



Desarrollo de un Sistema Registrador de Parámetros de Vuelo Portátil Siguiendo la Metodología del Modelo en V

Trabajo de posgrado para acceder al título de
Especialista en Gestión de la Innovación y la Vinculación Tecnológica

Estudiante:

Ing. Dario Walter DIAZ

Director:

Mg. Ing. Pablo Nicolas SOLIVELLAS

Universidad Nacional de Rosario
Centro de Estudios Interdisciplinarios
Especialización en Gestión de la Innovación
y la Vinculación Tecnológica

2023

A Dios, la Virgen María y a nuestro Señor Jesucristo por bendecirme en todo lo
que tengo a mi alrededor

A mi Esposa y mis Hijas por estar siempre, a mis Padres, Hermana y Hermano por
ser parte fundamental de mi vida. Y al resto de mi Familia, que de alguna u otra
manera han contribuido para el logro de mis objetivos.

A mis Amigas y Amigos por su apoyo constante,

Al Centro de Investigación y Desarrollo de Tecnologías Aeronáuticas y a la
Dirección General de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Argentina y a
todo su personal por acompañarme en esta formación personal,

Al Centro de Estudios Interdisciplinarios de la Universidad Nacional de Rosario, y
todo el grupo de docentes y no docentes que la conforman

y a mi querida Argentina, que a través de su sistema de educación pública me dio
la oportunidad de llegar a donde estoy hoy...

MUCHISIMAS GRACIAS!

Índice general

1. Introducción	9
1.1. Resumen	9
1.2. Problema de Investigación	11
1.3. Justificación	12
1.4. Antecedentes	13
1.5. Objetivos	14
1.5.1. Objetivo General	14
1.5.2. Objetivos Específicos	15
1.6. Metodología	15
2. Desarrollo del SRPV	18
2.1. Introducción	18
2.2. Especificaciones	19
2.2.1. Identificación de las partes y Recopilación de Información	22
2.2.2. Definición de Requerimientos	23
2.2.3. Priorización y Organización	29
2.2.4. Demás especificaciones	31
2.3. Diseño General	32
2.3.1. Componentes de Hardware	33
2.3.2. Componentes de Software	33
2.4. Diseño Detallado	35
2.4.1. Circuito Electrónico	36
2.4.2. Batería de Alimentación	37
2.4.3. Gabinete	38

2.4.4. Sujeción	38
2.5. Programación	40
2.6. Pruebas Unitarias	43
2.7. Integración	45
2.8. Prueba del Sistema y Aceptación	45
2.9. Resumen	46
3. Conclusiones	48
3.1. Análisis y discusión	48
3.2. Contribuciones	49
3.3. Trabajos Futuros	51
Bibliografía	55

Índice de figuras

1.1. Registrador de parámetros de vuelo - CITEA SRPV	10
1.2. Sistema Registrador de Parámetros de Vuelo Portátil	11
1.3. Modelo en V de Ciclo de Vida	17
2.1. Modelo en V - Especificaciones	19
2.2. Principales Componentes del SRPV	24
2.3. Modo Vuelo del SRPV	25
2.4. Modo Tierra del SRPV	26
2.5. requerimientos Generales - No Funcionales	29
2.6. requerimientos Generales - Funcionales	30
2.7. Modelo en V - Diseño General	32
2.8. Arquitectura Básica del SRPV	33
2.9. Diseño del SRPV Asistido por Computadora	34
2.10. SRPV Versión Inicial	34
2.11. Modelo en V - Diseño Detallado	35
2.12. Circuito Electrónico	36
2.13. Factor de Forma del SRPV	37
2.14. Gabinete del SRPV	38
2.15. Sistema de Sujeción del SRPV	39
2.16. Modelo en V - Programación	40
2.17. Parte del Código SRPV	41
2.18. SRPV en su versión Final	42
2.19. Enclosure del SRPV	42
2.20. Modelo en V - Pruebas Unitarias	43

2.21. Registro de Pruebas Unitarias del SRPV	44
2.22. Modelo en V - Integración	45
2.23. SRPV	46
2.24. Modelo en V - Prueba del Sistema y Aceptación	47
2.25. Ubicación del SRPV	47
3.1. Proceso de Aprobación de Diseño	51

Índice de tablas

2.1. Batería Características	27
3.1. Proceso de Aprobación de Diseño	52

Acrónimos

AC Circular de Asesoramiento.

AHRS Attitude and Heading Reference Systems.

CEPAC Curso de Estandarización de Procedimientos para Aviadores de Combate.

CEV Centro de Ensayos en Vuelo.

CITeA Centro de Investigación y Desarrollo de Tecnologías Aeronáuticas.

COTS Commercial Off-The-Shelf.

DGIyD Dirección General de Investigación y Desarrollo.

DIGAMC Dirección General de Aeronavegabilidad Militar Conjunta.

DIRAM Directiva de Reglamento de Aeronavegabilidad Militar.

EFB Electronics Flight Bags.

EMCFFAA Estado Mayor Conjunto de las Fuerzas Armadas.

FAA Federal Aviation Administration.

FAA Fuerza Aérea Argentina.

GPS Global Positioning System.

PED Portable Electronic Device.

PIDDEF Proyecto de Investigación y Desarrollo para la Defensa.

SArm Sistemas de Armas.

SEACO Sistema para Evaluación de Adiestramiento de Combate.

SRPV Sistema Registrador de Parámetros de Vuelo.

SRPVP Sistema Registrador de Parámetros de Vuelo Portatil.

Capítulo 1

Introducción

1.1. Resumen

En la República Argentina existen miles de empresas que utilizan electrónica en sus productos o procesos. Estas industrias tienen cada vez más interés en incorporar tecnología en sus procesos productivos, sustituir importaciones y exportar productos con mayor valor agregado.

En este contexto muchas empresas se encuentran en la necesidad de utilizar o desarrollar sistemas con seguridad funcional certificada, a fin de proteger a las personas, al medio ambiente, a sus inversiones y en muchos casos porque es una condición para poder exportar sus productos.

Pero ya, particularmente en la aeronáutica y espacial son sectores que producen y cuentan con complejos sistemas críticos de hardware y software. Estos sistemas suelen tener un largo ciclo de vida de desarrollo y mantenimiento, que puede llegar a abarcar varias décadas. El proceso de diseño de un sistema de Hardware y de Software, es la fase principal de un proyecto de desarrollo y las pruebas y documentaciones se generan a partir de estos modelos iniciales.

La motivación del presente trabajo es contar con un Sistema Registrador de Parámetros de Vuelo Portátil, desarrollado, mantenido y que se certifique en la República Argentina.

El CITeA SRPV, es un dispositivo electrónico, el cual consiste básicamente de un Sistema Embebido formado por:

- Un circuito electrónico.
- Una batería de alimentación.
- Un gabinete.
- Firmware asociado.

Por sus características de diseño, el SRPV es considerado como un Dispositivo Electrónico Portátil (Portable Electronic Device (PED) (ICAO-C340, 2015)) y desde el punto de vista de la aeronavegabilidad (EMCFFAA, 2020) su operación no debe afectar el correcto funcionamiento del sistema de aviónica en el cual se aplique. (Figura 1.1)

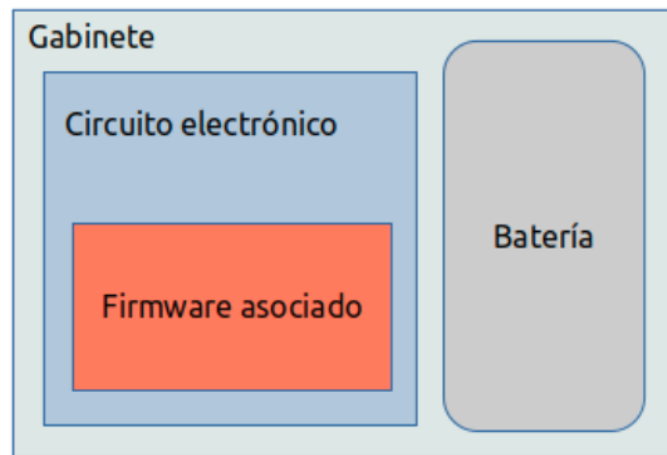


Figura 1.1: Registrador de parámetros de vuelo - CITEA SRPV.

La Federal Aviation Administration (FAA) considera a un PED como cualquier dispositivo electrónico de peso ligero, con alimentación eléctrica autónoma, fácilmente montado o desmontado de su alojamiento sin herramientas especiales y funcionalmente capaz de realizar aplicaciones definidas en el dominio de Electronics Flight Bags (EFB) (ICAO-D10111, 2019). La Circular de Asesoramiento (AC) 120-76D (FAA-AC120-76D, 2017) trata sobre la autorización de uso de acuerdo al tipo de aplicación.

Éste dispositivo se monta mediante un conjunto de sujeción en la aeronave cuyo vuelo se desea analizar. Una vez encendido en la aeronave, el mismo procede a registrar los datos del vuelo.

Luego de finalizado el vuelo y mediante una conexión inalámbrica que solo se habilita en tierra, se procede a descargar el archivo generado para cargarlo en el Sistema CITEA Debriefing para su análisis en la reunión posterior al vuelo (Debriefing).

El CITEA SRPV es un subsistema del Sistema Registrador de Parámetros de Vuelo Portátil (SRPVP) que incluye tanto al CITEA SRPV como al Subsistema de CITEA Debriefing (SD), como lo muestra la Figura 1.2.

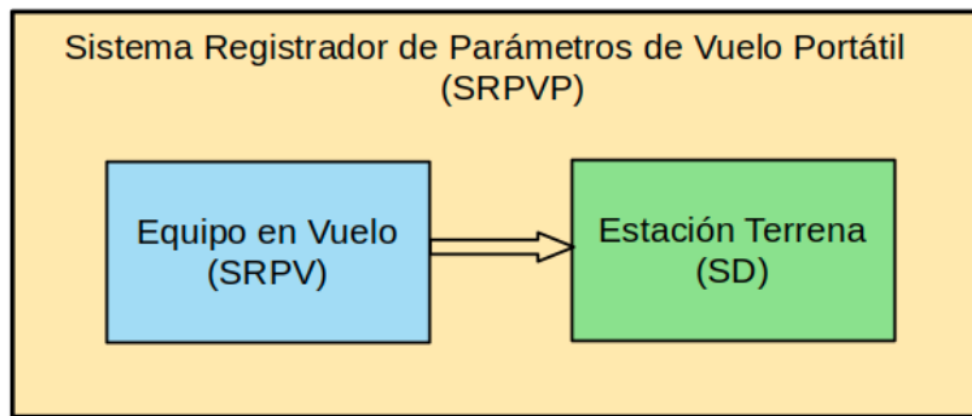


Figura 1.2: Sistema Registrador de Parámetros de Vuelo Portátil.

1.2. Problema de Investigación

Su origen radica sobre una necesidad operativa que surge del Grupo 4 de Caza de la IV Brigada Aérea, aplicado al SArm T-6 C Texan II de potenciar el Curso de Estandarización de Procedimientos para Aviadores de Combate (CEPAC) en donde el Docente/Instructor de Vuelo del Curso de Estandarización debe evaluar a sus Alumnos no solo durante el transcurso del Vuelo, sino también, a posterior donde se realiza el denominado Debriefing, cuyo fin es, sobre la experiencia del vuelo, remarcar y/o corregir acciones que los pilotos realizan en dicho vuelo y mostrar las posibles opciones que pueden contar bajo ciertas circunstancias que se presentan en las décimas de segundos en el aire.

A raíz de todo lo expuesto, surge la pregunta ¿Por qué y para qué es necesario contar con un Sistema Registrador de Parámetros de Vuelo? Es debido a que el

SArm T-6 C Texan II, no cuenta con un sistema registrador de vuelo que el Estado Nacional haya adquirido para que en los mismos se encuentre a disposición, como si se cuenta en los SArm IA-63 Pampa II/III o el A4-AR Fightinghawk.

Sobre la experiencia de dichos SArm, los Debriefing son de gran utilidad para los Pilotos de la Fuerza Aérea Argentina (FAA), y al no contar con un sistema registrador a disposición para observar lo realizado en los vuelos sobre este SArm en particular, los instructores no cuentan con una capacidad de enseñanza adicional.

En base a todo lo expuesto, se hace hincapié que, lo desarrollado en el presente trabajo, se enmarca en un proyecto de la Fuerza Aérea Argentina denominado “Sistema Registrador de Parámetros de Vuelo Portatil (SRPVP)” siendo este proyecto un conjunto específico de un subsistema denominado “Equipo en Vuelo (SRPV)” que se desarrolla en conjunto con otro subsistema denominado “Estación Terrena (SD)” (Figura 1.2) el cual, este último subsistema, no se desarrollará en este Proyecto Final Integrador y que, sin embargo, es de vital importancia que, todo lo que registra el SRPV debe contar con el SD para que los datos registrados, puedan ser procesados y posteriormente visualizados para que los Instructores de Vuelo realicen el correspondiente Debriefing.

1.3. Justificación

El SRPV es un dispositivo portátil que surge por la necesidad operativa de potenciar el Curso de Estandarización de Procedimientos para Aviadores de Combate (CEPAC), dependiente del Grupo 4 de Caza de la IV Brigada Aérea, aplicado al SArm T-6 C Texan II. Su metodología de utilización se basa en alojar convenientemente, antes del vuelo, un SRPV en cada aeronave que participará de una misión previamente planificada. El CITEA SRPV registrará, en tiempo real, los parámetros de vuelo de cada aeronave y después del vuelo todos los SRPV que participaron de la misión descargan su información a una estación de tierra provista de un software que permite analizar, en reuniones de “Debriefing”, los vuelos de cada aeronave, a través de una presentación visual simultánea que evidencie lo sucedido en la misión previamente ejecutada.

El método de utilización es, proveer cada uno de los SRPV a cada uno de los pilotos del SArm, cuya necesidad operativa viene desde una brigada aérea específica, pero puede ser provisto a cualquier otra brigada que se encuentre presente en los adiestramientos o trabajos de coordinación entre los mismos.

La ventaja del presente desarrollo, es que no se desarrolla para ser aplicado para su uso específico a un SArm, pudiendo incluso ser instalado en Vehículos Terrestres para hacer una coordinación entre las distintas fuerzas y a posterior, visualizar los resultados que se obtuvieron de cada uno de los dispositivos en un mismo escenario controlado y sincronizado.

El dispositivo es un desarrollo nacional que no tiene equivalente disponible en el mercado comercial local. Para adquirir un producto con características similares, es necesario recurrir al mercado internacional, donde se pueden obtener opciones personalizadas y limitadas exclusivamente a un SArm, como se hace actualmente. Sin embargo, estos productos no permiten la integración con otros sistemas de armas o fuerzas, y además implican costos elevados en moneda extranjera.

1.4. Antecedentes

El proyecto se plantea en base a conocimientos adquiridos de desarrollos previos que se enumeran a continuación:

- PIDDEF 09/10 (FAS NA0010): “Sistema para Evaluación de Adiestramiento de Combate (SEACO)”, el cual se desarrolló un sistema de adquisición de datos exclusivamente para el SArm A4-AR Fightinghawk, cuyo propósito era recopilar los datos de la Mission Computer del mismo para luego ser almacenado en una memoria interna extraíble.
- Del Proyecto anterior, se propuso a posterior, estudiar la factibilidad de realizar el mismo esquema de adquisición de datos, pero para el SArm IA-63 Pampa II, llegando a similares resultados exitosos.

Sobre la base de estas experiencias, se intentó la implementación de este tipo de dispositivo desarrollado previamente descrito, sin lograr su implantación en los

SArm debido a que el dispositivo se debe certificar en armonía con cada SArm, siendo, un proceso largo para su puesta en funcionamiento pleno.

Continuando con desarrollos a posterior y que sirvieron como un aporte necesario para el presente trabajo, se presenta el siguiente proyecto:

- PIDDEF 37/16: “Diseño de módulo transponder ADS-B¹ aplicado a aeronaves civiles y militares a ser implementado en un sistema de radar virtual”, el cual sirvió para probar la capacidad de adquisición y transmisión en tiempo real de información de diferentes sensores del tipo COTS para implementación de los prototipos desarrollados en dicho proyecto.

Por todo lo expuesto, se inicia el Proyecto FAS D-AV 0180: “Sistema Registrador de Parámetros de Vuelo Portátil”, el cual es una evolución del sistema PIDDEF 09/10, al no tener un vínculo directo con una aeronave, haciéndolo totalmente independiente y funcional en cualquier SArm y en base a la experiencia adquirida del PIDDEF 37/16, sobre la capacidad de adquisición en tiempo real de información de diferentes sensores del tipo COTS.

1.5. Objetivos

Al comenzar con los requerimientos específicos del proyecto, se plantea un objetivo general que se pretende llegar, el cual se desglosa en objetivos específicos ordenados cronológicamente y estableciendo así los hitos para satisfacer el objetivo general.

1.5.1. Objetivo General

En el presente Proyecto de Trabajo Final Integrador se propone como objetivo desarrollar un Registrador de Parámetros de Vuelo siguiendo la Metodología del Modelo en V.

¹Transponder ADS-B (Automatic Dependent Surveillance-Broadcast) es un dispositivo utilizado en la aviación que transmite automáticamente la posición, velocidad y otros datos de la aeronave a intervalos regulares. Estos datos son recibidos por estaciones terrestres y otras aeronaves equipadas con ADS-B, mejorando la vigilancia y seguridad del tráfico aéreo.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Introducción y principio de funcionamiento del SRPV.
- Selección de diferentes dispositivos de adquisición de datos de Actitud, Aceleraciones, Magnéticos en los tres ejes y de Posición Geodésica.
- Análisis y Evaluación del microprocesador y de los diferentes modelos de sensores de adquisición de datos.
- Diseño y Desarrollo de dispositivo portátil y de fácil manipulación para ser transportado en los SArm.
- Pruebas de funcionamiento de los diferentes microprocesadores y de los sensores según diferentes condiciones a ser planteadas.
- Diseño de un Prototipo de Hardware Electrónico del SRPV el cual debe integrar cada uno de los sensores seleccionados con el microprocesador seleccionado.
- Desarrollo del Firmware para el Hardware Electrónico del SRPV.
- Prueba de funcionamiento del Dispositivo SRPV.

1.6. Metodología

Para el desarrollo del presente Proyecto, se empleará un Ciclo de Vida de Desarrollo de Software y Hardware (Amaya, 2010) que proveerá los lineamientos necesarios para el desarrollo de un dispositivo que involucra, tanto desarrollo de Hardware, como de Software y que al mismo tiempo debe integrarse (ISO/IEC/IEEE-12207, 2017).

Es una estructura que contiene los procesos, actividades y tareas relacionadas con el desarrollo y mantenimiento de un producto, abarcando la vida completa del sistema (Kendall y Kendall, 2005), con el propósito de tratar de evitar costos de rectificar errores de implementación mediante un método que permita a los desarrolladores adelantarse para mejorar los resultados finales.

El ciclo de vida básico de un desarrollo consta de los siguientes procedimientos:

- Definición de objetivos: define la finalidad del proyecto y su papel en la estrategia global.
- Análisis de los requisitos y su viabilidad: recopilar, examinar y formular los requisitos de lo que se desea desarrollar y examinar cualquier restricción que se pueda aplicar.
- Diseño General: requisitos generales de la arquitectura de la aplicación.
- Diseño Detallado: definición precisa de cada subconjunto de la aplicación.
- Programación (programación e implementación): implementación de un lenguaje de programación para crear las funciones definidas durante la etapa de diseño.
- Pruebas Unitarias: prueba individual de cada subconjunto de la aplicación para garantizar que se implementaron de acuerdo con las especificaciones.
- Integración: garantiza que los diferentes módulos se integren con la aplicación. Este es el propósito de la prueba de integración.
- Prueba del Sistema y Aceptación: garantiza que el sistema cumple con las especificaciones originales.
- Documentación: sirve para documentar información necesaria para los usuarios del dispositivo y para desarrollos futuros.
- Implementación: Una vez que todas las pruebas han sido satisfactoriamente completadas y el sistema ha sido aprobado, se procede a la implementación y entrega. Involucra la fabricación, instalación y entrega del componente desarrollado junto con toda su documentación respaldatoria.

El orden y la presencia de cada uno de estos procedimientos en el ciclo de vida se realizará en función del **Modelo en V** (Figura 1.3). El Modelo en V es un enfoque de desarrollo de sistemas que busca establecer una relación entre las fases de desarrollo y las fases de pruebas. El nombre Modelo en V proviene de la forma en que se visualiza el proceso, donde las fases de desarrollo y pruebas forman una especie de V. Este enfoque es comúnmente utilizado tanto en el desarrollo de software como en

el desarrollo de hardware, y busca garantizar la calidad y la integridad del sistema a lo largo de todo el ciclo de vida del proyecto (Rodríguez, 2019).

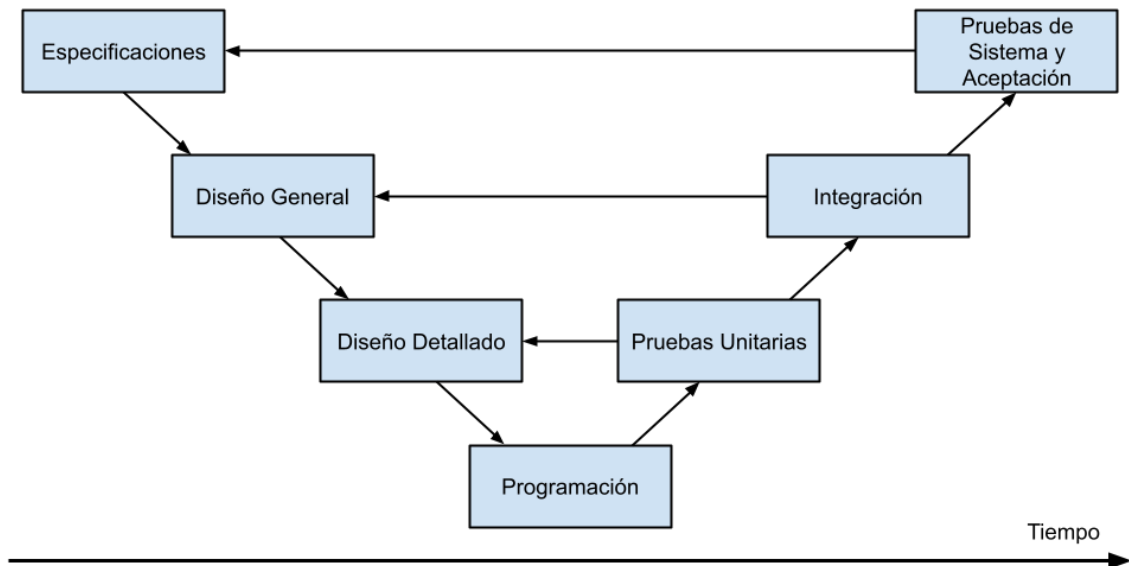


Figura 1.3: Modelo en V de Ciclo de Vida.

En el Modelo en V, cada fase se relaciona directamente con su contra-parte en la fase de pruebas, lo que permite una validación continua a medida que se avanza en el desarrollo del sistema. Esto ayuda a detectar y corregir problemas en etapas tempranas, lo que a su vez reduce el riesgo de problemas graves en etapas posteriores (Guerin, 2015).

Capítulo 2

Desarrollo del SRPV

2.1. Introducción

La actividad diaria de vuelo en una brigada operativa, consta de una reunión previa (briefing), la actividad práctica propiamente dicha y la reunión posterior (debriefing). Tanto la previa como la posterior deben insumir un tiempo al menos igual al del vuelo realizado y en ambas se deben desarrollar todas las instancias y fases del mismo, haciendo en la previa, hincapié en los objetivos, y en la posterior, hincapié en los análisis, conclusiones y enseñanzas. Para ello, el ámbito de aplicación del sistema serán las aulas de briefing / debriefing del Escuadrón II CEPAC.

La metodología de utilización del SRPV se basa en alojar convenientemente, antes del vuelo, un dispositivo en cada aeronave que participa de una misión operativa previamente planificada. El SRPV registrará, en tiempo real, los parámetros de vuelo de cada aeronave y después del vuelo todos los SRPV que participaron de la misión, descargan su información a una estación de tierra, provista de un software, que permite analizar, en reuniones de “Debriefing”, los vuelos de cada aeronave, a través de una presentación visual simultánea que evidencie lo sucedido en la misión previamente ejecutada.

Para comenzar a describir el desarrollo del presente dispositivo, se empezó por una descripción de cada uno de los puntos del Ciclo de Vida mencionado como Metodología en el punto 1.6.

2.2. Especificaciones

La fase de Especificaciones o Requerimientos del Sistema es fundamental para el éxito del proyecto, ya que establece las bases para todo el ciclo de vida del desarrollo del Sistema. (Figura 2.1).

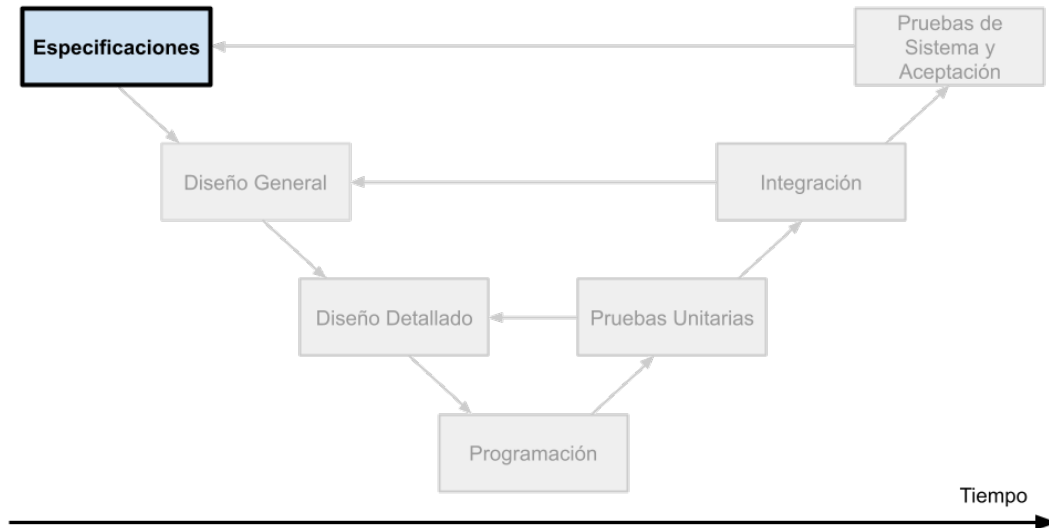


Figura 2.1: Modelo en V - Especificaciones.

Esta fase es fundamental por varias razones que son clave:

- **Establece la Base del Proyecto:** Los requerimientos del sistema definen lo que el sistema debe hacer y cómo debe comportarse. Si estos requerimientos no se comprenden correctamente o no se documentan de manera precisa, el proyecto puede desviarse en direcciones incorrectas, lo que puede llevar a la entrega de un sistema que no cumple con las necesidades reales de los usuarios.
- **Evita Malentendidos y Ambigüedades:** La falta de claridad en los requerimientos puede llevar a malentendidos entre los desarrolladores y las partes interesadas. Si no se especifican de manera detallada y precisa, es posible que los desarrolladores interpreten los requerimientos de manera incorrecta y construyan un sistema que no se alinee con las expectativas de los usuarios.
- **Reduce Riesgos y Costos:** Identificar y abordar problemas en la etapa de requerimientos es mucho más rentable que hacerlo en etapas posteriores del proyecto. Los errores y cambios en fases avanzadas pueden ser costosos

y retrasar el proyecto. Una comprensión clara de los requerimientos ayuda a evitar estos riesgos y a mantener el proyecto en el camino correcto.

- **Orienta el Diseño y Desarrollo:** Los requerimientos proporcionan una guía sólida para el diseño y desarrollo del sistema. Un diseño bien fundamentado en requerimientos sólidos tiene más probabilidades de producir un sistema funcional y útil.
- **Satisfacción de los Usuarios:** Los requerimientos capturan las necesidades y expectativas de los usuarios. Si se cumplen estos requerimientos, el sistema final será más probablemente aceptado y valorado por los usuarios finales.
- **Facilita la Comunicación:** La documentación clara y completa de los requerimientos proporciona un punto de referencia común para todos los miembros del equipo. Esto mejora la comunicación y la colaboración entre las partes interesadas, los analistas de requerimientos, los diseñadores y los desarrolladores.
- **Mejora la Planificación:** Una comprensión sólida de los requerimientos permite una planificación más precisa y realista del proyecto en términos de plazos, recursos y presupuesto.

Con todo lo expresado, la fase de Especificaciones o Requerimientos del Sistema es esencial para definir la dirección del proyecto, asegurar que el sistema cumple con las necesidades reales de los usuarios y minimizar los riesgos y costos asociados con cambios y malentendidos en etapas posteriores del desarrollo. Una definición sólida en esta fase inicial puede marcar la diferencia entre un proyecto exitoso y uno que enfrenta desafíos significativos.

A continuación se detalla en forma ampliada qué hacer en esta fase:

1. Identificación de las partes interesadas y Recopilación de Información:
 - Identificar a todas las partes interesadas que estarán involucradas en el proyecto, como usuarios finales, potenciales clientes, administradores, expertos en dominio, entre otros.

- Realizar entrevistas, encuestas o talleres con las partes interesadas para comprender sus necesidades, objetivos, expectativas y problemas que el sistema debe resolver.

2. Definición de Requerimientos:

- Documentar los requerimientos funcionales, que describen las funciones y características específicas que el sistema debe tener.
- Documentar los requerimientos no funcionales, que incluyen aspectos de rendimiento, seguridad, usabilidad, escalabilidad, disponibilidad, entre otros.
- Los requerimientos deben ser claros, precisos, coherentes y verificables. Utilizar lenguaje sencillo y evitar ambigüedades.

3. Priorización y Organización:

- Clasificar los requerimientos en términos de importancia y relevancia para las partes interesadas.
- Organizar los requerimientos en categorías lógicas para facilitar su gestión y seguimiento.

4. Análisis y Refinamiento:

- Realizar un análisis detallado de los requerimientos para asegurarte de que sean completos y comprensibles.
- Identificar posibles conflictos o inconsistencias entre los requerimientos y buscar resolverlos.

5. Validación de Requerimientos:

- Comunicar los requerimientos a las partes interesadas y lograr obtener su confirmación de que cubren sus necesidades y expectativas.
- Revisar los requerimientos con las partes interesadas para asegurarse de que estén correctos y completos antes de proceder.

6. Documentación:

- Crear documentos formales que detallen todos los requerimientos del sistema. Pueden incluir listas de requerimientos, descripciones detalladas, casos de uso, diagramas de flujo, entre otros.

7. Aprobación y Gestión de Cambios:

- Obtener la aprobación formal de las partes interesadas para los requerimientos documentados.
- Establecer un proceso para gestionar posibles cambios futuros en los requerimientos, ya que es común que puedan evolucionar a lo largo del proyecto.

8. Seguimiento y Comunicación:

- Mantener una comunicación constante con las partes interesadas para asegurarte de que los requerimientos sigan siendo válidos y relevantes.
- Actualizar la documentación de requerimientos según sea necesario a medida que el proyecto avanza y los entendimientos cambian. Este punto esta muy emparentado con la Gestión de Cambios.

Por lo tanto, y por lo expresado anteriormente, para el desarrollo del sistema se recopiló la siguiente información que serán parte de los requerimientos fundamentales para ser aplicable al SRPV:

2.2.1. Identificación de las partes y Recopilación de Información

El SRPV es un dispositivo portátil que surge por la necesidad de potenciar el Curso de Estandarización de Procedimientos para Aviadores de Combate (CEPAC), dependiente del Grupo 4 de Caza de la IV Brigada Aérea, aplicado al SArm T-6 C Texan II, quienes serán los usuarios finales de dicho dispositivo.

La otra parte necesaria del SRPV, es el Centro de Investigación y Desarrollo de Tecnologías Aeronáuticas (CITeA), quienes obrarán como expertos en el dominio de desarrollo de sistemas electrónicos y quienes generarán las entrevistas con el usuario

final para contar con toda la recopilación de información necesaria para el desarrollo y estipularán una fecha tentativa de implantación en la flota.

Por último y no menos importante, se encuentra la Dirección General de Aeronavegabilidad Militar Conjunta (DIGAMC) del Estado Mayor Conjunto de las Fuerzas Armadas (EMCFFAA), quien emitirá el Certificado de Aprobación correspondiente para el SRPV, previa presentación de los documentos que se requiera y su posterior análisis de los ensayos y los resultados obtenidos necesarios para su certificación a través de su Reglamentación de Aeronavegabilidad Militar.

La Directiva de Reglamento de Aeronavegabilidad Militar (DIRAM) Parte 4, denominado Certificación del Material Aeronáutico, tiene por objeto establecer los conceptos, requerimientos, procesos y responsabilidades asociadas para la certificación inicial y de aeronavegabilidad continuada de productos y partes aeronáuticos empleados en las aeronaves con matrícula militar argentina.

Entre los diferentes actores, que formarán parte del desarrollo del SRPV, se realizaron entrevistas y reuniones programadas para comprender las necesidades específicas que va a resolver SRPV, cuales serán los objetivos a plantearse y los diferentes problemas que pueden llegar a complicar el desarrollo del mismo. De todas las reuniones, se realizan actas de reunión para dejar sentado por escrito lo conversado, para no dejar pasar por alto algún punto conversado y que será de vital importancia para la definición de los requerimientos

2.2.2. Definición de Requerimientos

Los requerimientos son especificaciones documentadas que describen las necesidades, expectativas y criterios que un sistema o producto debe cumplir para satisfacer los objetivos del proyecto y las necesidades de los usuarios.

Para generar los documentos, a continuación se enumerarán los requerimientos que se recopilaron para el SRPV.

2.2.2.1. Requerimientos Generales

- Contar con Almacenamiento de Datos interno de:

- Posición (Latitud, Longitud, Altitud).
 - Actitud (Roll, Pitch, Yaw).
 - Aceleraciones en los tres ejes.
 - Magnetómetro en los tres ejes.
 - Tiempo UTC.
 - Presión atmosférica.
 - Sistema propio de registro de datos de navegación satelital.
 - Alimentación autónoma de al menos CINCO (5) horas y posibilidad de recarga.
 - Indicador visual externo de estado y nivel de carga de batería.
 - Interruptor de encendido/apagado.
- Disponer de Comunicación de datos registrados:
 - Conectividad inalámbrica para descarga de información.
 - Versatilidad de aplicación a medio aéreo, tripulado o no tripulado.

La figura 2.2 presenta el esquema de los principales componentes de hardware y de software para sostener las capacidades del SRPV.

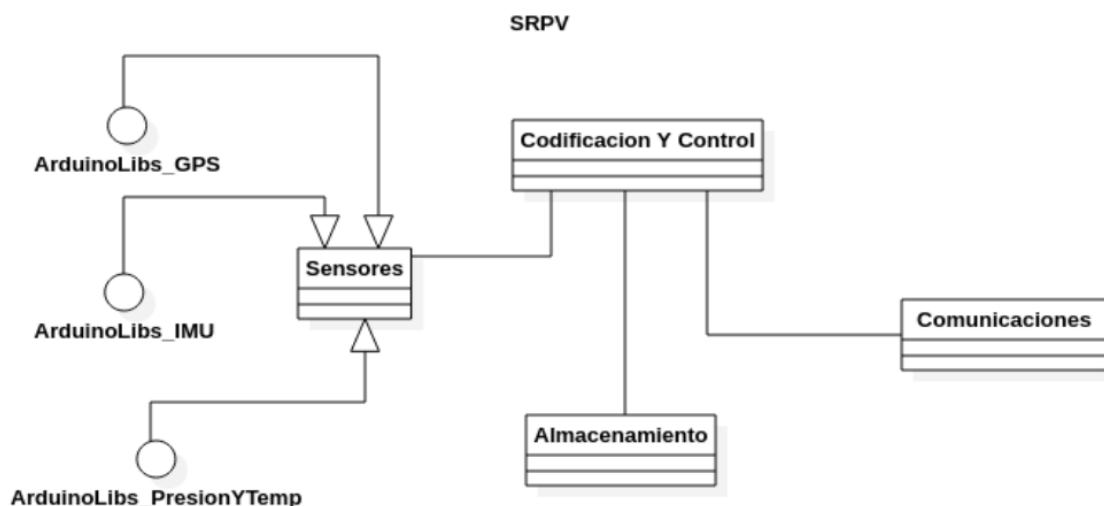


Figura 2.2: Principales Componentes del SRPV.

2.2.2.2. Modo de Funcionamiento

En función de los principales componentes que debe contar el SRPV, se han establecidos dos modos de funcionamiento del mismo.

Modo Vuelo Este modo tiene la función de gestionar el almacenamiento de los datos registrados por los sensores, evitando la pérdida de la información, la que será procesada posteriormente para el análisis de los vuelos. (Figura 2.3)

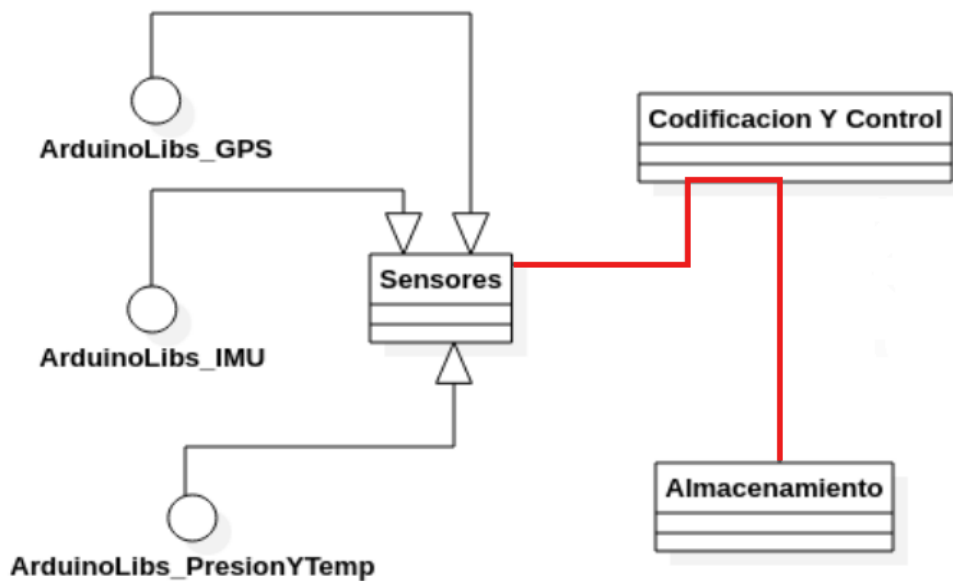


Figura 2.3: Modo Vuelo del SRPV.

El almacenamiento de datos dará inicio una vez que el sensor GPS logre la sincronización con la constelación de satélites al visualizar 4 o más satélites, obteniendo el posicionamiento inicial y el tiempo UTC del sistema satelital.

El tiempo UTC adquirido, permitirá al sistema de almacenamiento generar una base de tiempo en la que los datos registrados por los sensores se almacenarán a una frecuencia de 500 milisegundos, que al mismo tiempo y mientras se cuente con señal de posicionamiento global se comprueba que la base de tiempo se encuentre sincronizado en todo momento.

En determinados momentos del vuelo, puede que el sensor GPS no logre sincronizarse con la constelación de satélites, sin embargo, el sistema cuenta con otros sensores que seguirán presentando datos que deben ser almacenado y que será

de importancia para el sistema de visualización en tierra para su análisis y post-procesamiento¹.

Modo Tierra Este modo tiene la función de gestionar la comunicación de los datos almacenados, es decir, realizar la descarga de los mismos a una PC mediante una comunicación inalámbrica. (Figura 2.4)

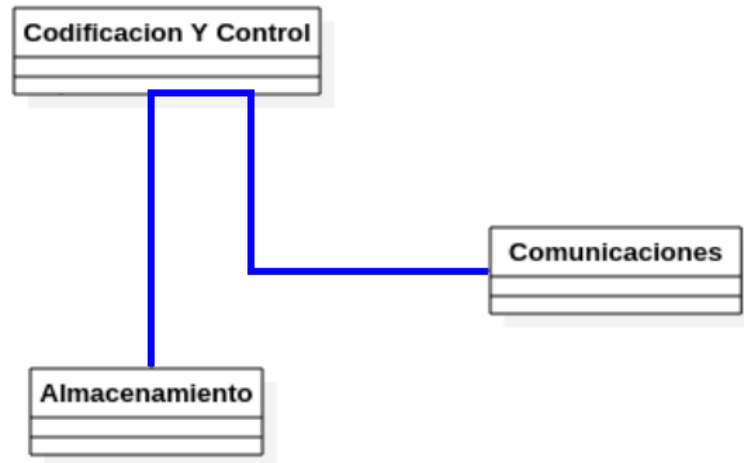


Figura 2.4: Modo Tierra del SRPV.

Este modo, solo puede ser activado por un botón que cuenta el SRPV y que el propio dispositivo se encuentre en condiciones de no sincronización con el sistema de satélites GPS y cero datos de velocidades y aceleraciones demostrando que no se encuentra en desplazamiento por más mínimo que sea. Dicho de otra manera, el modo tierra puede ser solamente activado cuando el dispositivo esta totalmente quieto y sin señal de satélites.

Esto ha sido requerido así, para evitar generar interferencias electromagnéticas a los dispositivos electrónicos en el propio SArm que vaya a ser utilizado al pretender activarse el modo tierra.

¹En el presente trabajo no se realiza un desarrollo del post-procesamiento de los datos almacenados en el SRPV, debido a que corresponde al Sistema de Tierra el cual es presentado como CITeA Debriefing (SD)

2.2.2.3. Circuito Electrónico

El diseño del circuito electrónico se basa en un diseño integral, donde la totalidad de sensores, circuitos integrados y la electrónica necesaria asociada a cada uno de ellos, se encuentran en una sola placa, esta solución integral logrará reducir el tamaño del dispositivo, como así también evitar que vibraciones y aceleraciones produzcan defectos en las conexiones entre diferentes módulos.

Se debe diseñar una placa base que no supere las siguientes dimensiones:

- Ancho: 70 mm.
- Largo: 70 mm.
- Altura: 10 mm.

2.2.2.4. Batería de Alimentación

La batería que se pretende utilizar para equipar el Sistema, y por ende, para proveer de alimentación al circuito electrónico, es una batería que se debe adquirir comercialmente bajo las siguientes características:

Características	Valor
Tipo	Litio-ion
Capacidad Nominal	1500 a 2500 mAh
Tensión Nominal	3,7 V
Máxima Corriente de Descarga Continua	¿200 mAh
Temperatura de trabajo para descarga	-10°C a 60°C
Temperatura de trabajo para carga	0°C a 45°C

Tabla 2.1: Características de Batería de Alimentación

A su vez, una característica que debe contar la batería seleccionada es que cumpla con el Estandar RTCA DO-311 (RTCA-DO311, 2017) en donde se encuentran definidos los estándares mínimos de desempeño operativo para baterías y sistemas de baterías de litio recargables.

Esta norma se aplica a las baterías de litio recargables y a los sistemas de baterías instalados permanentemente en las aeronaves. A los efectos de esta norma, una batería o sistema de batería se considera equipo instalado permanentemente cuando se incluye como parte del diseño de tipo de la aeronave (o diseño de tipo suplementario/enmendado). Esta norma también se aplica a las baterías de litio recargables contenidas en dispositivos electrónicos portátiles (PED) que forman parte del diseño tipo. Esta norma no se aplica a las baterías de litio primarias (no recargables).

2.2.2.5. Desarrollo de Software

El dispositivo electrónico estará diseñado para realizar la adquisición de datos de todos los sensores y su posterior almacenamiento, controlando el hardware de manera eficiente y segura y procesar los datos en tiempo real. En este proyecto se incluye el desarrollo de software, con el propósito de cumplir con los estándares de sistemas de seguridad crítica, como los establecidos por la norma DO-178C (RTCA-DO178C, 2011).

En base a todo lo expresado anteriormente y de la definición de cada uno de los requerimientos detallados, se debe generar un documento especificando lo recolectado en:

- **Requerimientos Funcionales:** Estos requerimientos describen las funciones específicas que el sistema debe realizar. Detallan las acciones, operaciones o características que el sistema debe ser capaz de llevar a cabo para cumplir con los objetivos del proyecto. Los requerimientos funcionales suelen responder a preguntas como *¿Qué debe hacer el sistema?* y se expresan en términos de comportamiento y funcionalidad. Estos requerimientos son directamente observables y verificables a través de pruebas.
- **Requerimientos No Funcionales:** Estos requerimientos se centran en aspectos que no están relacionados directamente con las funciones del sistema, pero que son igualmente críticos para su éxito. Incluyen aspectos como el rendimiento, la seguridad, la usabilidad, la escalabilidad, la disponibilidad, la eficiencia, la

compatibilidad y otros atributos de calidad. Los requerimientos no funcionales establecen criterios de calidad y restricciones que el sistema debe cumplir, pero no describen comportamientos específicos. Son igualmente importantes para garantizar que el sistema funcione de manera efectiva y segura con las expectativas de los usuarios.

A continuación se presenta una captura de pantalla de (una parte de) los requerimientos No Funcionales (Figura 2.5) y Funcionales (Figura 2.6) escrito en la documentación generada, definiendo las necesidades, expectativas y criterios que el SRPV debe cumplir para satisfacer los requerimientos en los puntos especificados.

6.1. NO FUNCIONALES

6.1.1. CITeA SRPV

6.1.1.1. Volúmen

El volúmen del SRPV no deberá superar los 300 cm³.

6.1.1.2. Peso

El peso del SRPV no deberá superar los 400 gr.

6.1.1.3. Eléctrico

6.1.1.3.1. Alimentación

El SRPV deberá tener alimentación autónoma asegurando un funcionamiento continuo de al menos 5 horas.

6.1.1.3.2. Nivel de Carga

El SRPV deberá poseer un indicador visual con el objeto de tener un testigo de nivel de carga de batería.

6.1.1.9. Autonomía

El SRPV deberá tener una autonomía de 5 horas entre recargas.

6.1.1.10. Vida útil

El SRPV deberá tener una vida estimada de al menos 10 años.

6.1.1.11. Certificación

El SRPV deberá ser CERTIFICADO de acuerdo a la Directiva Militar Nro 4 “CERTIFICACIÓN DEL MATERIAL AERONÁUTICO”.

Figura 2.5: No Funcionales.

2.2.3. Priorización y Organización

La priorización y organización de los requerimientos en un proyecto son pasos esenciales para garantizar que el equipo de desarrollo y las partes interesadas tengan una comprensión clara de las necesidades y expectativas del proyecto. Aquí se

6.2. FUNCIONALES

6.2.1. CITEA SRPV

6.2.1.1. Actitud

El SRPV deberá registrar datos de actitud de la aeronave.

6.2.1.1.1. SW

Deberá gestionar los datos de actitud para su almacenamiento.

6.2.1.1.2. HW

Deberá tener un sensor (giróscopo) triaxial de 16 bits con un rango de $\pm 2000^\circ/\text{s}$.

6.2.1.2. Aceleración

El SRPV deberá registrar datos de aceleraciones en los tres ejes de la aeronave.

Figura 2.6: Funcionales.

proporciona un enfoque general para llevar a cabo la priorización y organización de requerimientos:

1. Priorización de requerimientos:

- a) Identificar a las partes interesadas clave: Se ha realizado la identificación de todas las partes interesadas del proyecto, como usuarios finales, patrocinadores, clientes, equipos de desarrollo y otros involucrados.
- b) Realizar una evaluación de importancia: Se ha trabajado con las partes interesadas evaluando y calificando cada requisito en términos de su importancia y relevancia para el éxito del proyecto. Se ha utilizado una numeración, según su prioridad, para clasificar los requerimientos.

2. Organización de requerimientos en Categorías Lógicas:

- a) Crea categorías lógicas: Se ha definido categorías lógicas que agrupen los requerimientos relacionados en función de su naturaleza. Las categorías comunes definidas, fueron **requerimientos Funcionales** y **requerimientos No Funcionales**.
- b) Desglosa las categorías: Dentro de cada categoría, se ha desglosado los requerimientos en subcategorías o módulos que tengan sentido para el

proyecto. Por ejemplo, dentro de **requerimientos Funcionales**, se dividió en subcategorías como **SW** y **HW**.

- c) Utiliza una estructura jerárquica: Se ha organizado los requerimientos en una estructura jerárquica para representar relaciones y dependencias entre ellos. Se ha utilizado herramientas de software de diagramas para visualizar esta estructura.
3. Documentación clara: Cada requisito está documentado de manera clara y concisa. Incluye una descripción detallada, criterios de aceptación, y cualquier otra información relevante.
4. Mantener una trazabilidad: Se ha establecido relaciones de trazabilidad entre los requerimientos y las fuentes de origen, como por ejemplo, los casos de uso. Esto facilitó el seguimiento y la gestión de cambios a lo largo del proyecto.
5. Comunicación constante: Comunicación regularmente con las partes interesadas para garantizar que estén al tanto de la priorización y organización de los requerimientos, manteniendo un proceso de revisión y validación para asegurarse de que todos estén de acuerdo.

La priorización y organización efectiva de los requerimientos no solo ayudan a gestionar mejor el proyecto, sino que también contribuyeron a minimizar la ambigüedad y a garantizar que el equipo de desarrollo se enfoque en las necesidades más críticas del proyecto.

2.2.4. Demás especificaciones

Para los demás puntos que forman parte de la Especificación de Requerimientos para el desarrollo del SRPV, que son: *Análisis y Refinamiento*, *Validación de Requerimientos*, *Documentación*, *Aprobación y Gestión* y por último *Seguimiento y Comunicación*; son consideraciones que se han tenido en cuenta para realizar un buen trabajo y que los diferentes actores se encuentren informados y en constante comunicación para que el desarrollo del SRPV se logre.

Para el *Análisis y Refinamiento* de los requerimientos se han realizado minutas sobre los documentos de requerimientos ya escritos, para que las partes estén claramente interiorizada de lo que se va a desarrollar y refinar cuestiones que pudieran haber surgido de la lectura del mismo.

Una vez que las partes hayan analizado, refinado y dar su conformidad de lo escrito en el documento a través de la firma del mismo de cada uno de los responsables, se realiza una *Validación y Aprobación* del mismo, y se sugiere alguna *Gestión de Cambios* debido a que es común que se pueda evolucionar a lo largo del proyecto, a causa de nuevas tecnologías que pueden surgir posterior a la confección de los documentos y que permita solucionar inconvenientes gracias a ello, o debido a que los usuarios finales, determinan ciertas condiciones de uso ante nuevas metodologías de enseñanza que aplique el CEPAC, entre otros.

2.3. Diseño General

En esta etapa (Figura 2.7), los requerimientos documentados en el proceso anterior se utilizan para desarrollar un diseño general del sistema. Esto incluye la arquitectura general del sistema, diseño de módulos, interfaces entre componentes, entre otros.

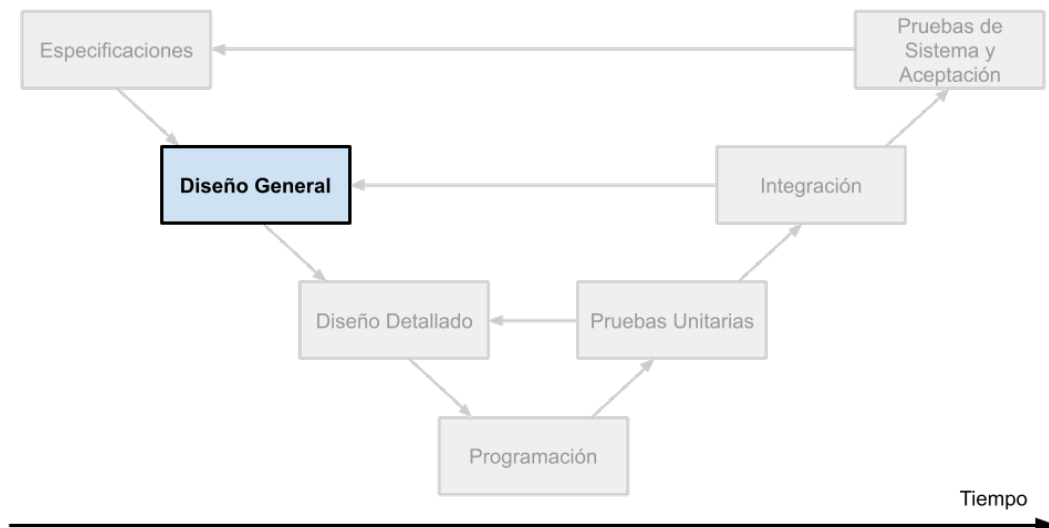


Figura 2.7: Modelo en V - Diseño General.

El SRPV es un sistema formado por componentes de hardware y software. Su arquitectura básica se resume en la figura 2.8.

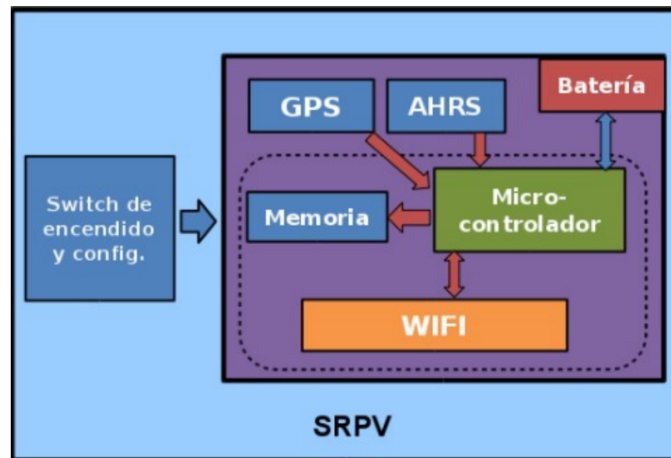


Figura 2.8: Arquitectura Básica del SRPV.

2.3.1. Componentes de Hardware

Como componentes de hardware, el SRPV cuenta con un Microcontrolador, un Sistema de Posicionamiento Global (Global Positioning System (GPS)), un Sistema de Referencia de Actitud y Rumbo (Attitude and Heading Reference Systems (AHRS)), un módulo de memoria, un módulo WIFI, un interruptor de encendido/apagado y una batería recargable de Litio como fuente de alimentación autónoma.

Exteriormente cuenta con una caja estanca que contiene a todos los componentes como muestra la figura 2.9, que en esta etapa se ha utilizado un diseño asistido por computadora para ir tomando dimensión de lo que se está desarrollando.

2.3.2. Componentes de Software

Como componentes de software, el SRPV incluye un módulo de adquisición y almacenaje de datos y un módulo de exportación de la información adquirida. El primero es el responsable de recibir, en tiempo real, la información proveniente de los sensores del sistema y almacenarla en la memoria interna del dispositivo. El segundo

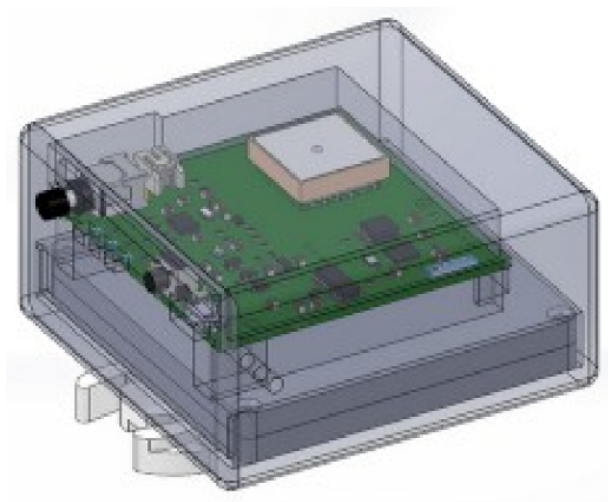


Figura 2.9: Diseño del SRPV Asistido por Computadora.

tiene la función de descargar la información guardada en la memoria interna para su posprocesamiento en el Sistema de Debriefing.

Por todo lo expresado, para el SRPV, se llevó a cabo un Diseño General del Sistema, tanto de Hardware como de Software, como se puede observar en la figura 2.10 como un prototipo.

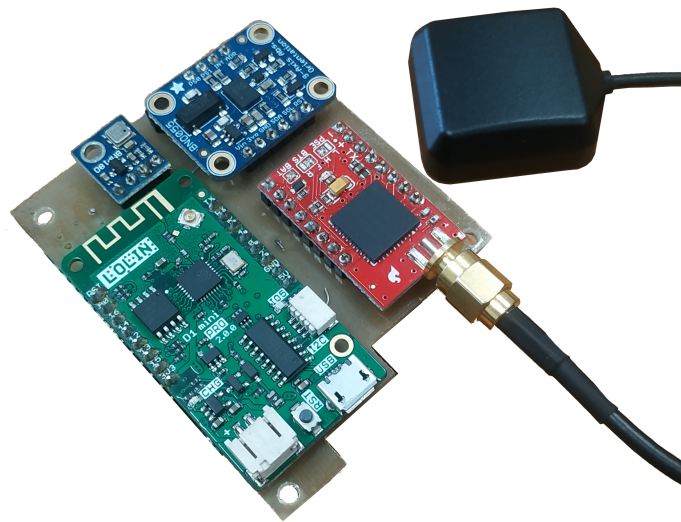


Figura 2.10: SRPV Versión Inicial.

Se ha logrado con este diseño general, que contando con dispositivos específicos, sensores y microprocesador, ensamblados de manera correcta, se lograba contar con

un prototipo preliminar que podría satisfacer las necesidades del Usuario, pero que sin embargo, no iba a cumplimentar con las condiciones que se plantea desde la DIRAM 4, a través de DIGAMC, para obtener el certificado de aprobación aeronáutico del SRPV.

2.4. Diseño Detallado

En el diseño detallado del sistema en esta fase (Figura 2.11) se centró en desarrollar un dispositivo SRPV totalmente integrado, una electrónica integrada, pasando por las etapas de diseño electrónico hasta la selección de los componentes con características más robustas que los componentes industriales (como por ejemplo, automotrices o aeroespaciales) como lo son los componentes que se encontraban en la Etapa de Diseño General.

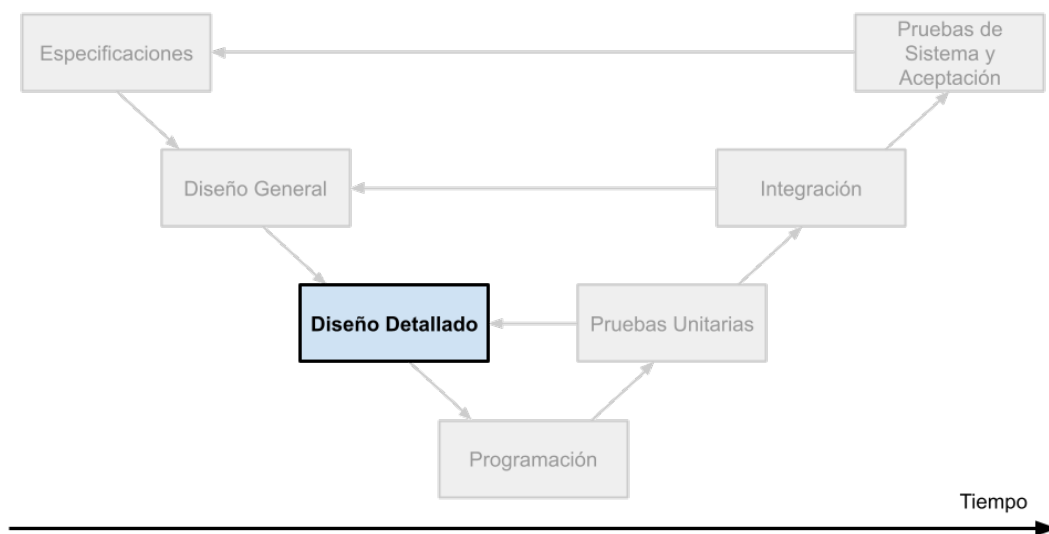


Figura 2.11: Modelo en V - Diseño Detallado.

Se elaboraron especificaciones técnicas detalladas para cada componente y se definieron algoritmos y estructuras de datos. Esta etapa se ha enfocado también, en los detalles de implementación y preparar el terreno para la programación.

A su vez, se define la batería a utilizarse, características y fabricación del Gabinete que contendrá la electrónica y la batería, como así también el método de sujeción que se utilizará.

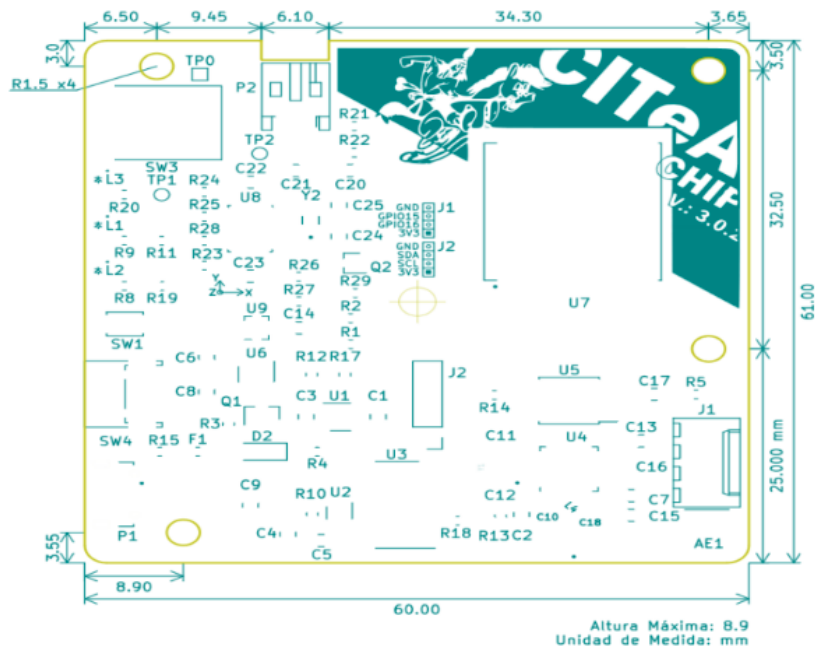


Figura 2.13: Factor de Forma del SRPV.

2.4.2. Batería de Alimentación

La batería para equipar el SRPV, según los requerimientos brindados en el apartado 2.2.2.4 en donde se definieron características básicas, y en base a estudios de diferentes baterías que se encuentran en el mercado y que cumpla con el estándar, las especificaciones y dimensiones, se logró obtener una batería con las siguientes características:

- Modelo: 103450
- Marca: DEAH
- Dimensión: 50x34x10mm/1,97x1,34x0,39
- Tipo: polímero de litio
- Tipo de placa de protección: protección contra sobrecarga, protección contra sobredescarga
- Voltaje Nominal: 3.7V-4,2
- Voltaje límite de carga: 4,2 V
- Dimensión: 35x20x7mm

- Tensión de funcionamiento de corte: 2,75 V
- Entorno de descarga: -20°C a 60°C
- Entorno de carga: 0°C a 45°C
- Entorno de almacenamiento: -20°C a 45°C
- Vida útil: 500 veces

2.4.3. Gabinete

Al momento de realizar los diseños del Gabinete, se logra que el dispositivo no supera las siguientes dimensiones:

- Volumen: hasta 300 cc.
- Peso: hasta 400 gr.

Sin embargo, al necesitar de un sistema de mitigación en caso de alguna corrida térmica de la batería se implementó un sistema tipo *sandwich* que contenga la batería y sus respectivos gases o llamas. El mismo esta compuesto de dos piezas, base y tapa (Figura 2.14), que cierran herméticamente.

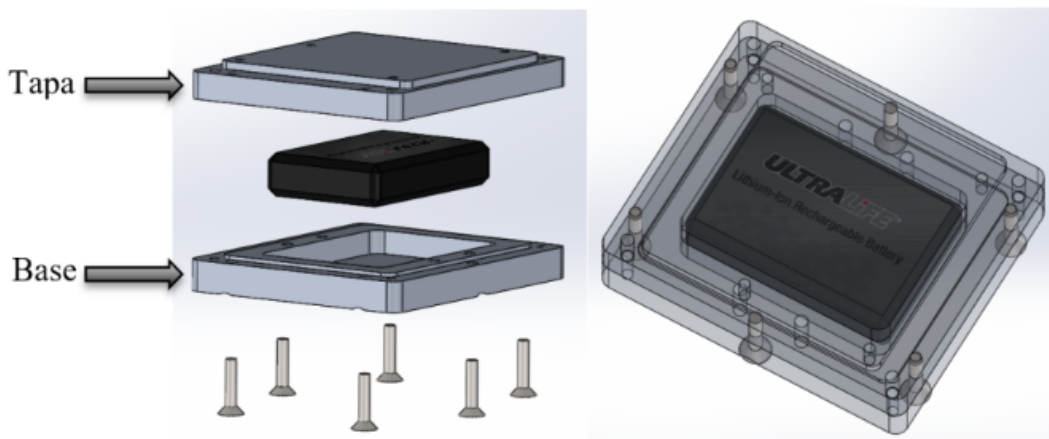


Figura 2.14: Gabinete del SRPV.

2.4.4. Sujeción

Dado que por ningún motivo se debe interferir con la aeronavegabilidad de la aeronave, se optó por el diseño de un SRPV con un anclaje simple y de fácil montaje.

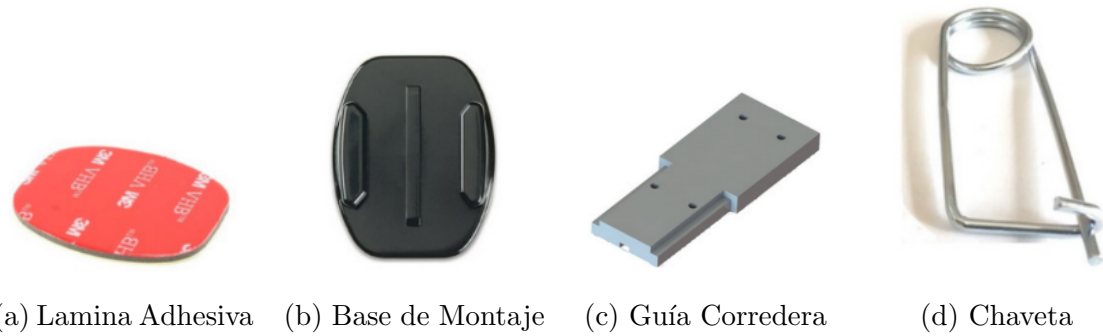


Figura 2.15: Sistema de Sujeción del SRPV

El mismo consta de cuatro (4) componentes.

1. Lámina adhesiva doble faz 3M (Figura 2.15a).

- Características:

- Tensión Normal 480 kPa ($70\text{lb}/\text{in}^2$).
- Adhesión a 90° 39 N/cm.
- Resistencia al corte traslapado 450 kPa ($65\text{ lb}/\text{in}^2$).

2. Base de montaje (Figura 2.15b).

- Características: Estándar Comercial.

3. Guía Corredera (Figura 2.15c).

- Fabricada en Poliamida Pa 6.
- Densidad ISO 1183 g/cm^3 : 1,15
- Temperatura de Servicio: $C^\circ - 80 + 120$
- Temperatura máxima de servicio en periodos breves : $C^\circ \leq 180$
- Resistencia al impacto ISO 179/ $leUkJ/m^2$ seco y húmedo : No rompe

4. Chaveta tipo gancho (ver Figura 11-4).

- Características: Estándar Comercial.

2.5. Programación

Si bien el título descriptivo habla de programación, en esta etapa (Figura 2.16), no solo se realiza la programación real del software sino que también, se realiza, la construcción del hardware de acuerdo con el diseño detallado. Los programadores se encargan de la escritura del código fuente en el caso del software y se gestionaron las fabricaciones de los componentes en el caso del hardware. Es importante seguir las pautas y estándares establecidos durante el proceso de implementación.

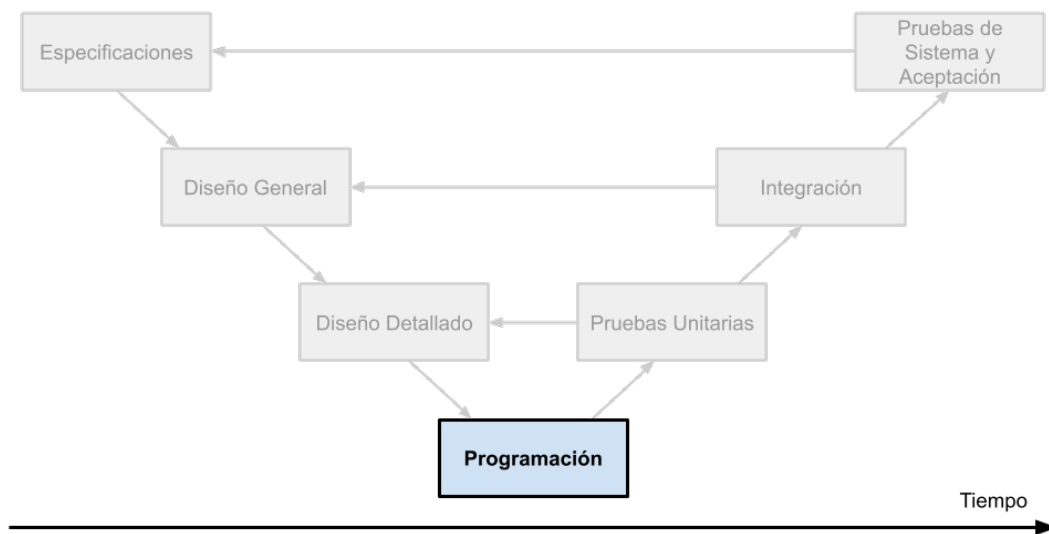


Figura 2.16: Modelo en V - Programación.

En lo que respecta a la Escritura de Código (desarrollo de software), los programadores traducen el diseño detallado en código fuente, utilizando lenguajes de programación específicos para implementar las funcionalidades del software de acuerdo con las especificaciones (Figura 2.17). Fundamental y necesario que el código sea claro, eficiente y cumpla con los estándares de programación establecido para sistemas de seguridad crítica.

En el caso de desarrollo de hardware, esta etapa implica la producción y ensamblado de componentes físicos. Incluyendo la creación de placas de circuito electrónico, fabricación de carcasas y la adquisición de otros componentes.

Si bien cada parte va por separado, a menudo, la programación se combina con pruebas unitarias continuas para identificar y corregir errores o problemas de funcionamiento garantizando que el software y el hardware funcionen correctamente,

```
*CITeA_CHIPV3_210727D.ino
~/Descargas/FirmwareCHIP/CITeA_CHIPV3_210727D
Guardar

49 | Copyright (c) 2021 CITeA - DGIyD - FAA. Todos los derechos reservados.
50 */
51
52 #include <ESP8266WiFi.h>
53 #include <ESP8266WebServer.h>
54 #include <Wire.h>
55 #include <Adafruit_Sensor.h>
56 #include <Adafruit_BNO055.h>
57 #include <Adafruit_BMP280.h>
58 #include <utility/ImuMaths.h>
59 #include <SoftwareSerial.h>
60 #include <TinyGPS++.h>
61 #include <LittleFS.h>
62 #include "variables.h"
63 #include "CSS.h"
64 #include <EEPROM.h>
65
66
67 #define TIMER_INTERRUPT_DEBUG 1
68
69 void ICACHE_RAM_ATTR onTimerISR() {
70     timer1_write(periodo * 5000); //medio segundo
71     if (debugGeneral && !debugMenu) {
72         Serial.print(">");
73     }
74     if (debugTimer && !debugMenu) {
75         Serial.print("Timer: ");
76         unsigned long tiempoahora = millis();
77         Serial.println(tiempoahora - TanteriorDebugTimer);
78         TanteriorDebugTimer = tiempoahora;
79     }
80     GPS_DATA(); // parsea los datos de GPS
81     IMU_DATA(); // Adquiere los datos de la IMU
82     PRESBAT_DATA();
83     AlmacenaFlash();
84 }
85
86
87 void setup() {
88     Serial.begin(115200);
89     pinMode(button, INPUT_PULLUP);
90     pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);
91     pinMode(statusLed, OUTPUT);
92     pinMode(ledAuxPruebaReset, OUTPUT);
93     Serial.println("");
94     MensajeUltimoReset = "Encendido\n\r";
95     Serial.println("Encendido");
96
97     byte code[6];
```

Figura 2.17: Parte del Código SRPV.

teniendo en cuenta que la placa de circuito electrónica se encuentre desarrollada. A continuación se presenta la placa desarrollada (Figura 2.18), conjuntamente con el enclosure (Figura 2.19) diseñado y desarrollado para contener a la placa de desarrollo.

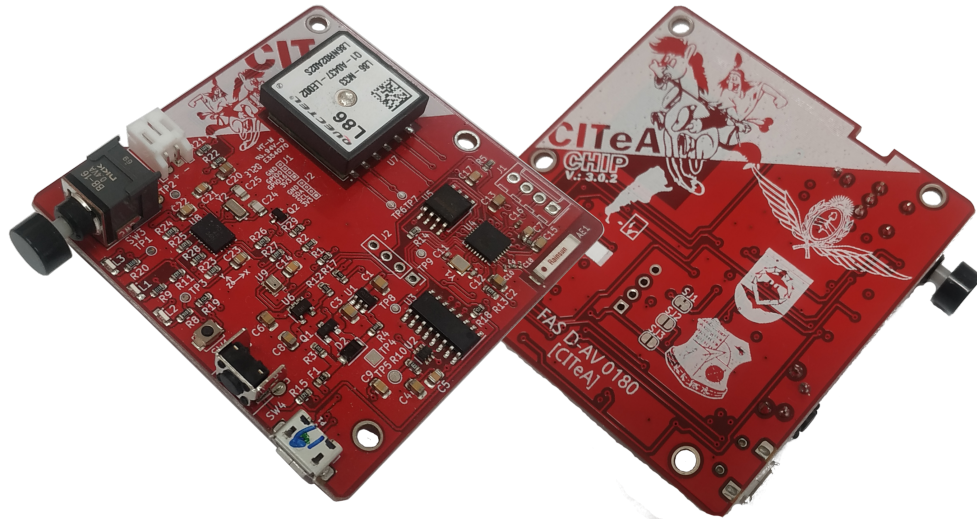


Figura 2.18: SRPV en su versión Final.

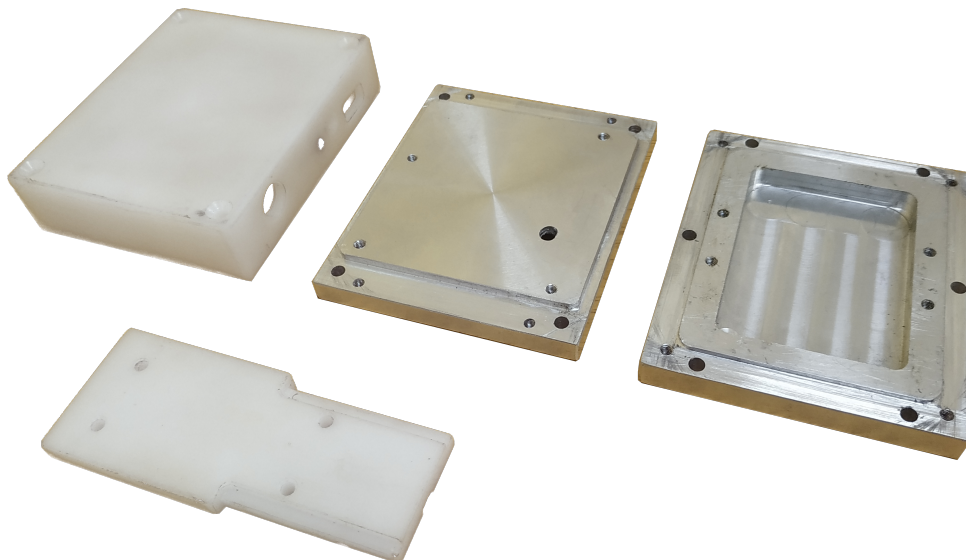


Figura 2.19: Enclosure del SRPV.

En este proceso del desarrollo del sistema, se continua con mantener una documentación adecuada. Esto incluye comentarios en el código fuente, registros de cambios del desarrollo de software, desarrollo de planos para las distintas partes

del hardware y cualquier otra información relevante que facilite la comprensión y el mantenimiento del sistema en el futuro.

2.6. Pruebas Unitarias

Una vez que se ha completado la etapa de programación, cada componente o módulo se somete a pruebas unitarias (Figura 2.20). Estas pruebas verifican que cada parte del sistema funcione correctamente a nivel individual, de acuerdo con las especificaciones, buscando y corrigiendo posibles errores que aparezcan del desarrollo.

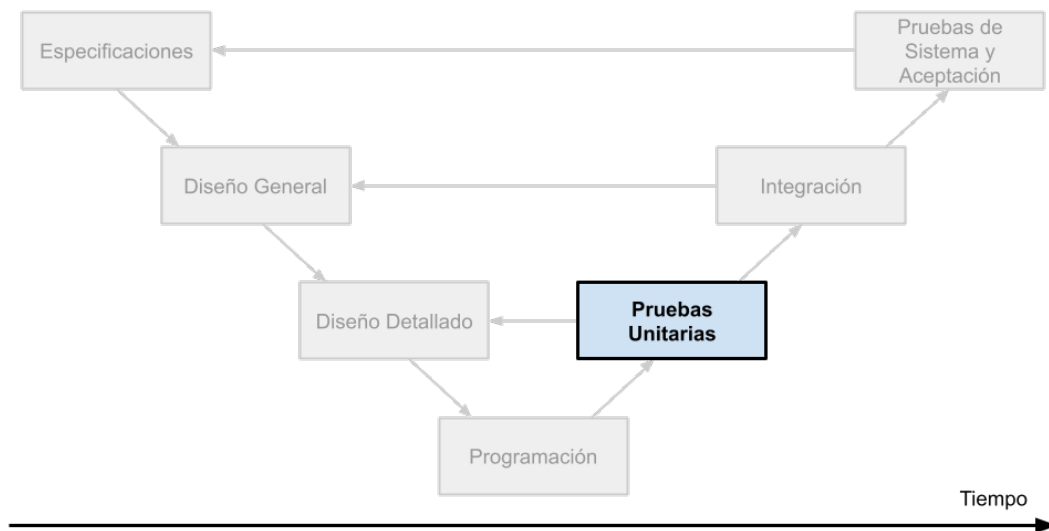


Figura 2.20: Modelo en V - Pruebas Unitarias.

Para ello, se realizaron pruebas aisladas, como por ejemplo, aislar el componente o módulo que se desea probar del resto del sistema y comprobar su funcionamiento. Para ello, se automatizaron las pruebas bajo la ejecución de un framework desarrollado para el caso tratando de realizar una alta cobertura de código. Esto significa que se ha probado todas las rutas posibles a través del código para identificar posibles problemas y garantizar que no queden partes no probadas, tanto de hardware como de software.

Por cada prueba unitaria se establecieron resultados esperados comparándolas con las salidas reales de la prueba para determinar si el componente funciona según lo

previsto. Caso contrario, se detecta un error durante la prueba y se permite corregir de inmediato. Esta corrección temprana es crucial para evitar que los errores se propaguen y se vuelvan más costosos de resolver en etapas posteriores.

Las pruebas unitarias suelen desarrollarse en un proceso de integración continua, donde se ejecutan automáticamente cada vez que se realiza una modificación en el código fuente. Esto ayuda a garantizar que el código base siempre esté en un estado funcional y libre de errores conocidos.

Ha sido importante documentar las pruebas unitarias, incluyendo los casos de prueba, los resultados esperados y las correcciones realizadas. Esta documentación es útil para futuras referencias y para mantener un registro de las pruebas realizadas. A continuación se presenta toda la documentación generada por todas y cada una de las pruebas realizadas al SRPV (Figura 2.21).

SRPV	Desarrollo	D	Pruebas	Software	SW	Procedimiento de Ensayos	SRPV-D-SW-TP-001
SRPV	Desarrollo	D	Pruebas	Software	Sw	Reporte de Ensayos	SRPV-D-SW-TR-001
SRPV	Desarrollo	D	Pruebas	Sistema / HW	SYS	Orden de Ingeniería - Especificación de ensayo de ATP	SRPV-D-SYS-OI-001
SRPV	Desarrollo	D	Pruebas	Sistema / HW	SYS	Reporte Técnico de ensayo de ATP	SRPV-D-SYS-RP-001
SRPV	Desarrollo	D	Pruebas	Sistema / HW	SYS	Orden de Ingeniería - Especificación de ensayo de capacidad	SRPV-D-SYS-OI-002
SRPV	Desarrollo	D	Pruebas	Sistema / HW	SYS	Orden de Ingeniería - Especificación de ensayo de cortocircuito con protección habilitada	SRPV-D-SYS-OI-003
SRPV	Desarrollo	D	Pruebas	Sistema / HW	SYS	Orden de Ingeniería - Especificación de ensayo de sobredescarga	SRPV-D-SYS-OI-004
SRPV	Desarrollo	D	Pruebas	Sistema / HW	SYS	Orden de Ingeniería - Especificación de ensayo de sobrecarga	SRPV-D-SYS-OI-005
SRPV	Desarrollo	D	Pruebas	Sistema / HW	SYS	Orden de Ingeniería - Especificación de ensayo de choque operacional y choque seguro	SRPV-D-SYS-OI-006
SRPV	Desarrollo	D	Pruebas	Sistema / HW	SYS	Orden de Ingeniería - Especificación de ensayo de temperatura	SRPV-D-SYS-OI-007
SRPV	Desarrollo	D	Pruebas	Sistema / HW	SYS	Orden de Ingeniería - Especificación de ensayo de altitud	SRPV-D-SYS-OI-008
SRPV	Desarrollo	D	Pruebas	Sistema / HW	SYS	Orden de Ingeniería - Especificación de ensayo de descompresión	SRPV-D-SYS-OI-009
SRPV	Desarrollo	D	Pruebas	Sistema / HW	SYS	Orden de Ingeniería - Especificación de ensayo de variación de temperatura	SRPV-D-SYS-OI-010
SRPV	Desarrollo	D	Pruebas	Sistema / HW	SYS	Orden de Ingeniería - Especificación de ensayo de humedad	SRPV-D-SYS-OI-011
SRPV	Desarrollo	D	Pruebas	Sistema / HW	SYS	Orden de Ingeniería - Especificación de ensayo de vibraciones	SRPV-D-SYS-OI-012
SRPV	Desarrollo	D	Pruebas	Sistema / HW	SYS	Orden de Ingeniería - Especificación de ensayo de niebla salina	SRPV-D-SYS-OI-013
SRPV	Desarrollo	D	Pruebas	Sistema / HW	SYS	Orden de Ingeniería - Especificación de ensayo de efecto magnetico	SRPV-D-SYS-OI-014
SRPV	Desarrollo	D	Pruebas	Sistema / HW	SYS	Orden de Ingeniería - Especificación de ensayo de descarga electrostatica	SRPV-D-SYS-OI-015
SRPV	Desarrollo	D	Pruebas	Sistema / HW	SYS	Orden de Ingeniería - Especificación de ensayo de corrida termica en bateria de simple celda	SRPV-D-SYS-OI-016
SRPV	Desarrollo	D	Pruebas	Sistema / HW	SYS	Orden de Ingeniería - Especificación de ensayo de impacto por caída	SRPV-D-SYS-OI-017
SRPV	Desarrollo	D	Pruebas	Sistema / HW	SYS	Orden de Ingeniería - Especificación de ensayo por descarga electrostatica por contacto con el personal	SRPV-D-SYS-OI-018
SRPV	Desarrollo	D	Pruebas	Sistema / HW	SYS	Orden de Ingeniería - Especificación de ensayo de emisiones radiadas, campo electrico	SRPV-D-SYS-OI-019
SRPV	Desarrollo	D	Pruebas	Sistema / HW	SYS	Orden de Ingeniería - Especificación de ensayo de campo electrico, susceptibilidad radiada	SRPV-D-SYS-OI-020
SRPV	Desarrollo	D	Pruebas	Sistema / HW	HW	Procedimiento de Ensayos	SRPV-D-HW-TP-001
SRPV	Desarrollo	D	Pruebas	Sistema / HW	HW	Reporte de Ensayos	SRPV-D-HW-TR-001

Figura 2.21: Registro de Pruebas Unitarias del SRPV.

2.7. Integración

En esta fase (Figura 2.22), si bien, los componentes individuales se integran para formar el sistema completo, se prueban las interacciones entre los módulos y se resuelven posibles problemas de integración, garantizando que los componentes trabajen juntos de manera armoniosa, en esta fase, se ha realizado las pruebas, tanto de hardware como de software, de todo el sistema que en principio se habían desarrollado individualmente y corroborar que el SRPV funcione de acuerdo a lo especificado y desarrollado.

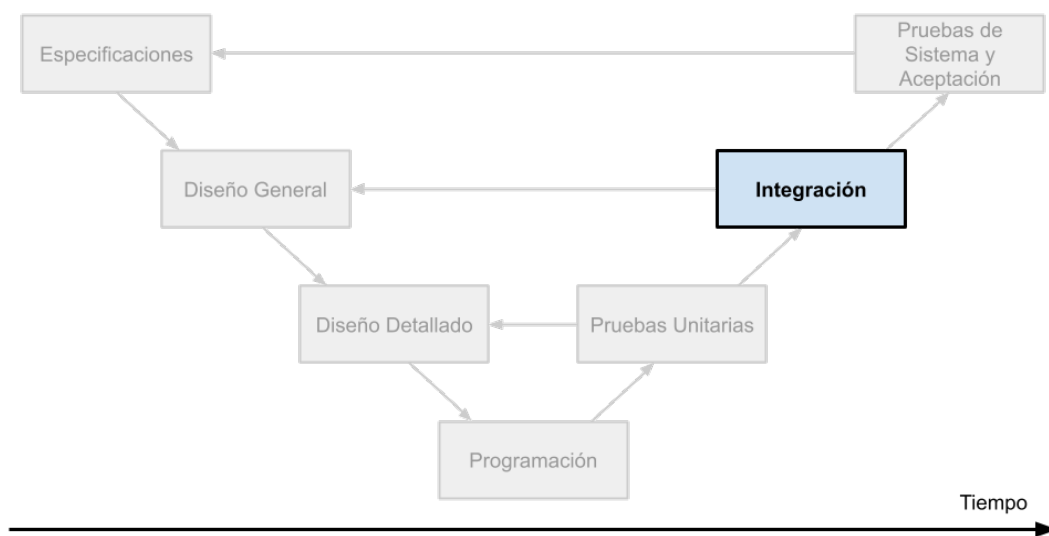


Figura 2.22: Modelo en V - Integración.

La etapa de integración es principalmente, realizar pruebas de todo lo desarrollado en su conjunto. Para ello, se acondicionó el primer SRPV (Figura 2.23) para poder realizar todas las pruebas de integración sobre un Registrador totalmente ensamblado e integrado.

2.8. Prueba del Sistema y Aceptación

Una vez que el sistema completo ha sido integrado, se llevan a cabo pruebas exhaustivas para verificar que el sistema cumple con todos los requerimientos definidos en la etapa de requerimientos del sistema. Esto incluye pruebas funcionales, de rendimiento, seguridad, entre otras.



Figura 2.23: SRPV.

En esta etapa (Figura 2.24), se realizan pruebas para asegurarse de que el sistema cumple con las expectativas de los usuarios y de las partes interesadas. Estas pruebas son llevadas a cabo por los usuarios finales e incluyen escenarios del mundo real. El objetivo es validar que el sistema está listo para su implementación y uso en producción. Para ello, se ha requerido de los Servicios del Centro de Ensayos en Vuelo (CEV), dependiente de la misma Dirección General de Investigación y Desarrollo (DGIyD) que integra también el CITeA, para realizar dichas pruebas del Sistema.

A continuación se presenta una figura de, a modo ilustrativo, donde se ubicó en la Aeronave para realizar dichas pruebas (Figura 2.25).

2.9. Resumen

La metodología en V es una herramienta que permite un enfoque sistemático y estructurado para el desarrollo de sistemas de software y hardware. Al dividir el proceso en dos ramas, una que se enfoca en la definición de requerimientos y especificaciones (la rama descendente) y otra que se enfoca en la verificación y validación (la rama ascendente), la metodología en V garantiza una mejor comprensión de los requerimientos del sistema y una mayor confiabilidad en la implementación final.

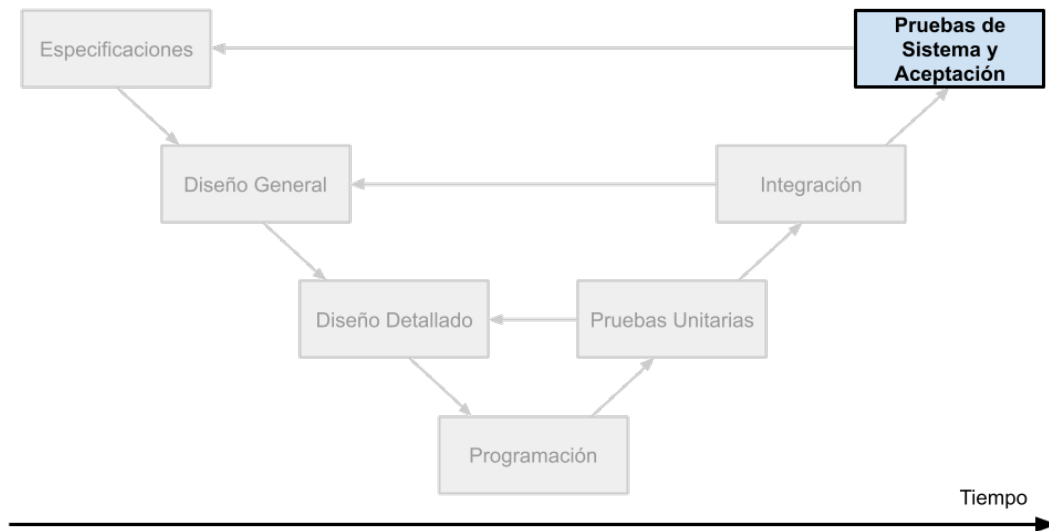


Figura 2.24: Modelo en V - Prueba del Sistema y Aceptación.

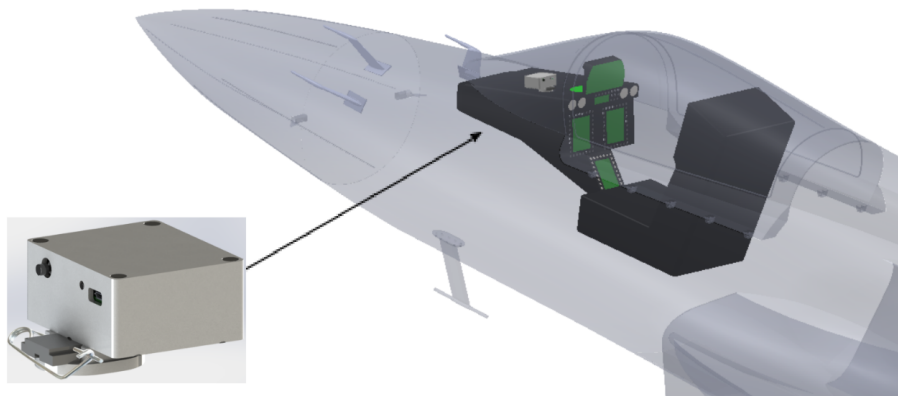


Figura 2.25: Ubicación del SRPV.

Además, promueve la detección temprana de errores y la corrección oportuna de problemas, lo que ahorra tiempo y recursos en el ciclo de desarrollo. En resumen, la metodología en V es una herramienta valiosa que mejora la calidad y eficiencia del desarrollo de sistemas de software y hardware al proporcionar una estructura clara y procesos de verificación y validación integrados a lo largo de todo el proyecto.

Capítulo 3

Conclusiones

En este capítulo se presentarán los resultados de utilizar la metodología en V para el Desarrollo de Sistemas Críticos y los resultados propios del SRPV con sus datos, producto de las pruebas realizadas sobre el mismo en su versión de prototipo, cuales han sido las contribuciones de haber desarrollado un dispositivo electrónico para la Fuerza Aérea Argentina y los Trabajos a Futuro.

3.1. Análisis y discusión

La utilidad de la metodología en V en el Desarrollo del SRPV a permitido contar con una estructura clara y visual para el proceso de desarrollo. Esto facilita la comprensión de las fases y las relaciones entre ellas, lo que es esencial tanto para el equipo de desarrollo como para los interesados en el proyecto.

La metodología en V, se puede visualizar de dos formas. Una es, observando los bloque superiores e inferiores de la V; y otra es, observando la rama descendente y la rama ascendente. Ambas visualizaciones describen características sobresalientes que ayudan al desarrollo del sistema justificando la aplicabilidad de la misma.

La parte superior de la V representa la fase de definición de requisitos, donde se establecen las especificaciones y se comprende las necesidades del cliente. La parte inferior de la V representa la fase de verificación y validación, donde se asegura que el sistema cumple con los requisitos establecidos.

La rama descendente de la metodología en V se enfoca en la definición de requisi-

tos. Esto es fundamental, ya que un entendimiento claro y completo de los requisitos del sistema es esencial para el éxito del proyecto. Al comenzar con una sólida base de requisitos, se reduce la probabilidad de malentendidos y cambios de última hora que pueden causar retrasos y costos adicionales.

La rama ascendente de la metodología en V se refiere a las fases posteriores en el ciclo de vida del desarrollo de sistemas, que incluyen la implementación, la integración y las pruebas. A diferencia de la rama descendente que se centra en la planificación y diseño detallado, la rama ascendente se enfoca en la ejecución, verificación y validación del sistema.

La metodología en V incorpora actividades que permite que los errores y problemas se detectan tempranamente, incluso antes de que se inicie la implementación real del software o hardware. La detección temprana permite corregir problemas de manera oportuna, lo que reduce el costo y la complejidad de abordar problemas más tarde en el proceso.

Al detectar y corregir problemas de manera temprana, la metodología en V ahorra tiempo y recursos en el ciclo de desarrollo. Los errores que se corrigen en etapas posteriores del proyecto suelen requerir más tiempo y esfuerzo, lo que puede llevar a retrasos y costos adicionales. Al minimizar la necesidad de retrabajo, se mejora la eficiencia general del proyecto.

Por ultimo, la metodología en V se centra en garantizar que el sistema cumpla con los requisitos especificados. Esto contribuye a la calidad del producto final al garantizar que se cumplan las expectativas del cliente y que el sistema funcione según lo previsto.

3.2. Contribuciones

Al realizar un desarrollo nacional, la problemática principalmente que se desea intervenir, es la compra de equipamientos y/o dispositivos electrónicos en el Exterior y fomentar la promoción de la producción nacional de equipamientos y dispositivos electrónicos logrando reducir la dependencia de las importaciones y fortalecer el desarrollo local. Esto implica invertir en la capacitación de trabajadores, la tecnología

y la infraestructura necesaria para fabricar estos productos en el país.

La inversión en investigación y desarrollo es esencial para la innovación y la mejora de la calidad de los productos electrónicos nacionales. Desde el propio centro se ha permitido la colaboración con instituciones académicas y la promoción de la innovación tecnológica, logrando la cooperación entre la FAA y el sector educativo, siendo fundamental para impulsar el desarrollo de la industria de equipamientos electrónicos (Sábato y Botana, 1968). Esto permite que, establecer asociaciones y programas de colaboración, se promueve la inversión y la innovación en este rubro para la República Argentina.

Garantizar la calidad de los productos electrónicos nacionales es esencial para ganar la confianza de los consumidores y competir en los mercados internacionales. El establecimiento de estándares de calidad y la obtención de certificaciones pueden ser parte de las medidas para lograrlo.

Invertir en la formación de profesionales en el campo del desarrollo de Sistemas Críticos también es fundamental. Tratando de realizar programas de educación técnica y superior que preparen a las personas para la fabricación y el desarrollo de productos electrónicos.

Si se logra desarrollar una industria de equipamientos electrónicos para Sistemas Críticos, competitiva a nivel nacional, se puede explorar la exportación de estos productos a otros mercados, lo que contribuiría a fortalecer la economía.

Considerar aspectos ambientales en la producción de equipamientos electrónicos es importante. El desarrollo de tecnologías y prácticas sostenibles puede ser beneficioso tanto para el medio ambiente como para la imagen de la industria nacional.

Como conclusión, abordar la problemática de la compra de equipamientos y dispositivos electrónicos para sistemas críticos en el extranjero implica realizar un enfoque integral que combine políticas de fomento a la producción local, inversión en I+D, colaboración público-privada y la promoción de estándares de calidad. Esto puede contribuir al desarrollo de una industria de equipamientos electrónicos sólida y competitiva a nivel nacional.

3.3. Trabajos Futuros

Para finalizar con el desarrollo del SRPV, se debe continuar con el Proceso de Aprobación de Diseño (Figura 3.1) conforme a DIRAM 4, el cual se incurre en una serie de tareas (en total 20 tareas) con el propósito de Solicitar la Certificación del mismo.

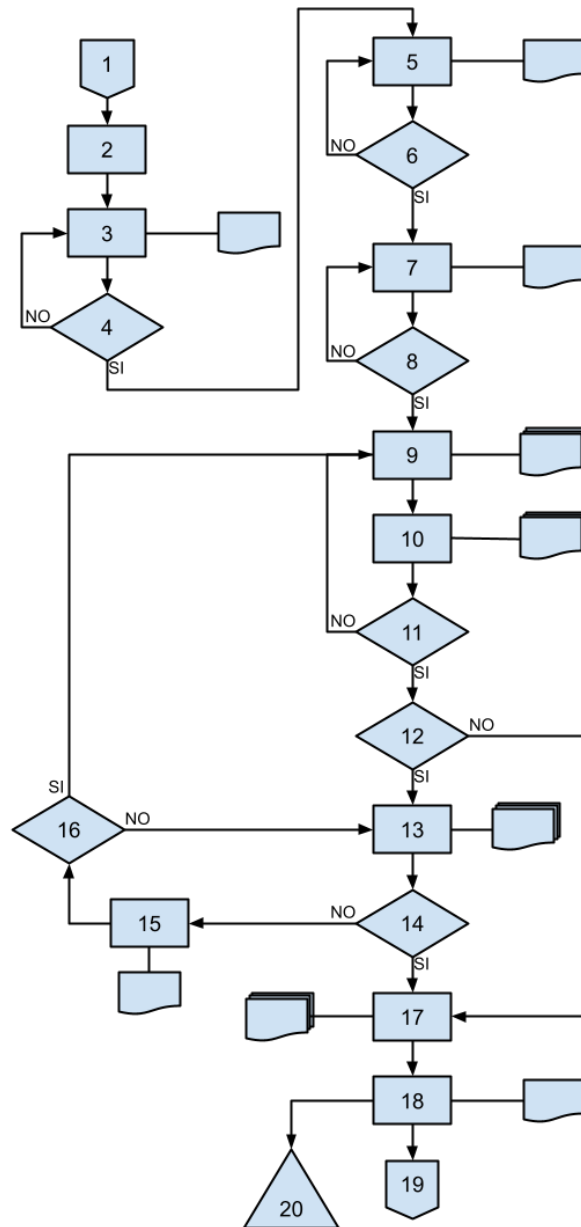


Figura 3.1: Proceso de Aprobación de Diseño.

Con la Figura 3.1 se asocia una tabla que resume cada paso correspondiente (Tabla 3.1).

N°	Tareas	Solicitante	DIGAMC
1	Solicitud de Certificado	Elabora	
2	Formación del Equipo de Certificación		Requiere y Ordena
3	Determinación de las bases de aprobación de diseño/aceptación	Presenta	Analiza
4	¿Satisface?		Aprueba
5	Elaboración de la lista de cumplimiento	Elabora	Analiza
6	¿Satisface?		Aprueba
7	Elaboración del Plan de Certificación	Elabora	
8	¿Satisface?		Aprueba
9	Elaboración de Documentación Técnica	Elabora	
10	Análisis de los documentos		Analiza
11	¿Satisface?		Aprueba
12	¿Se necesitan ensayos	Propone	Decide
13	Implementación de Ensayos	Ejecuta	Supervisa
14	¿Satisface?		Aprueba
15	Determinación de ensayos adicionales	Propone	Acepta
16	¿Se requiere documentación técnica adicional	Propone	Determina
17	Redacción y Entrega de Informes Finales	Ejecuta	Aprueba
18	Redacción y firma del Certificado		Redacta y Aprueba
19	Entrega al Solicitante	Recibe	
20	Archivo de Documentos		Antecedentes

Tabla 3.1: Proceso de Aprobación de Diseño. Conforme DIRAM 4.

El procedimiento correspondiente al Proceso de Aprobación de Diseño (Figura 3.1 y Tabla 3.1) es comenzando por Solicitar la Certificación (Punto 1) del SRPV a DIGAMC y Formar un Equipo de Certificación (Punto 2) que la misma DIGAMC va a ordenar que se forme para llevar a cabo el proceso de Certificación del SRPV. Este equipo, estará integrado por gran parte de las personas que han participado en el proceso de diseño y desarrollo del SRPV.

El resto del equipo, estará conformado por Personal especializado en Calidad para asegurar que el producto cumpla con los estándares establecidos y satisfagan las necesidades y expectativas del Usuario Final; y Personal Especializado en Ensayos de productos, los cuales planificarán y desarrollaran los protocolos de pruebas para luego ejecutarlos y analizar los resultados obtenidos intentando garantizar que el producto cumpla con los estándares de calidad, seguridad y rendimiento antes de llegar a hacer un uso masivo por parte del Usuario Final del SRPV.

Este equipo es el que desarrollará las bases de aprobación de diseño/aceptación (Punto 3) del SRPV y que pondrá a disposición a DIGAMC, quien será el organismo encargado de su aprobación.

Posteriormente, aprobada la base, se elaborará una lista de cumplimientos (Punto 5) del SRPV y una elaboración del plan de certificación (Punto 7), que será elaborado por este equipo, apoyándose en toda la documentación generada durante el proceso de diseño y desarrollo del SRPV y elaborar nueva documentación técnica (Punto 9) haciendo uso de la documentación generada, memorias técnicas y legajos que respalden las listas de cumplimiento. Toda esta documentación será analizada (Punto 10) por el Departamento de Certificación de DIGAMC, el cual dará su aprobación o no.

De no necesitar ensayos (Punto 12), se realiza la redacción y entrega de informes finales (Punto 17), para luego obtener la redacción y posterior firma del certificado (Punto 18) solicitado para luego hacer entrega y realizar una biblioteca con los archivos de documentos generados por dicho proyecto.

Pero, debido a que el SRPV requiere de ensayos, se debe implementar dichos ensayos (Punto 13), ver si satisfacen o no lo ejecutado (Punto 14) y determinar ensayos adicionales de ser necesarios (Punto 15), el cual generará nueva documentación

técnica (Punto 16). De no ser necesario realizar ensayos adicionales se procede a la redacción de informes finales y posterior redacción y firma de certificado para ser entregado al solicitante.

Bibliografía

- Amaya, J. (2010). *Sistemas de información gerenciales: Hardware, software, redes, Internet, diseño*. Ecoe Ediciones.
- EMCFFAA. (2020). *PC14-05 Aeronavegabilidad Militar*.
- FAA-AC120-76D. (2017). *Authorization for Use of Electronic Flight Bags*. AC 120-76D.
- Guerin, B. (2015). *Gestión de proyectos informáticos: desarrollo, análisis y control*. Ediciones ENI.
- ICAO-C340. (2015). *Guidelines for the Expanded Use of Portable Electronic Devices*. ICAO CIRCULAR 340.
- ICAO-D10111. (2019). *Manual on the Implementation and Use of Cabin Electronic Flight Bags*. DOC 10111.
- ISO/IEC/IEEE-12207. (2017). ISO/IEC/IEEE International Standard - Systems and software engineering – Software life cycle processes. *ISO/IEC/IEEE 12207:2017(E) First edition 2017-11*, 1-157. <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2017.8100771>
- Kendall, K. E., & Kendall, J. E. (2005). *Análisis y Diseño de Sistemas*. Pearson Educación.
- Rodríguez, A. G. (2019). *Guía Práctica en Gestion de Proyectos*. Albert Garriga Rodríguez.
- RTCA-DO178C. (2011). *RTCA DO-178C—Software Considerations in Airborne Systems and Equipment Certification*. Washington DC, 20036.
- RTCA-DO311. (2017). *Minimum Operational Performance Standards for Rechargeable Lithium Batteries and Battery Systems* (inf. téc.). Radio Technical Commission for Aeronautics.

Sábato, E., & Botana, N. (1968). LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA EN EL
DESARROLLO FUTURO DE AMÉRICA LATINA.