teóricos y trabajos previos</b>	<b>7</b>
2.1. Vehículos Eléctricos . . . . .	7
2.1.1. Sistema de almacenamiento de energía . . . . .	8
2.1.2. Motores . . . . .	9
2.2. Tren de potencia del Áuriga . . . . .	9
2.2.1. Banco de baterías . . . . .	10
2.2.2. Motor <i>QS 260 V3</i> . . . . .	10
2.2.3. Controlador <i>Sevcon Gen4 Size 4</i> . . . . .	12
2.3. Motor Síncrono de Corriente Alterna . . . . .	14
2.3.1. Motor Síncrono de Imán Permanente <i>PMSM</i> . . . . .	15
2.3.2. Motor <i>DC</i> de Imán Permanente <i>BLDC</i> . . . . .	15
2.4. Control máquinas síncronas de imán permanente . . . . .	16
2.4.1. Modelo <i>PMSM</i> . . . . .	19
2.5. Protocolo <i>CAN</i> y <i>DVTC</i> . . . . .	22
2.5.1. Protocolo <i>CAN</i> . . . . .	22
2.5.2. <i>DVT</i> . . . . .	22
2.6. Trabajo previo . . . . .	25
<b>3. Propuesta de modelamiento y simulaciones</b>	<b>30</b>
3.1. Modelamiento del Sistema de Tracción . . . . .	30
3.1.1. Modelo Controlador-Motor . . . . .	30
3.1.2. Modelo en vacío y en carga . . . . .	31
3.1.3. Observador del torque en la carga . . . . .	32
3.1.4. Modelo en banco baterías . . . . .	34
3.2. Medidas de potencia y eficiencia . . . . .	35
3.2.1. Potencia de entrada y de salida . . . . .	35
3.2.2. Estimación de la eficiencia . . . . .	36
3.2.3. Medidas de descarga . . . . .	36
3.3. Modelo integrado batería-controlador-motor . . . . .	37
3.3.1. Simulaciones . . . . .	38

3.4.	Implementación Modelo control óptimo . . . . .	46
3.4.1.	Simulaciones modelo óptimo . . . . .	49
<b>4.</b>	<b>Construcción del tren de potencia</b>	<b>56</b>
4.1.	Construcción Electromotriz . . . . .	57
4.1.1.	Motor . . . . .	57
4.1.2.	Controlador . . . . .	58
4.1.3.	Unión e implementos complementarios del Sistema de Tracción . . . . .	61
4.2.	Configuración de los controladores <i>Sevcon</i> . . . . .	64
4.2.1.	Inicialización del programa . . . . .	65
4.2.2.	Configuración del nodo <i>CAN</i> y manejo del estado de la red . . . . .	65
4.2.3.	Configuración entradas digitales y analógicas . . . . .	66
4.2.4.	Configuración del contactor . . . . .	67
4.2.5.	Configuración de sensor de posición . . . . .	67
4.2.6.	Datos de manufacturación del motor y límites locales . . . . .	67
4.2.7.	Configuración del accionamiento y del perfil de conducción . . . . .	68
4.2.8.	Datos de manufacturación del banco de baterías . . . . .	69
4.2.9.	Configuración del límite de corriente y potencia de los motores . . . . .	69
4.2.10.	Configuración de mapas de potencia . . . . .	69
4.2.11.	Configuración del control . . . . .	71
4.2.12.	Configuración de mensajes del inversor . . . . .	72
<b>5.</b>	<b>Ensayos del Sistema implementado</b>	<b>73</b>
5.1.	Ensayos sin límite de potencia . . . . .	73
5.1.1.	Falla de componentes . . . . .	73
5.1.2.	Ensayo en vacío . . . . .	74
5.1.3.	Ensayos en carga . . . . .	74
5.2.	Ensayos con límite de potencia . . . . .	76
5.2.1.	Ensayos en vacío . . . . .	76
5.2.1.1.	Ensayos alineamiento del ángulo del rotor . . . . .	76
5.2.1.2.	Ensayos validación velocidad mecánica . . . . .	77
5.2.2.	Ensayos en carga . . . . .	77
5.2.2.1.	<i>Offset</i> de estimación de corriente de descarga . . . . .	78
5.2.2.2.	Error control <i>PI</i> . . . . .	79
5.2.2.3.	Aplicación de entorno de simulación . . . . .	79
5.3.	Ensayos Maestro y Esclavo . . . . .	80
5.3.1.	Ensayo en carretera . . . . .	83
5.3.2.	Análisis final del Sistema de Tracción modelado e implementado . . . . .	85
<b>6.</b>	<b>Contribuciones, Conclusiones y Trabajo Futuro</b>	<b>86</b>
6.1.	Contribución . . . . .	86
6.2.	Conclusiones . . . . .	88
6.3.	Trabajo Futuro . . . . .	89
	<b>Bibliografía</b>	<b>91</b>
	<b>Anexos</b>	<b>95</b>

<b>Anexo A. Simulaciones modelo batería-controlador-motor</b>	<b>96</b>
A.1. Implementación en <i>Matlab Simulink</i> . . . . .	96
A.2. Vacío directa y reversa . . . . .	100
A.3. Carga directa y reversa . . . . .	107
<b>Anexo B. Ensayos</b>	<b>113</b>
B.1. Ensayos en pista sin límite de potencia . . . . .	113
B.A.1. Ensayo en vacío, sin límite de corriente de descarga . . . . .	113
B.A.2. Ensayo en carga, sin límite de potencia . . . . .	115
B.2. Ensayos en pista con límite potencia . . . . .	120
B.B.1. Ensayo en vacío, con límite de potencia . . . . .	120
B.B.2. Ensayo alineamiento en vacío . . . . .	125
B.B.3. Ensayo tacómetro . . . . .	126
B.3. Ensayo en carga, con límite de potencia . . . . .	128
B.C.1. Estimación de la corriente de descarga . . . . .	133
B.C.2. Control <i>PI</i> . . . . .	135
B.C.3. Aplicación de datos en el entorno de Simulación . . . . .	136
B.4. Ensayo Maestro y Esclavo . . . . .	140
B.D.1. Ensayo en pista las Vizcachas sin sobre exigir el sistema . . . . .	140
B.D.2. Ensayo en pista las Vizcachas sobre exigiendo el sistema . . . . .	145
B.D.3. Ensayo en carretera . . . . .	152
<b>Anexo C. Modelo motor imán permanente</b>	<b>159</b>
C.1. Análisis de operación . . . . .	159
<b>Anexo D. Configuración de los Controladores</b>	<b>163</b>
D.1. Sistema de adquisición de datos . . . . .	163
D.A.1. Lectura del tráfico en la red <i>CAN</i> del inversor . . . . .	163
D.A.2. Remuestreo de datos para modelo planta inversor-motor . . . . .	165
D.2. Configuración de los <i>Sevcon</i> . . . . .	166
D.B.1. Inicialización del programa . . . . .	166
D.B.1.1. Archivos <i>EDS</i> y <i>DCF</i> . . . . .	166
D.B.2. Configuración de nodo <i>CAN</i> y manejo del estado de la red . . . . .	168
D.B.3. Configuración entradas digitales y analógicas . . . . .	169
D.B.4. Configuración de contactor . . . . .	171
D.B.5. Configuración de sensor de posición . . . . .	173
D.B.6. Configuración de datos de manufacturación del motor y límites locales . . . . .	174
D.B.7. Configuración del perfil de conducción . . . . .	177
D.B.8. Configuración de datos de manufacturación del banco de baterías . . . . .	179
D.B.9. Configuración de límite de corriente y potencia de los motores . . . . .	181
D.B.10. Configuración de mapas de potencia . . . . .	182
D.B.11. Configuración del modulador de voltaje . . . . .	184
D.B.12. Configuración de parámetros de control del inversor . . . . .	184
D.B.13. Configuración Maestro Esclavo . . . . .	186
D.B.14. Configuración de mensajes del inversor . . . . .	187
D.B.15. Decodificación trama <i>CANopen</i> . . . . .	187
D.B.16. Listado de alertas . . . . .	190

<b>Anexo E. <i>CANbus</i> y <i>CANopen</i></b>	<b>192</b>
E.1. <i>CANbus</i> . . . . .	192
E.A.1. Tipos de Tramas <i>CAN</i> . . . . .	195
E.2. <i>CANopen</i> . . . . .	196
<b>Anexo F. Características de motores <i>Qs</i></b>	<b>199</b>
F.1. Informe de pruebas motores <i>Qs</i> Eolian Áuriga . . . . .	199
F.2. Otros motores <i>Qs</i> . . . . .	203