|  |
| --- |
|  |

Documento de Especificaciones y Requisitos de Producto [DEP] para el desarrollo de productos mecatrónicos

Proyecto: KiSS

Revisión 1.0

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |

**Instrucciones para el uso de este formato**

Este formato es una plantilla tipo para documentos de requisitos de producto para su desarrollo.

Está basado y es conforme con el estándar IEEE Std 830-1998 y ha sido modificada para su suso en un ambiente de desarrollo mecatrónico simplificado.

El uso de este documento permite capturar la información relevante para desarrollar un producto o algunas de sus partes, sean electrónicas, mecánicas, de software y funcionales.

Las secciones que no se consideren aplicables al sistema descrito podrán de forma justificada indicarse como no aplicables (NA).

Notas:

Los textos en color azul son indicaciones que deben eliminarse y, en su caso, sustituirse por los contenidos descritos en cada apartado.

Los textos entre corchetes del tipo “” permiten la inclusión directa de texto con el color y estilo adecuado a la sección, al pulsar sobre ellos con el puntero del ratón.

Los títulos y subtítulos de cada apartado están definidos como estilos de MS Word, de forma que su numeración consecutiva se genera automáticamente según se trate de estilos “Titulo1, Titulo2 y Titulo3”.

La sangría de los textos dentro de cada apartado se genera automáticamente al pulsar Intro al final de la línea de título. (Estilos Normal indentado1, Normal indentado 2 y Normal indentado 3).

El índice del documento es una tabla de contenido que MS Word actualiza tomando como criterio los títulos del documento.

Una vez terminada su redacción debe indicarse a Word que actualice todo su contenido para reflejar el contenido definitivo.

Ficha del documento

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Fecha** | **Revisión** | **Autor** | **Verificado dep. calidad.** |
| 18/03/2025 | 1 | Yunely Sánchez Ruiz  Jacob Benjamín Luciano |  |

Documento validado por las partes en fecha:

|  |  |
| --- | --- |
| Por el cliente | Por la empresa suministradora |
|  |  |
| Fdo. D. Carlos Pichardo Viuque | Fdo. D. Yunely Sánchez Ruiz  Fdo. D. Jacob Benjamín Luciano |

Contenido

[Ficha del documento 4](#_Toc33411057)

[Contenido 5](#_Toc33411058)

[1 Introducción 7](#_Toc33411059)

[1.1 Propósito 7](#_Toc33411060)

[1.2 Alcance 7](#_Toc33411061)

[1.3 Personal involucrado 7](#_Toc33411062)

[1.4 Definiciones, acrónimos y abreviaturas 7](#_Toc33411063)

[1.5 Referencias 7](#_Toc33411064)

[1.6 Resumen 7](#_Toc33411065)

[2 Descripción general 8](#_Toc33411066)

[2.1 Perspectiva del producto 8](#_Toc33411067)

[2.2 Funcionalidad del producto 8](#_Toc33411068)

[2.3 Características de los usuarios 8](#_Toc33411069)

[2.4 Restricciones 8](#_Toc33411070)

[2.5 Suposiciones y dependencias 8](#_Toc33411071)

[2.6 Evolución previsible del sistema 8](#_Toc33411072)

[3 Requisitos específicos 8](#_Toc33411073)

[3.1 Requisitos comunes de los interfaces 9](#_Toc33411074)

[3.1.1 Interfaces de usuario 9](#_Toc33411075)

[3.1.2 Interfaces de hardware 9](#_Toc33411076)

[3.1.3 Interfaces de software 9](#_Toc33411077)

[3.1.4 Interfaces de comunicación 9](#_Toc33411078)

[3.2 Requisitos funcionales 9](#_Toc33411079)

[3.2.1 Requisito funcional 1 10](#_Toc33411080)

[3.2.2 Requisito funcional 2 10](#_Toc33411081)

[3.2.3 Requisito funcional 3 10](#_Toc33411082)

[3.2.4 Requisito funcional n 10](#_Toc33411083)

[3.3 Requisitos no funcionales 10](#_Toc33411084)

[3.3.1 Requisitos de rendimiento 10](#_Toc33411085)

[3.3.2 Seguridad 10](#_Toc33411086)

[3.3.3 Fiabilidad 10](#_Toc33411087)

[3.3.4 Disponibilidad 10](#_Toc33411088)

[3.3.5 Mantenibilidad 11](#_Toc33411089)

[3.3.6 Portabilidad 11](#_Toc33411090)

[3.4 Otros requisitos 11](#_Toc33411091)

[4 Apéndices 11](#_Toc33411092)

# Introducción

Esta Especificación de Requisitos de Producto (DEP) proporciona una vista general de los requisitos, especificaciones y funcionalidades del PCB del controlador de velocidad para motores brushless y las personas que se verán involucradas durante su desarrollo para lograr un producto de calidad.

La introducción de la Especificación de requisitos de producto (DEP) debe proporcionar una vista general del DEP. Debe incluir el objetivo, el alcance, las definiciones y acrónimos, las referencias, y la vista general del DEP.

## Propósito

Registrar de manera escrita todos los requisitos, especificaciones y funcionalidades del PCB del controlador de velocidad para motores brushless pequeños que se desarrollará de la mano de dos técnicos en mecatrónica.

* Propósito del documento
* Audiencia a la que va dirigido

## Alcance

Definición de la manera más explícita de los requisitos, especificaciones, funcionalidades, recomendaciones y prohibiciones de acuerdo al desarrollo y uso de la PCB del controlador de velocidad para motores brushless pequeños.

* Identificación del producto(s) a desarrollar mediante un nombre
* Consistencia con definiciones similares de documentos de mayor nivel (ej. Descripción del sistema) que puedan existir

## Personal involucrado

|  |  |
| --- | --- |
| Nombre | Yunely Sánchez Ruiz |
| Rol | Diseñador de PCB |
| Categoría profesional | Tecnólogo en Mecatrónica |
| Responsabilidades | Diseño del PCB |
| Información de contacto | 20210282@itla.edu.do |
| Aprobación | Total |

|  |  |
| --- | --- |
| Nombre | Jacob Benjamín Luciano |
| Rol | Programador de software |
| Categoría profesional | Tecnólogo en Mecatrónica |
| Responsabilidades | Programación del software |
| Información de contacto | 20221148@itla.edu.do |
| Aprobación | Total |

Relación de personas involucradas en el desarrollo del sistema, con información de contacto.

Esta información es útil para que el gestor del proyecto pueda localizar a todos los participantes y recabar la información necesaria para la obtención de requisitos, validaciones de seguimiento, etc.

## Definiciones, acrónimos y abreviaturas

ESC: Electronic Speed Controller (Controlador electrónico de velocidad).

PCB: Printed Circuit Board (Placa de circuito impreso).

Motor BLDC: Motor brushless DC (Motor DC sin escobillas).

DC: Direct Current (Corriente directa).

SPI: Serial Peripheral Interface (Interfaz periférica serial).

PWM: Pulse Width Modulation (Modulación por ancho de pulso).

FC: Flight controller(controlador de vuelo).

FOC: Field oriented control (control de campo orientado).

IC: Integrated circuit (circuito integrado).

Definición de todos los términos, abreviaturas y acrónimos necesarios para interpretar apropiadamente este documento. En ella se pueden indicar referencias a uno o más apéndices, o a otros documentos.

## Referencias

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Referencia** | **Titulo** | **Ruta** | **Fecha** | **Autor** |
| 1 | Repositorio GitHub del proyecto | <https://github.com/YunelySR/ESC_MOTOR_BLDC.git> | 18/03/2025 | Yunely Sánchez Ruiz  Jacob Benjamín Luciano |
| 2 | Microcontrolador del controlador de velocidad | <https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f446re.pdf> | 21/03/2025 | STMicroelectronics |
| 3 | Driver del controlador de velocidad | <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/drv8353f.pdf?ts=1741872135511&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fproduct%252FDRV8353F> | 18/03/2025 | Texas Instruments |
| 4 | MOSFET de potencia | <https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-BSG0811ND-DS-v02_02-EN.pdf?fileId=5546d4624bcaebcf014c2d01f1490263> | 18/03/2025 | Infineon |
| 5 | Motor BLDC pequeño | <https://cdn.robotshop.com/rbm/a00a7635-653b-4220-aac9-b0c23c5c5e2c/5/520795f9-301f-4e66-a0a3-019811d1f78b/222c434c_a2212-brushless-motor.pdf> | 21/03/2025 | DONGGUAN E-S MOTOR CO., LTD |

Relación completa de todos los documentos y link a todas las herramientas de software utilizados para la gestión del proyecto y versiones de documentos, relacionados en la especificación de requisitos de producto, identificando de cada documento el titulo, referencia (si procede), fecha y organización que lo proporciona.

## Resumen

En el presente documento los requisitos y características que hemos planteado para el diseño y la creación del software y la PCB del controlador de velocidad para motores brushless pequeños se han descritos de manera explícita con el fin de desarrollar el producto con las funcionalidades especificadas también en dicho documento. Se tomaron en cuenta las restricciones y suposiciones al momento de usar el producto, así como también las características del usuario final.

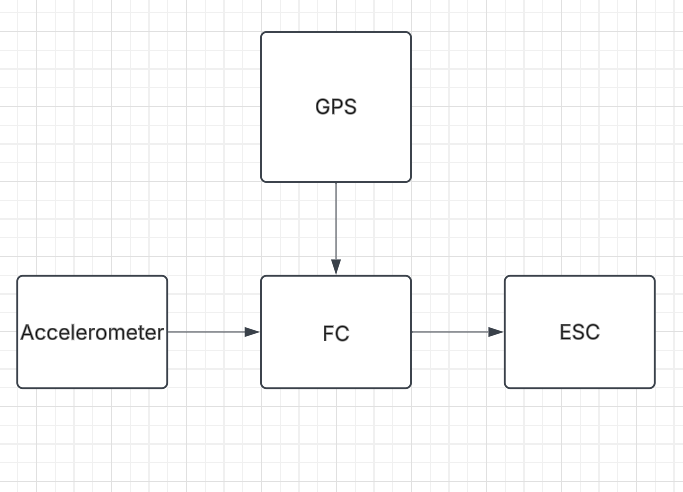
* Descripción del contenido del resto del documento
* Explicación de la organización del documento

# Descripción general

## Perspectiva del producto

Este producto es un componente de un controlador de vuelo diseñado para drones, aunque también puede utilizarse en otras aplicaciones que requieran el control de un motor brushless.

**Diagrama del controlador de vuelo**



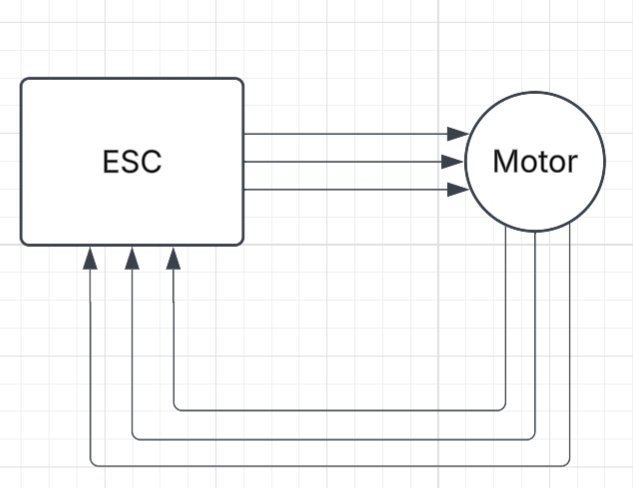
En la siguiente figura se presentan las distintas conexiones del sistema. Estas señales determinan el comportamiento del ESC, definiendo su respuesta en función de las condiciones de operación.

## Funcionalidad del producto

El ESC (Electronic Speed Controller) se encarga de regular la velocidad y el torque de un motor brushless, además de gestionar la corriente que circula a través de este. También cumple una función de protección, evitando que tanto el motor como el controlador sufran daños por un consumo de corriente excesivo.

A través de este controlador, es posible establecer un límite de corriente máxima en función de las especificaciones del motor. Si la corriente se acerca a este límite, el ESC la regula para mantenerla dentro de un rango seguro. En caso de que el consumo supere un umbral crítico, el controlador puede interrumpir el funcionamiento del motor para prevenir fallos o daños en el sistema.

**Diagrama de Funcionamiento**



## Características de los usuarios

|  |  |
| --- | --- |
| Tipo de usuario | Ingenieros, técnicos y estudiantes. |
| Formación | ingeniería electrónica, mecatrónica o áreas afines. |
| Habilidades | Programación, conocimientos de electrónica y control de motores. |
| Actividades | Los usuarios se encargan de la integración y programación de sistemas de control de motores en drones, robots u otras aplicaciones que requieran motores brushless. |

Descripción de los usuarios del producto, incluyendo nivel educacional, experiencia y experiencia técnica.

## Restricciones

El ESC está compuesto por un microcontrolador, un controlador Half-Bridge de tres fases y los MOSFET correspondientes para cada fase del motor.

Cada uno de estos componentes tiene ciertas limitaciones que deben considerarse en el desarrollo del ESC.

Para alimentar el driver DRV8353SRTA, se requiere un voltaje mínimo de 9V, lo que implica que la batería de litio debe contar con al menos tres celdas (3S). Además, el máximo de corriente que puede circular a través de los MOSFET es de 50A, por lo que el motor utilizado no debe superar este consumo.

Los MOSFET integrados en este ESC presentan una reducción en su capacidad de conducción a medida que su temperatura aumenta. Cuando alcanzan los 100°C, la corriente máxima que pueden manejar disminuye significativamente, limitándose a 19A para Q1 y 41A para Q2. Este factor debe ser tomado en cuenta en el diseño del ESC para evitar sobrecargas térmicas y garantizar un funcionamiento seguro y eficiente.

Al programar mediante SPI para acceder y modificar los registros del controlador, los MOSFET no deben estar en conducción. Para ello, es necesario desconectar el switch que controla las señales de activación de los MOSFET de baja.

El microcontrolador se programa mediante ST-Link y utiliza el lenguaje de programación C/C++.

Este ESC no es compatible con comunicación trapezoidal, a pesar de que el driver sí la soporta. Su diseño está optimizado para operar el motor mediante comunicación sinusoidal o a través de control por campo orientado (FOC). Esto se debe a que el ESC utiliza el modo 3xPWM del driver, lo que restringe el uso de la conmutación trapezoidal.

Descripción de aquellas limitaciones a tener en cuenta a la hora de diseñar y desarrollar el sistema, tales como el empleo de determinadas metodologías de desarrollo, lenguajes de programación, normas particulares, restricciones de hardware, de sistema operativo etc.

## Suposiciones y dependencias

El sistema está diseñado para operar dentro de un rango de temperatura adecuado, lo que permite a los MOSFETs ofrecer su mejor rendimiento. Sin embargo, considerando que el ESC se utilizará en un dron que podría operar en condiciones de altas temperaturas, es esencial que los motores empleados no superen la corriente máxima que los MOSFETs pueden manejar a temperaturas elevadas. En particular, se debe tener en cuenta que el MOSFET Q1, a temperaturas altas, presenta una capacidad de conducción reducida, limitándose a 19A debido a la caída de rendimiento térmico.

La PCB será fabricada por JLCPCB. Por lo tanto, si alguno de los componentes no está disponible, será necesario modificar el diseño, lo que podría implicar la inclusión de nuevos componentes o la sustitución de los actuales para garantizar el funcionamiento adecuado del sistema.

Descripción de aquellos factores que, si cambian, pueden afectar a los requisitos. Por ejemplo, una asunción puede ser que determinado sistema operativo está disponible para el hardware requerido. De hecho, si el sistema operativo no estuviera disponible, la DEP debería modificarse.

## Evolución previsible del sistema

Es posible sustituir los MOSFET por modelos de mayor capacidad y ajustar las resistencias de medición de corriente conectadas al driver DRV8353SRTA. Esto permitiría utilizar motores brushless con un consumo superior al que el ESC soporta en su configuración actual.

Además, se puede emplear el modo 6xPWM para mejorar la eficiencia en la conmutación de los MOSFET. Asimismo, la implementación de un código basado en control por campo orientado (FOC) optimizaría tanto el rendimiento como la estabilidad del sistema. A su vez, se podría utilizar un microcontrolador más avanzado, capaz de realizar cálculos más complejos, lo que contribuiría a mejorar la estabilidad del motor y a extender la vida útil de la batería.

Identificación de futuras mejoras al sistema, que podrán analizarse e implementarse en un futuro.

# Requisitos específicos

Esta es la sección más extensa y más importante del documento.

Debe contener una lista detallada y completa de los requisitos que debe cumplir el sistema a desarrollar. El nivel de detalle de los requisitos debe ser el suficiente para que el equipo de desarrollo pueda diseñar un sistema que satisfaga los requisitos y los encargados de las pruebas puedan determinar si éstos se satisfacen.

Los requisitos se dispondrán en forma de listas numeradas para su identificación, seguimiento, trazabilidad y validación (ej. RF 10, RF 10.1, RF 10.2,...).

Para cada requisito debe completarse la siguiente tabla:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Número de requisito | 1 | | |
| Nombre de requisito | Sin sensores Hall | | |
| Tipo | Requisito |  | |
| Fuente del requisito | Diseñadores | | |
| Prioridad del requisito | Alta/Esencial |  |  |

El controlador de velocidad para motores brushless no debe requerir el uso de sensores hall por parte del motor para su funcionamiento. El diseño principal se centra en prescindir de los sensores hall para el control de los motores brushless que no tienen este tipo de sensores.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Número de requisito | 2 | | |
| Nombre de requisito | Espacio mínimo en la PCB | | |
| Tipo | Requisito |  | |
| Fuente del requisito | Diseñadores | | |
| Prioridad del requisito | Alta/Esencial |  |  |

La PCB del controlador de velocidad para motores brushless pequeños debe ser lo más pequeña posible, teniendo como referencia inicial las dimensiones 10cm x 10cm para desarrollar el prototipo y con vistas a reducir dichas dimensiones a medida que evolucione el producto.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Número de requisito | 3 | | |
| Nombre de requisito | Uso de un IC de STMicroelectronics | | |
| Tipo | Requisito |  | |
| Fuente del requisito | Diseñadores | | |
| Prioridad del requisito | Alta/Esencial |  |  |

Se requiere el uso de un circuito integrado de la empresa de semiconductores STMicroelectronics para que sea el cerebro del controlador de velocidad para motores brushless pequeños. Se ha elegido esta marca por la gran robustez y fiabilidad de sus productos en entornos industriales y de robótica donde se ve involucrado el control de motores.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Número de requisito | 4 | | |
| Nombre de requisito | Uso de un IC de drivers de MOSFETs | | |
| Tipo | Requisito |  | |
| Fuente del requisito | Diseñadores | | |
| Prioridad del requisito | Alta/Esencial |  |  |

Se requiere el uso de un circuito integrado que incorpore drivers para la conmutación de diferentes MOSFETs de manera eficiente. Esto ayudará a reducir el espacio en la PCB del controlador de velocidad y aumentar la eficiencia del mismo para controlar los motores brushless pequeños.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Número de requisito | 5 | | |
| Nombre de requisito | PCB que soporte 20A del motor | | |
| Tipo | Requisito |  | |
| Fuente del requisito | Diseñadores | | |
| Prioridad del requisito | Alta/Esencial |  |  |

La PCB debe soportar un mínimo de 20A para la corriente que circulará por el motor brushless. Los motores brushless pequeños consumen de 6 a 12 amperios en máxima eficiencia.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Número de requisito | 6 | | |
| Nombre de requisito | Uso de módulos de MOSFETs | | |
| Tipo | Requisito |  | |
| Fuente del requisito | Diseñadores | | |
| Prioridad del requisito |  | Media/Deseado |  |

Se requieren de módulos o encapsulados que contenga mínimo dos MOSFETs con el fin de reducir el espacio en la PCB. Con este requisito se busca evitar que haya 6 transistores en la PCB haciendo la misma función que 3 encapsulados que contengan pares de transistores dentro suyo.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Número de requisito | 7 | | |
| Nombre de requisito | IC de drivers de MOSFETs programable | | |
| Tipo | Requisito |  | |
| Fuente del requisito | Diseñadores | | |
| Prioridad del requisito |  | Media/Deseado |  |

Se requiere que el IC de drivers de MOSFETs sea programable para que el usuario puedo modificar parámetros del control de voltaje y corriente de los transistores MOSFETs y el motor brushless.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Número de requisito | 8 | | |
| Nombre de requisito | IC de drivers de MOSFETs con capacidad 3xPWM | | |
| Tipo | Requisito |  | |
| Fuente del requisito | Diseñadores | | |
| Prioridad del requisito | Alta/Esencial |  |  |

Se requiere que el IC de driver de MOSFETs posea control para manejar 3 entradas de PWM de manera eficiente ya que estas son las señales que recibirá del IC de STMicroelectronics para manipular la conmutación de los MOSFETs de manera muy precisa para hacer girar el motor brushless de la manera correcta.

y realizar la descripción del requisito

La distribución de los párrafos que forman este punto puede diferir del propuesto en esta plantilla, si las características del sistema aconsejan otra distribución para ofrecer mayor claridad en la exposición.

## Requisitos comunes de las interfaces

A continuación, se describirá de forma detalla las entradas y salidas tanto del hardware como el software involucrado en el ESC.

Descripción detallada de todas las entradas y salidas del sistema de software y hardware.

### Interfaces de usuario

El ESC contará con una interfaz de usuario sencilla y eficiente para permitir la configuración de este mismo. Esta interfaz podrá ser accedida a través de un software en PC con el uso de ST-link.

Describir los requisitos del interfaz de usuario para el producto. Esto puede estar en la forma de descripciones del texto o pantallas del interfaz. Por ejemplo, posiblemente el cliente ha especificado el estilo y los colores del producto. Describa exacto cómo el producto aparecerá a su usuario previsto.

### Interfaces de hardware

Entradas

* Señales PWM de control
* Cantidad: 3 señales PWM
* Rango de voltaje: 3.3V (compatible con STM32)
* Frecuencia esperada: 20kHz - 40 kHz
* Función: Control de velocidad y modulación de la señal de conmutación del motor.
* Fuente de alimentación
* Voltaje de operación: 9V - 12.6V (batería 3S LiPo)
* Consumo máximo: 50A (limitado por los MOSFETs y diseño térmico)
* Protección contra sobrecorriente y sobrecalentamiento.
* SPI para configuración del driver DRV8353SRTA
* Protocolo: SPI
* Líneas: SCK, MISO, MOSI, CS
* Función: Configuración de parámetros del driver y monitoreo de estado.
* Sensado de corriente
* Método: Resistencias shunt y amplificador de corriente integrado en el DRV8353SRTA.
* Uso: Protección contra sobrecorriente

Salidas

* Señales de conmutación a los MOSFETs
* Cantidad: 6 señales (High-side y Low-side para cada fase)
* Tipo: PWM
* Voltaje: 0V - Vgs (definido por el driver)
* Función: Control de las fases del motor brushless.
* Comunicación con el microcontrolador
* Protocolo: SPI (para depuración y monitoreo)
* Función: Configuración y diagnóstico de fallos.

### Interfaces de software

Comunicación con el Microcontrolador

* SPI para configuración del ESC
* Velocidad de reloj: Hasta 1 MHz
* Modo de operación: SPI modo 1 (CPOL = 0, CPHA = 1)
* Registros accesibles: Configuración de límite de corriente, ajustes de PWM, ajuste de tiempos de conmutación y ajuste de tiempo muerto.

Formato de datos transmitidos

* Datos enviados y recibidos por SPI: Lectura y escritura de registros del Driver.

Indicar si hay que integrar el producto con otros productos de software.

Para cada producto de software debe especificarse lo siguiente:

* Descripción del producto software utilizado
* Propósito del interfaz
* Definición del interfaz: contiendo y formato

### Interfaces de comunicación

El ESC requiere comunicación con otros sistemas para su control y monitoreo. Se emplearán protocolos estándar para garantizar compatibilidad y eficiencia.

3.1.4.1 Protocolo SPI

* Función: Comunicación entre el microcontrolador y el driver DRV8353SRTA.
* Datos transmitidos: Configuración del driver, estados de fallos, monitoreo de corriente,lectura y escritura de registros de este mismo.

3.1.4.2 Protocolo SWD

* Función: Comunicación entre el microcontrolador y el programador ST-Link.
* Datos transmitidos: Configuración del microcontrolador y depuración del código.

Describir los requisitos del interfaz de comunicación si hay comunicaciones con otros sistemas y cuáles son los protocolos de comunicación.

## Requisitos funcionales

Esta sección define las funciones esenciales del ESC, asegurando un correcto procesamiento de datos y respuesta a diferentes condiciones operativas.

Secuencia exacta de operaciones

* Inicialización de registros y configuración de parámetros.
* Procesamiento de datos.
* Generación de señales PWM para control del motor.

Respuesta a situaciones anormales

* Protección contra sobrecorriente.
* Desactivación del motor en caso de sobrecalentamiento.

Parámetros ajustables

* Modo x3PWM
* Límite de corriente
* Frecuencia PWM
* Comunicacion FOC o Sinusoidal

Generación de salidas

* Control de velocidad y torque

Definición de acciones fundamentales que debe realizar el producto al recibir información, procesarla y producir resultados.

En ellas se incluye:

* Comprobación de validez de las entradas
* Secuencia exacta de operaciones
* Respuesta a situaciones anormales (desbordamientos, comunicaciones, recuperación de errores)
* Parámetros
* Generación de salidas
* Relaciones entre entradas y salidas (secuencias de entradas y salidas, fórmulas para la conversión de información)
* Especificación de los requisitos lógicos para la información que será almacenada en base de datos (tipo de información, requerido)

Los requisitos funcionales pueden ser divididos en sub-secciones.

### Requisito funcional 1

**Capacidad de manejo de Corriente:**

El ESC debe ser capaz de manejar más de 20A de corriente de forma continua. Los motores brushless seleccionados para este diseño son los modelos A2212, los cuales son ampliamente utilizados en el mercado. Estos motores operan de manera eficiente en un rango de 6 a 12A y pueden soportar picos de hasta 18A durante un máximo de 60 segundos.

### Requisito funcional 2

**Protección contra sobrecorriente:**

El ESC debe ser capaz de detectar y responder a condiciones de sobrecorriente en los motores para proteger tanto el sistema como los propios motores. Para ello, se considerará el tipo de motor utilizado y se emplearán resistencias shunt, previamente calculadas, en serie con los MOSFETs de baja. La medición de corriente se realizará utilizando los amplificadores operacionales (OPAMP) integrados en el driver, diseñados específicamente para este propósito. De esta manera, se podrá regular la corriente suministrada al motor y, en caso de que se detecte una sobrecorriente que supere el límite máximo permitido por el motor, se desactivará el driver para evitar daños.

### Requisito funcional 3

**Comunicacion por SPI:**

El ESC debe ser capaz de ajustar parámetros y modificar las configuraciones del driver sin necesidad de realizar cambios en el hardware. Para ello, se requiere comunicación por SPI, lo que permite modificar dinámicamente los modos de conmutación PWM, alternando entre 3xPWM y 6xPWM para mejorar la eficiencia. Además, a través del SPI, es posible ajustar el tiempo muerto, monitorear condiciones de sobrecorriente y sobrecalentamiento, y definir la respuesta del driver ante estas situaciones. También se puede controlar la corriente de compuerta (Gate) de los MOSFETs, entre otras funciones clave para optimizar el rendimiento del sistema.

### Requisito funcional 4

**Control de velocidad y torque:**

El ESC debe ser capaz de regular tanto la velocidad como el torque del motor de manera eficiente, utilizando técnicas avanzadas de conmutación sinusoidal o control por campo orientado (FOC). Esto permitirá un control más preciso y suave, reduciendo el ruido eléctrico y las pérdidas de conmutación. Además, el sistema debe ser capaz de adaptarse dinámicamente a las condiciones de carga, optimizando el consumo energético y maximizando la eficiencia del motor en diferentes regímenes de operación.

## Requisitos no funcionales

### Requisitos de rendimiento

Se espera controlar el rendimiento del motor brushless en un 90%.

El controlador se podrá utilizar con frecuencias de hasta 200kHz para ajustar la velocidad del motor brushless.

El controlador se podrá utilizar con un PWM de 0 a 100% para ajustar el torque del motor de manera eficiente.

El controlador debe poder operar al 90% de su capacidad a temperaturas por debajo de los 70°C, por encima de este punto puede decaer el rendimiento.

El controlador podrá soportar hasta 20 amperios de consumo del motor brushless de forma continua en condiciones de temperatura ambiente que no superen los 80°C.

Especificación de los requisitos relacionados con la carga que se espera tenga que soportar el sistema. Por ejemplo, el número de terminales, el número esperado de usuarios simultáneamente conectados, número de transacciones por segundo que deberá soportar el sistema, etc.

Todos estos requisitos deben ser mesurables. Por ejemplo, indicando “el 95% de las transacciones deben realizarse en menos de 1 segundo”, en lugar de “los operadores no deben esperar a que se complete la transacción”.

### Seguridad

El controlador de velocidad para motores brushless pequeños tendrá subrutinas implementadas en el software que detecten sobretensiones que se produzcan mientras el motor esté energizado.

El controlador de velocidad para motores brushless pequeños tendrá subrutinas implementadas en el software que detecten sobrecorrientes que se produzcan mientras el motor esté energizado.

El IC de drivers de MOSFETs implementa rutinas internas de hardware para proteger los MOSFETs cuando detecta sobretensiones y/o sobrecorriente en el motor brushless.

Las subrutinas de software que están involucradas con la detección de sobretensiones y sobrecorrientes informan al usuario de manera visual mediante leds que se ha producido una falla en el funcionamiento del motor.

En el diseño PCB se incluyen diodos TVS para la protección contra descargar electrostáticas que puedan ser causadas por el contacto físico de los desarrolladores y/o usuarios al momento de hacer las conexiones para programar el controlador de velocidad.

El controlador de velocidad gestionará las diferentes fallas que se puedan producir tanto del motor brushless como de los transistores MOSFETs que se encargan de conmutar las fases.

El controlador de velocidad también contará con la función de sensado de las corrientes que atraviesan las diferentes fases del motor brushless como forma de retroalimentación y gestionar esos datos de manera personal de acuerdo al usuario.

Especificación de elementos que protegerán al software de accesos, usos y sabotajes maliciosos, así como de modificaciones o destrucciones maliciosas o accidentales. Los requisitos pueden especificar:

* Empleo de técnicas criptográficas.
* Registro de ficheros con “logs” de actividad.
* Asignación de determinadas funcionalidades a determinados módulos.
* Restricciones de comunicación entre determinados módulos.
* Comprobaciones de integridad de información crítica.

### Fiabilidad

El diseño de la PCB debe contar con una alta fiabilidad ya que el componente más propenso a sufrir daños en el tiempo es el módulo de MOSFETs debido a que estará constantemente sometido a altas corrientes generando calor en su exterior. Se estima un tiempo de 2 horas de funcionamiento continuo y 500 horas de funcionamiento no continuo (con 2 horas de funcionamiento ininterrumpido y 1 horas de no funcionamiento entremedio) antes de que se produzca una falla en el módulo de MOSFETs o alguna otra avería de otro componente electrónico de la PCB.

Cabe destacar que estas horas de funcionamiento son tomadas en cuenta cuando el controlador de velocidad está operando en condiciones de temperatura que van desde los -10°C hasta los 60°C para el funcionamiento de forma ininterrumpida por 2 horas y desde los -20°C hasta los 70°C para el funcionamiento de forma interrumpida por 500 horas.

Especificación de los factores de fiabilidad necesaria del sistema. Esto se expresa generalmente como el tiempo entre los incidentes permisibles, o el total de incidentes permisible.

### Disponibilidad

La disponibilidad del ESC dependerá principalmente de la aplicación en la que se utilice. En sistemas móviles como drones, go-karts o vehículos de radio control (RC), su operatividad estará directamente relacionada con la autonomía de la batería. Se estima que el sistema estará disponible entre un 95% y un 98% del tiempo, considerando el tiempo de funcionamiento de las baterías de litio como factor clave.

Este porcentaje se basa en la suposición de que la batería se encuentra en condiciones óptimas, sin afectaciones por degradación o factores externos, y en el tiempo efectivo de funcionamiento que puede proporcionar. El tiempo en el que el ESC no estará operativo se debe principalmente a tareas de mantenimiento o posibles fallas en el sistema.

Especificación de los factores de disponibilidad final exigidos al sistema. Normalmente expresados en % de tiempo en los que el software tiene que mostrar disponibilidad.

### Mantenibilidad

La PCB solo requerirá mantenimiento en caso de falla del módulo de MOSFETs por sus horas de funcionamiento. Este tipo de mantenimiento puede realizarlo tanto el fabricante (en este caso los de desarrolladores) como cualquier técnico en electrónica que posea habilidades de soldadura de componentes SMD. El proceso de mantenimiento se deberá realizar cuando el usuario observe que el módulo de MOSFETs esté desgastado o ligeramente derretido en la superficie de su carcasa o empaquetado.

Si el usuario observa que algunas de las pistas de la PCB del controlador de velocidad están quemadas debe dar por hecho de que a dicho controlador ya no se le puede realizar mantenimiento.

Identificación del tipo de mantenimiento necesario del sistema.

Especificación de quien debe realizar las tareas de mantenimiento, por ejemplo usuarios, o un desarrollador.

Especificación de cuando debe realizarse las tareas de mantenimiento. Por ejemplo, generación de estadísticas de acceso semanales y mensuales.

### Portabilidad

El ESC se espera que tenga un tamaño similar o menor a los ESC genéricos o comerciales, lo que garantiza que tenga un diseño compacto y eficiente. Además, contará con conectores intuitivos y fáciles de usar, lo que facilitará una integración rápida y sencilla con otros dispositivos. Su diseño compacto permitirá su fácil transporte, lo que lo hace adecuado en sistemas con espacio limitado.

Especificación de atributos que debe presentar el software para facilitar su traslado a otras plataformas u entornos. Pueden incluirse:

* Porcentaje de componentes dependientes del servidor.
* Porcentaje de código dependiente del servidor.
* Uso de un determinado lenguaje por su portabilidad.
* Uso de un determinado compilador o plataforma de desarrollo.
* Uso de un determinado sistema operativo.

## Otros requisitos

Cualquier otro requisito que no encaje en ninguna de las secciones anteriores.

Por ejemplo:

Requisitos culturales y políticos

Requisitos Legales

### Requisitos legales

El controlador de velocidad para motores brushless pequeños debe poseer un número de parte único por parte del fabricante y que sea único en el mercado de manera que no pueda ser confundido con otro componente, material o producto electrónico.

El controlador de velocidad debe poseer una hoja de datos única que sea accesible para cualquier usuario de internet. Dicha hoja de datos debe contener toda la información técnica del producto.

El controlador de velocidad debe contar con certificación ante el Instituto Dominicano para la Calidad (INDOCAL) para respaldar su calidad ante los consumidores.

El controlador de velocidad debe cumplir con la Ley General de Protección al Consumidor (Ley No. 358-05) asegurando que el producto sea seguro y no engañoso.

### Requisitos culturales

El controlador de velocidad para motores brushless pequeños no necesita requisitos culturales.

### Otros requisitos

# Apéndices

Para programación:

<file:///C:/Users/jacob/Downloads/eBook%20-%20Mastering%20STM32%20-%202nd%20Edition%20By%20Carmine%20Noviello.pdf>

<file:///C:/Users/jacob/OneDrive/Desktop/MIELDA%20DE%20TAREA/Proyectos%20personales/books/eBook%20-%20Advanced%20Programming%20with%20STM32%20Microcontrollers%20Master%20the%20Software%20Tools%20Behind%20the%20STM32%20Microcontroller%20By%20Majid%20Pakdel.pdf>

<https://www.st.com/resource/en/user_manual/dm00154093-description-of-stm32f1-hal-and-lowlayer-drivers-stmicroelectronics.pdf>

Comunicación:

<https://www.ti.com/lit/ug/sprugp2a/sprugp2a.pdf?ts=1742457558393&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F>

Control de motores:

<https://www.celeramotion.com/frameless-motors/support/technical-papers/sinusoidal-drive-operation-with-brushless-pm-motors/>

<https://www.ti.com/es-mx/technologies/motor-control.html>

Pueden contener todo tipo de información relevante para la DEP pero que, propiamente, no forme parte de la DEP.

Un ejemplo de esto serían las demás partes que forman parte de un sistema mas complejo.