



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA



DEPARTAMENTO DE
ELECTRONICA

Documento de Especificaciones

Control de motor AC

Fecha 23 de octubre de 2025

Integrantes: Rodrigo Sierra
Gabriel Arcaya
Sebastian Pinochet

Asignatura: ELO301

Profesor: Álvaro Aguirre

Índice

1	Identificación del cliente	4
1.1	Fecha del Requerimiento	4
1.2	Nombre del mandante	4
1.3	Persona de contacto	4
1.4	Datos de contacto	4
2	Nombre del Equipo	4
3	Marco de Referencia	4
4	Funcionalidad requerida y/o identificada	4
4.1	Principales funcionalidades que debe cumplir el sistema	4
4.2	Principales elementos que debe incorporar el sistema	5
5	Alimentación Utilizada	5
6	Empaquetamiento del equipo	5
6.1	Límites de Tamaño	5
6.2	Grado de Protección	5
6.3	Geometría del Equipo	5
6.4	Materiales a Utilizar	5
6.5	Interfaz Física con el Usuario	6
7	Características del Medio donde Será Utilizado	6
7.1	Temperatura Ambiental	6
7.2	Golpes y Vibraciones	6
8	Costos Objetivos del Proyecto	6
9	Certificaciones a Cumplir	6
10	Requerimientos Especiales	6

Registro de Especificaciones

Nombre del Proyecto: Control Motor AC

Fecha	Revisión	Autor	Comentarios
29/08/2025	1.0	Rodrigo Sierra, Gabriel Arcaya, Sebastián Pinochet	Revisión inicial

1. Identificación del cliente

1.1. Fecha del Requerimiento

La fecha de cumplimiento del requerimiento se establece para el final del semestre académico, lo que corresponde aproximadamente a un plazo de 14 semanas.

1.2. Nombre del mandante

Alvaro Aguirre

1.3. Persona de contacto

Alvaro Aguirre

1.4. Datos de contacto

alvaro.aguirre@gmail.com

2. Nombre del Equipo

Sysmic Robotics

3. Marco de Referencia

El problema identificado corresponde a la mejora del sistema de control de los motores de un robot de competencia de la categoría RoboCup SSL. En la actualidad, se utiliza una placa maestra que integra en un único circuito la CPU, los giroscopios, los drivers de potencia, el módulo de radio y la gestión de energía. Esta arquitectura monolítica ha generado dificultades en el montaje y mantenimiento, dado que la falla o el desplazamiento de un solo componente inutiliza la totalidad de la placa, dejándola inoperante y no apta para la competencia.

Con el fin de superar estas limitaciones, se propone una estrategia de modularización, en la cual cada motor contará con una placa independiente para su control. Esta aproximación permite aumentar la confiabilidad del sistema y, al mismo tiempo, ofrece la oportunidad de implementar un esquema de control más preciso. En particular, se plantea el uso de motores PMSM controlados mediante la técnica de Control Orientado por Campo (FOC), la cual garantiza un desempeño dinámico superior y un mayor aprovechamiento de las capacidades del actuador.

4. Funcionalidad requerida y/o identificada

4.1. Principales funcionalidades que debe cumplir el sistema

El sistema debe garantizar un control robusto y eficiente de los motores del robot de competencia, asegurando estabilidad y confiabilidad en escenarios de alta exigencia como la RoboCup SSL. Las principales funcionalidades requeridas son:

- Sensado de velocidad mediante un encoder.
- Utilización de un *driver* para la conmutación de MOSFET.
- Control básico para lograr movimiento de un motor síncrono de imanes permanentes (PMSM) con posibilidad de mejora futura a control basado en campo (FOC).
- Interfaz de comunicación SPI y UART para posibilidad de comunicación con una unidad central.
- Capacidad de diagnóstico básico (monitoreo de corriente y voltaje).

4.2. Principales elementos que debe incorporar el sistema

Para cumplir las funcionalidades definidas, el sistema debe integrar los siguientes elementos físicos y de diseño:

- **Controlador principal:** basado en microcontrolador STM32 para control de motores.
- **Etapa de potencia:** puente trifásico con MOSFETs y drivers de compuerta dedicados.
- **Sensado:** sensores de corriente (shunt) y sensores de posición (encoder magnético).
- **Alimentación:** convertidores DC-DC y sistema de protección.
- **Comunicación:** Posibilidad de comunicación externa con interfaz estándar (SPI, UART) para una CPU principal.
- **Firmware:** Algoritmo básico para la generación de movimiento en un motor síncrono de imanes permanentes (PMSM, *Permanent Magnet Synchronous Motor*), con la posibilidad de una futura implementación de control por orientación de campo (FOC) y ajuste de parámetros.

5. Alimentación Utilizada

La alimentación del sistema se establece en 24 V, correspondiente al voltaje utilizado en la placa principal. Además, se emplean baterías con características similares, cuya tensión nominal es de 22,2 V. En particular, se consideran dos modelos principales, entre ellos la batería CNHL de 22,2 V, 100C, 6s, con una capacidad de 1300 mAh y una energía de 28,86 Wh.

6. Empaquetamiento del equipo

6.1. Límites de Tamaño

El equipo "Sysmic Robotics" decidió reemplazar los motores EC-45 de Maxon debido a su alto costo, priorizando la reducción de gastos de producción frente a la categoría SSL. Como alternativa, se seleccionaron motores brushless de imanes permanentes adquiridos en AliExpress (modelos 5010 de 360KV y 750KV, costo aproximado de 16 USD), originalmente diseñados para multicopteros. Con un diámetro cercano a 5 cm, estos motores imponen la restricción de diseñar el driver con dimensiones máximas de 4×4 cm para su instalación en el centro del motor.

6.2. Grado de Protección

El sistema debe disponer de un nivel de protección adecuado que garantice su funcionamiento en entornos de competencia:

- **Protección mecánica:** Se considera suficiente un encapsulado que prevenga daños ocasionados por golpes o vibraciones.

6.3. Geometría del Equipo

La geometría se define por las dimensiones y el volumen ocupado por el sistema. En dispositivos de control para robots de competencia se consideran:

- **Dimensiones del PCB:** tamaño máximo de 4×4 cm para permitir su montaje en el centro del motor.
- **Espesor:** placas de 1,6 mm con posibilidad de 4 capas de cobre.
- **Forma:** diseño cuadrado que facilite una sujeción firme mediante tornillos al sistema.
- **Conectividad:** conectores laterales que faciliten el cableado interno del robot.

6.4. Materiales a Utilizar

La selección de materiales debe asegurar resistencia mecánica, estabilidad térmica y buena conductividad eléctrica. Para este tipo de sistemas se consideran:

- **Sustrato de PCB:** FR4 de alta calidad para aplicaciones electrónicas estándar.
- **Cobre:** espesor de 1 oz/ft² para las pistas de potencia.
- **Carcasa:** estructura plástica ligera PLA impreso en 3D para el montaje.

6.5. Interfaz Física con el Usuario

La interfaz física debe permitir la interacción básica entre el operador y el sistema de control del motor, facilitando el montaje, configuración y monitoreo en condiciones de competencia. Los elementos considerados son:

- **Conectores de potencia:** terminales para la conexión de las baterías de 24 V y de las fases del motor PMSM.
- **Conectores de señal:** pines o headers dedicados para comunicación con la CPU principal (SPI, UART).
- **Pads de programación:** interfaz física para grabar o depurar el firmware (ej. SWD o JTAG).

7. Características del Medio donde Será Utilizado

7.1. Temperatura Ambiental

El sistema debe operar en condiciones de temperatura moderada, típicas de entornos cerrados donde se desarrollan las competencias RoboCup. Se considera un rango de funcionamiento entre 10°C y 40°C, con tolerancia a incrementos locales debido a la disipación térmica de los componentes electrónicos.

7.2. Golpes y Vibraciones

El dispositivo debe soportar impactos moderados derivados de choques entre robots o con el balón, habituales en el contexto competitivo. Se considera el uso de carcasa protectora de plástico ABS o impresión 3D en PLA reforzado, capaz de absorber energía de impacto sin comprometer el funcionamiento electrónico.

8. Costos Objetivos del Proyecto

El equipo indicó que el costo aproximado de producción de un driver basado en el integrado L623SPD es de 18 USD; sin embargo, dicho diseño no cumple con el desempeño esperado. Como referencia tecnológica se considera el módulo Moteus C1, que implementa control FOC, aunque su precio de adquisición es de 70 USD por unidad, lo cual resulta poco viable económicamente.

En este contexto, el objetivo del proyecto es desarrollar un driver con capacidad de control FOC cuyo costo de producción se sitúe en torno a los 20 ~ 30 USD por unidad. Esta meta responde a la necesidad de fabricar un total de 24 drivers (cuatro por cada robot), considerando un mínimo de seis robots en operación. Alcanzar este umbral de costos permitirá mantener la competitividad frente a equipos rivales que emplean componentes de menor precio, sin comprometer el rendimiento requerido en competencia.

9. Certificaciones a Cumplir

Dado que el presente desarrollo corresponde a un producto de carácter experimental y de testeo, no se priorizará la obtención formal de certificaciones. Sin embargo, el diseño del driver tomará como referencia normativas y buenas prácticas de seguridad eléctrica y compatibilidad electromagnética, con el fin de asegurar un nivel básico de robustez y confiabilidad.

10. Requerimientos Especiales

Además de los criterios funcionales básicos, el sistema debe contemplar requerimientos adicionales que faciliten su operación y mantenimiento en el entorno de competencia:

- **Mantenimiento rápido:** facilidad de reemplazo de módulos en caso de falla durante el torneo.
- **Modularidad:** independencia de cada driver para minimizar el impacto de fallas aisladas.
- **Protección eléctrica:** detección de sobrecorriente y sobretensión para prevenir daños en el motor y la electrónica.
- **Interfaz de depuración:** acceso a pads o conectores para reprogramación y diagnóstico rápido.