



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BUENOS AIRES - ITBA
ESCUELA DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

SISTEMA INTEGRAL DE MONITOREO DE FAUNA SILVESTRE

AUTORES: Mechoulam, Alan (Leg. N° 58438)
Lambertucci, Guido Enrique (Leg. N° 58009)
Rodríguez Turco, Martín Sebastian (Leg. N° 56629)
Lonero Bonaparte, Tomás Guillermo (Leg. N° 58150)

DOCENTES: Orchessi, Walter
Pingitore, Ricardo
Ugarte, Alejandro
Gasparini, Ignacio

TRABAJO FINAL PRESENTADO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
ELECTRÓNICO

BUENOS AIRES

PRIMER CUATRIMESTRE, 2021



Proyecto final de Ingeniería Electrónica

Sistema Integral de Monitoreo De Fauna Silvestre

Autores: Mechoulam, Alan (58438)
Lambertucci, Guido Enrique (58009)
Rodriguez Turco, Martín Sebastian (56629)
Lonero Bonaparte, Tomás Guillermo (58150)

Tutores: Orchessi, Walter
Pingitore, Ricardo
Ugarte, Alejandro
Gasparini, Ignacio

Fecha: 23/06/2021

1. Agradecimientos

(TBD)

2. Indice

2.1. Contenidos

| | |
|--|----|
| 1 Agradecimientos | 1 |
| 2 Indice | 2 |
| 2.1 Contenidos | 2 |
| 2.2 Lista de Figuras | 3 |
| 2.3 Lista de Tablas | 4 |
| 3 Acrónimos y definiciones | 5 |
| 4 Resumen | 5 |
| 5 Introducción | 5 |
| 5.1 Antecedentes | 6 |
| 5.2 Contexto del proyecto | 6 |
| 6 Objetivos | 6 |
| 6.1 Finalidad del Proyecto | 6 |
| 6.2 Planteamiento del Problema a Resolver | 7 |
| 6.3 Alcance | 7 |
| 7 Definición de Producto | 8 |
| 7.1 Requerimientos del Cliente | 8 |
| 7.1.1 Relevamiento de Datos | 8 |
| 7.1.2 Requerimientos Finales para Trazabilidad | 9 |
| 7.2 Diagrama Funcional de Interfaces | 10 |
| 7.3 Especificaciones de Diseño | 10 |
| 7.3.1 Especificaciones Funcionales | 10 |
| 7.3.2 Especificaciones de Interfaz | 12 |
| 7.3.3 Especificaciones de Performance | 13 |
| 7.3.4 Especificaciones de Implementación | 14 |
| 7.3.5 Especificaciones de Servicio (RAMS) | 15 |
| 8 Plan de Validación | 15 |
| 8.1 Diseño de Banco de Pruebas | 15 |
| 8.2 Especificaciones de Test | 17 |
| 8.3 Matriz de Trazabilidad de Validación | 18 |
| 8.4 Plan de Verificación y Validación | 20 |
| 9 Análisis de Factibilidad | 20 |
| 9.1 Factibilidad Tecnológica | 20 |
| 9.1.1 Esquema Modular | 20 |
| 9.1.2 Propuesta de Sensores | 21 |
| 9.1.2.1 Temperatura | 21 |
| 9.1.2.2 Humedad | 22 |
| 9.1.2.3 Luminosidad | 22 |
| 9.1.2.4 Imágenes | 22 |
| 9.1.3 Propuesta de Almacenamiento | 23 |
| 9.1.4 Propuesta de Comunicación | 23 |
| 9.1.5 Propuesta de Unidad de Procesamiento | 23 |
| 9.1.6 Propuesta de Batería | 24 |
| 9.1.7 Propuesta de Cargador | 24 |
| 9.1.7.1 Integrado de Energy Harvesting | 24 |
| 9.1.8 Propuesta de Alimentación | 25 |
| 9.1.9 Propuesta de Carga de UBM | 25 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 9.1.9.1 | Planteamiento del Problema | 26 |
| 9.1.9.2 | Carga por Acoplamiento Magnético | 26 |
| 9.1.9.3 | Carga por Radiofrecuencia | 26 |
| 9.1.9.4 | Banda de Frecuencia Adoptada | 27 |
| 9.1.9.5 | Condiciones de Borde | 27 |
| 9.1.9.6 | Comparación entre Antenas | 28 |
| 9.1.10 | Elección de una Solución | 30 |
| 9.1.10.1 | Sensores | 30 |
| 9.1.10.2 | Almacenamiento | 31 |
| 9.1.10.3 | Comunicación | 31 |
| 9.1.10.4 | Unidades de procesamiento | 31 |
| 9.1.10.5 | Batería | 31 |
| 9.1.10.6 | Cargador | 31 |
| 9.1.10.7 | Alimentación | 31 |
| 9.1.11 | DFMEA | 32 |
| 9.2 | Factibilidad de Tiempos | 34 |
| 9.2.1 | Consideraciones | 34 |
| 9.2.2 | Planificación | 34 |
| 9.2.3 | Programación | 35 |
| 9.3 | Factibilidad Económica | 36 |
| 9.3.1 | Modelo de Negocios | 36 |
| 9.3.2 | Gastos e ingresos | 36 |
| 9.3.3 | Flujo de fondos | 36 |
| 9.4 | Factibilidad legal y responsabilidad civil | 36 |
| 10 | Ingeniería de Detalle | 36 |
| 10.1 | Hardware | 36 |
| 10.1.1 | Diagrama de bloques (Hardware) | 36 |
| 10.1.2 | Descripción detallada de cada bloque | 36 |
| 10.1.3 | Detalles de selección y cálculo de los elementos circuitales de cada bloque | 36 |
| 10.1.4 | Plan de pruebas de cada modulo | 36 |
| 10.2 | Software | 37 |
| 10.2.1 | Diagrama de estados y fluujogramas | 37 |
| 10.2.2 | Análisis de complejidad | 37 |
| 10.2.3 | Descripción de subrutinas | 37 |
| 10.2.4 | Listado de elementos del código | 37 |
| 10.2.5 | Plan de prueba de módulos y de depuración de Software | 37 |
| 11 | Software | 37 |
| 12 | Construcción del Prototipo | 37 |
| 13 | Validación del Prototipo | 37 |
| 13.1 | Validación del hardware | 37 |
| 13.1.1 | Plan y protocolos especiales de medición | 37 |
| 13.1.2 | Medidas | 37 |
| 13.1.3 | Evaluación | 37 |
| 13.1.4 | Resultados | 37 |
| 13.2 | Validación de software | 37 |
| 14 | Estudios de confiabilidad de hardware y de software | 37 |
| 15 | Conclusiones | 37 |
| 15.1 | Excelencias. Objetivos alcanzados | 37 |
| 15.2 | Fallos. Recomendaciones para futuros diseños | 37 |
| 16 | Referencias | 38 |
| 17 | Anexos Técnicos | 38 |

2.2. Lista de Figuras

| | | |
|---------|---|----|
| 7.2.1 | Diagrama Funcional de Interfaces. | 10 |
| 8.4.1 | Diagrama de dependencias del plan de validación. | 20 |
| 9.1.1.1 | Diagrama modular del sistema. | 21 |
| 9.2.3.1 | Diagrama de Gantt del proyecto. | 35 |
| 9.2.3.2 | Simulación de Montecarlo. | 35 |
| 9.2.3.3 | Simulación de Montecarlo para tiempo de ingeniería. | 36 |

2.3. Lista de Tablas

| | | |
|-----------|---|----|
| 7.1.2.1 | Requerimientos de máxima. | 9 |
| 7.3.1.1 | Leyendas para las especificaciones. | 10 |
| 7.3.1.2 | Especificaciones funcionales (Parte 1). | 11 |
| 7.3.1.3 | Especificaciones funcionales (Parte 2). | 11 |
| 7.3.1.4 | Especificaciones funcionales (Parte 3). | 12 |
| 7.3.2.1 | Especificaciones de interfaz MEC. | 12 |
| 7.3.2.2 | Especificaciones de interfaz COM1. | 12 |
| 7.3.2.3 | Especificaciones de interfaz COM2. | 13 |
| 7.3.3.1 | Especificaciones de performance. | 13 |
| 7.3.3.2 | Especificaciones dimensionales y de peso. | 14 |
| 7.3.4.1 | Especificaciones de operación. | 14 |
| 7.3.4.2 | Especificaciones de almacenamiento y transporte. | 14 |
| 7.3.5.1 | Especificaciones de seguridad. | 15 |
| 7.3.5.2 | Especificaciones de mantenibilidad. | 15 |
| 7.3.5.3 | Especificaciones de disponibilidad. | 15 |
| 7.3.5.4 | Especificaciones de confiabilidad. | 15 |
| 8.2.1 | Tabla de plan de validación | 17 |
| 8.3.1 | Matriz de trazabilidad (Parte 1). | 18 |
| 8.3.2 | Matriz de trazabilidad (Parte 2). | 19 |
| 9.1.2.1.1 | Comparación entre sensores de temperatura. | 21 |
| 9.1.2.2.1 | Comparación de sensores de humedad. | 22 |
| 9.1.2.3.1 | Comparación de sensores de luminosidad. | 22 |
| 9.1.2.4.1 | Comparación entre cámaras. | 23 |
| 9.1.3.1 | Comparación entre memorias SD. | 23 |
| 9.1.5.1 | Comparación entre palcas Raspberry Pi. | 24 |
| 9.1.6.1 | Comparación entre baterías gel de carga profunda. | 24 |
| 9.1.7.1.1 | Comparación entre cargadores. | 25 |
| 9.1.8.1 | Comparación entre paneles solares. | 25 |
| 9.1.9.6.1 | Comparación entre antenas transmisoras (Parte 1). | 28 |
| 9.1.9.6.2 | Comparación entre antenas transmisoras (Parte 2). | 29 |
| 9.1.9.6.3 | Comparación entre antenas receptoras (Parte 1). | 29 |
| 9.1.9.6.4 | Comparación entre antenas receptoras (Parte 2). | 30 |
| 9.1.11.1 | DFMEA (Parte 1). | 32 |
| 9.1.11.2 | DFMEA (Parte 2). | 33 |
| 9.1.11.3 | Criterio de IC. | 34 |
| 9.1.11.4 | Nivel de IC. | 34 |
| 9.2.2.1 | Actividades a realizar en el proyecto en <i>días</i> de 8 horas cada uno. | 34 |

3. Acrónimos y definiciones

| Acrónimo | Descripción |
|-------------|---------------------------------|
| AMB | Ambiente |
| COM | Comunicación |
| EGM | Electromecánica |
| HW | Hardware |
| IC | Circuito Integrado |
| MEC | Mecánico |
| R-Pi | Raspberry Pi |
| R/W | Lectura/Escritura (Read/Write) |
| RF | Radio Frecuencia |
| RTD | Resistance Temperature Detector |
| SER | Servicio Técnico |
| SW | Software |
| TBC | To Be Completed |
| TBD | To Be Determined |
| TC | Termocouple |
| UBN | Unidad de Batería del Nido |
| UBM | Unidad de Batería de la Mochila |
| UP | Unidad de Procesamiento |

| Término | Descripción |
|------------|---|
| UBN | La Unidad de Batería del Nido hace referencia a la batería que se encontrará en el nido, la cual será cargada a través de un panel solar y almacenará la energía de todo el módulo. |
| UBM | La Unidad de Batería de la Mochila es la batería que se encontrará en la mochila que dispondrá el ave. |

4. Resumen

En este informe se introduce brevemente al estado del arte de la adquisición de datos en la naturaleza y al sistema propuesto que opera en el hábitat particular de aves pequeñas, en este caso diseñado (pero no limitado) a la especie *Campephilus Magellanicus*.

Se detalla el diseño de una plataforma de adquisición de datos autónoma, que permitirá conocer con profundidad el comportamiento y hábitat de las aves. Esta debe tener la capacidad de almacenar diversos datos tanto del interior como del entorno del nido.

El nivel de autonomía que se busca está ligado no solamente a la recolección de datos, sino también a la alimentación del producto, debido a las condiciones del entorno en el cual habita el ave.

El sistema debe además ser capaz de transmitir estos datos de manera inalámbrica para no perturbar el comportamiento de la especie estudiada.

Se analizan los requerimientos y especificaciones de producto considerando a los clientes involucrados, entre ellos el equipo de biólogos que realizarán las observaciones, los entes reguladores de vida silvestre, el estado, los fabricantes de circuitos impresos, entre otros.

Luego se presentan los procedimientos tomados para las pruebas, los criterios de aceptación, las precondiciones, postcondiciones y el banco de pruebas, haciendo especial énfasis en el bienestar de los organismos que se encuentran en las cercanías del dispositivo.

(TBC)

Observación: Este resumen puede ser adecuado para el Hito 1 pero no para el proyecto completo.
Rehacerlo pensando en todo el trabajo.

5. Introducción

5.1 Antecedentes

Cuando se estudian aves, por lo general, los investigadores optan por colocar pequeños dispositivos transmisores sobre el cuerpo de las mismas. Sin embargo, las soluciones disponibles en el mercado tienen restricciones de energía y peso lo cual resultan incompatibles con las expectativas del grupo INBIOMA.

Actualmente las unidades de recolección de información toman datos sobre la posición, temperatura, el estado vital del espécimen, entre otras. Estos dispositivos comerciales requieren de una antena para la transmisión de datos mediante redes celulares, las cuales no siempre están presentes en las zonas de interés y ademas generan costos de comunicación. Las antenas que se emplean, cuyo largo es comparable con el largo del ave, no presentan dificultad alguna para aves que duermen y anidan en dormideros o nidos abiertos (al aire libre). Por el contrario, para el caso de las aves que viven en el interior de los árboles, tal como los pájaros carpinteros, el uso de dichos dispositivos es un inconveniente. Estas pueden poner en peligro a las demás aves que habitan dentro del nido y dificultarle la movilidad, haciéndolas más vulnerables ante depredadores.

Por otro lado, los productos existentes que están pensados para especies de menor tamaño, no contemplan la naturaleza territorial y violenta del *Campephilus Magellanicus*, nombre científico del pájaro carpintero gigante.

También existen productos para aves de mayor tamaño, el problema en estos radica en la incapacidad del sujeto de estudio de transportar el peso de la electrónica asociada a estos productos.

Por último consideramos las opciones que se pueden conseguir en el mercado no profesional, destinadas para el uso hogareño: pequeños nidos de fácil instalación que poseen sensores variados(temperatura e imagen). Nuevamente, ese tipo de productos no contemplan el comportamiento del ave en cuestión (no se instala nada en el ave y no hay posibilidad de comunicación), Finalmente un producto así, no podría ser utilizado dado que el carpintero es tomadera de nidos, sino que debe construir el propio.

5.2 Contexto del proyecto

Observación: Se tiene que dejar bien en claro que hay un panel solar y un cargador o algo así.

El CIDEI (Centro de Investigación y Desarrollo en Electrónica Industrial del ITBA) está trabajando junto al INBIOMA (Investigaciones en Biodiversidad y Medioambiente radicado en la Universidad Nacional del Comahue) para participar de un estudio en conjunto que busca aprender de algunos aspectos de la vida del Carpintero Gigante, ave que sirve de vector de referencia para analizar el estado de otros elementos de la vida silvestre en el área [1].

El CIDEI-ITBA tiene la tarea de desarrollar la tecnología para la obtención de las variables físicas, tanto del vuelo y comportamiento de las aves, como de su entorno (nido y alrededores). El estudio de los patrones de alimentación y movimiento del ave en cuestión pueden alertar sobre diversos factores que están cambiando en el ambiente. En la actualidad no existe en el mercado un dispositivo que permita cumplir con los requerimientos para el relevo de los datos necesarios para la investigación, por lo que se trabajará junto al grupo de biólogos en su desarrollo.

Las unidades de adquisición de datos móviles que se encuentran actualmente en el mercado no son compatibles con lo que se requiere para estudiar al pájaro carpintero, ya que o son dispositivos que van montados sobre el ave, o son equipos de tipo hobbista. En otras palabras, no se encuentra disponible una solución integral que permita obtener mediciones y extraer contenido visual dentro y fuera de los nidos.

Observación: Redactar mejor. Tiran varias ideas una detrás de otra sin tener un orden o secuencia lógica.

6. Objetivos

6.1 Finalidad del Proyecto

La ornitología, el estudio de las aves, es una rama muy importante de la biología, con varios aportes diversos al conocimiento colectivo como conceptos claves sobre la evolución, comportamiento y conservamiento de ecosistemas. Siendo esta última de especial importancia, dado que las aves controlan las poblaciones de roedores e insectos, dispersan semillas que ayuda a la conservación de bosques, son fuente de alimento de otras especies y son indicadores de la calidad de un ecosistema.

En este proyecto se busca desarrollar un equipo electrónico que permitirá a un grupo de ornitólogos del CONICET realizar un estudio sobre el ave *Campephilus Magellanicus*. Esto consiste en un dispositivo que funcione autónomamente, capaz de recolectar datos, almacenarlos y transmitirlos.

Observación: Esta es la finalidad ????? No están diciendo nada. Hacer nuevamente.

6.2 Planteamiento del Problema a Resolver

Observación: Escribieron bastante y no han dejado muy claro qué problema deben resolver ustedes. Hay que intentarlo nuevamente escribiendo más claro, tratando de independizar el trabajo que ustedes deben hacer de la investigación principal.

Observación: Ustedes no hacen la investigación, van a diseñar un equipo para soporte de esa investigación, hablen de lo que ustedes van a realizar.

Observación: Tema importante para el lector: Hasta ahora no sabemos cuáles son esos distintos parámetros. Sólo sabemos que los productos disponibles en el mercado no los tienen en cuenta.

Nuestro producto deberá involucrar la adquisición de distintos parámetros de la vida del ave, siendo estos la temperatura, la luminosidad y la humedad del nido. También es pertinente obtener imágenes del interior.

Si bien existe un dispositivo que se encontrará montado sobre el ave, es necesario complementar con otro elemento que permita tener datos del nido. Además, el primer componente mencionado también es capaz de recolectar información. Es por esto que no solo se debe poder almacenar lo recolectado por el producto a desarrollar, sino que también se debe incorporar al dispositivo la posibilidad de recibir de manera inalámbrica aquellos datos que obtenga el equipo del ave.

Con anterioridad se pactó con el grupo de ornitólogas que, una vez por semana, se acercará una persona a la base del árbol para descargar de manera inalámbrica todos los datos almacenados en el equipo del nido. Este proceso se repetirá durante todo el proceso de anidamiento del espécimen en cuestión.

Por otra parte, el equipo del ave contará con una fuente de alimentación, la cual consta de baterías que deberán poder ser recargadas mientras el pájaro se encuentre dentro del nido. Es por esto que el sistema debe ser capaz de lograr dicha recarga. Por lo general, el carpintero gigante macho suele dormir entre seis y ocho horas en el nido, para luego tomar turnos de dos a tres horas con la hembra para cuidar a los pichones.

Una gran limitación del proyecto se basa en que las aves suelen hacer mantenimiento del nido, picoteando las paredes y el suelo de este para tapar los restos de comida o las heces de los pichones. Esto imposibilita la colocación de electrónica en el suelo o las paredes del hábitat. Sin embargo, la excepción de esto es la bóveda o techo, la cual es excavada primero para permitir luego la progresión hacia abajo.

Finalmente, se contempla que el pájaro carpintero habita en zonas urbanas, suburbanas, rurales e intangibles (es decir zonas a las que no puede acceder el turista, donde se protege la biodiversidad). Este factor limita las fuentes de alimentación que se emplean para poder mantener funcionando al sistema. Es por ello que el uso de la red eléctrica no es una opción.

El desafío del trabajo se centra en la complejidad de las condiciones de uso del dispositivo dado por el comportamiento destructivo de las aves dentro del nido, la necesidad de transferencia de energía inalámbrica y el requisito de lograr mantener energizado al sistema sin intervención humana durante todo el periodo de anidamiento del ave, sin la posibilidad de una conexión a la red eléctrica.

6.3 Alcance

Este proyecto involucrará el diseño de un dispositivo capaz de recolectar información para ser utilizado en el ámbito de la investigación. Luego, se deberá efectuar una comunicación tanto con los datos que posea el animal como con una persona en la base del árbol.

Además, el producto deberá ser capaz de lograr la carga de la UBM colocada sobre el pájaro. En una primer instancia, se buscará lograr dicha carga a través unidades de carga de RF, mientras el ave se encuentre en el nido. En caso de que no sea viable cargar inalámbricamente, se dispondrá de sistemas complementarios que permitan el funcionamiento de la mochila de manera autónoma, tales como tecnologías de carga piezoelectrica o solar.

En consecuencia, se necesitará alimentar a los sensores instalados en el nido, a la batería que posea el ave y a los elementos relacionados a la comunicación. Dado que el dispositivo estará destinado para utilizarse en zonas remotas, se deberá conseguir energía mediante medios propios del entorno, como lo puede ser el uso de paneles solares para recolectar energía y baterías para almacenarla.

Se realizarán los análisis relevantes para asegurar la viabilidad financiera del proyecto según los requisitos del cliente. La verificación de la calidad del diseño estará basada en un único prototipo no comercial, el cual buscará cumplir los requerimientos definidos y adquirir las validaciones posibles dentro del marco económico actual y las limitaciones del cliente.

Por otro lado, para que quede definido el límite del proyecto, se enumeran ciertos aspectos que no se contemplarán en este trabajo:

- La instalación del producto final in situ.

- El procesamiento de los datos recibidos. Solo se realizaran aquellos procesos relacionados con el almacenamiento y retransmisión.
- La electrónica que irá situada en la mochila, tales como sensores, almacenamiento o señales de control. Solo se desarrollará lo pertinente con la carga y, en caso de ser necesario, prototipos que únicamente serán destinados para ser empleados en bancos de pruebas de la unidad del nido.

Observación: VERIFICAR QUE: “Capacidad de recargar completamente de manera inalámbrica en 6 horas las baterías de un dispositivo ajeno al proyecto que irá sobre el ave” y “El sistema de carga del dispositivo del ave debe entregar al menos 7.5 mW y hasta 10 mW” esté explicitado.

7. Definición de Producto

7.1 Requerimientos del Cliente

7.1.1 Relevamiento de Datos

La adquisición de datos para fijar los requerimientos del cliente fue realizada mediante sucesivas reuniones con el equipo de ornitólogas, las cuales informaron de las necesidades del producto para llevar a cabo su investigación, dado que son nuestro único cliente principal.

Además, se tuvieron en cuenta las diversas normas que rigen los equipos electrónicos vigentes en Argentina como se detalla en la Sección (7.3).

7.1.2 Requerimientos Finales para Trazabilidad

| ID | Descripción | Origen |
|--------|--|---------|
| REQ-01 | El producto estará colgado de un árbol a una altura de 4 a 14 metros y se instalará parcialmente dentro del nido del ave. | Cliente |
| REQ-02 | El producto debe poder mantenerse energizado sin intervención humana. | Cliente |
| REQ-03 | El producto no debe requerir conexión a la red eléctrica para su funcionamiento. | Tácito |
| REQ-04 | El producto debe ser capaz de adquirir los siguientes datos dentro del nido: imágenes, temperatura, humedad y nivel de luz | Cliente |
| REQ-05 | Un dispositivo ajeno al proyecto que irá sobre el ave debe poder transmitirle las mediciones que realizó durante el día al nido. | Cliente |
| REQ-06 | El producto debe poder almacenar los datos adquiridos por el nido y el ave. | Tácito |
| REQ-07 | Una persona debe poder recibir los datos almacenados en el nido a la distancia. | Cliente |
| REQ-08 | El producto no debe llamar la atención de humanos desde el nivel del piso. | Cliente |
| REQ-09 | El producto o su instalación no debe dañar al árbol donde estará el nido. | Tácito |
| REQ-10 | El producto debe soportar las condiciones meteorológicas del sur Argentino, específicamente los alrededores de Bariloche, Rio Negro. | Tácito |
| REQ-11 | El costo del producto debe ser menor o igual a 1000 USD. | Cliente |
| REQ-12 | El producto debe cumplir la norma (TBD) : seguridad eléctrica. | Estado |
| REQ-13 | El producto debe cumplir la norma (TBD) : seguridad ambiental. | Estado |
| REQ-14 | El producto debe poder cargar las baterías del dispositivo del ave. | Cliente |
| REQ-15 | El producto no debe perturbar a las aves dentro del nido. | Cliente |
| REQ-16 | El producto desarmado debe soportar las condiciones de traslado impuestas por los caminos rurales hasta llegar a la zona de instalación. | Tácito |
| REQ-17 | La tasa de adquisición de datos debe depender únicamente de cada variable a medir. | Tácito |
| REQ-18 | La vida útil del producto deberá ser de por lo menos 2 años. | Cliente |

Tabla 7.1.2.1: Requerimientos de máxima.

7.2 Diagrama Funcional de Interfaces

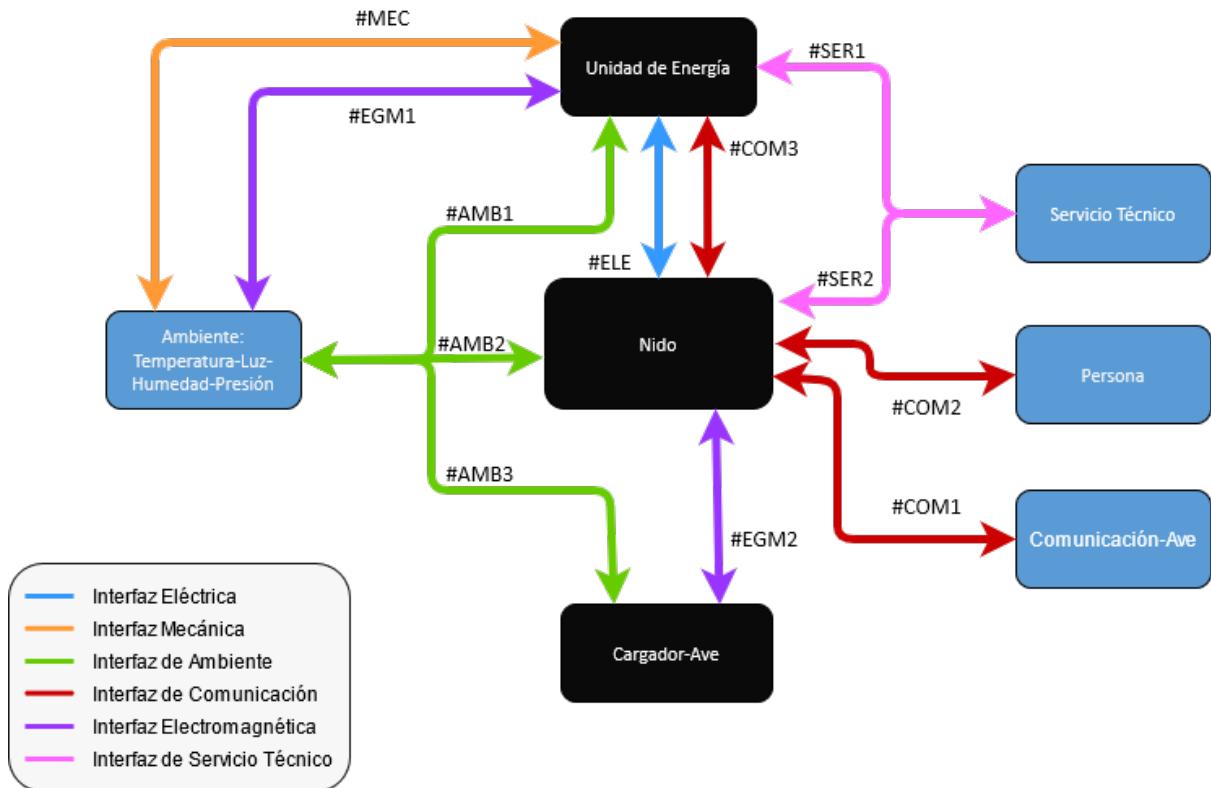


Figura 7.2.1: Diagrama Funcional de Interfaces.

7.3 Especificaciones de Diseño

7.3.1 Especificaciones Funcionales

| Leyenda para especificaciones | |
|-------------------------------|----------------------------|
| Aplicabilidad | Validación |
| P: Prototipo | I: Inspección Visual |
| | D: Documentación de Diseño |
| F: Producto Final | S: Simulación |
| | T: Test |

Tabla 7.3.1.1: Leyendas para las especificaciones.

Observación: INT-FUN-03: Acá no entiendo, si no pierde alimentación cuál es el problema. Qué quisieron decir??? Creo que va a ser importante que expliquen qué entienden como "FUENTE DE ENERGÍA PRINCIPAL". Es un panel solar? Es una Batería externa que se carga con un panel solar? Es otra batería interna del "Nido"?

| ID | Descripción | Origen | Aplicabilidad Validación |
|------------|--|----------------|--------------------------|
| INT-FUN-01 | El dispositivo deberá tener un espacio de almacenamiento de datos de por lo menos 32 GB, equivalente a la suma de los datos adquiridos en el nido y por el dispositivo del ave a lo largo de siete días. | REQ-06, REQ-04 | P F - D |
| INT-FUN-02 | El producto deberá poder recuperarse totalmente de una pérdida de alimentación eléctrica sin intervención humana y sin pérdida de datos almacenados. Se entiende por pérdida de alimentación eléctrica como tensión o corriente de entrada menor a la mínima definida. | REQ-02, REQ-03 | F - I T |
| INT-FUN-03 | El producto deberá poder almacenar suficiente energía como para poder seguir funcionando correctamente sin pérdida de alimentación (según lo definido en INT-FUN-02) por (TBD) días, cuando la fuente de energía principal se encuentre en condiciones de hasta un (TBD) % inferiores a las mínimas definidas. | REQ-02, REQ-03 | P F - D |
| INT-FUN-04 | El producto debe ser capaz de obtener la temperatura del entorno. | REQ-04 | P F - I D T |
| INT-FUN-05 | El producto debe ser capaz de obtener la humedad del entorno. | REQ-04 | P F - I D T |

Tabla 7.3.1.2: Especificaciones funcionales (Parte 1).

Observación: INT-FUN-08: INT-COM2 01 ó 02. Las leí y no me dicen mucho, salvo por la distancia

Observación: INT-FUN-09: Idem anterior.

| ID | Descripción | Origen | Aplicabilidad Validación |
|------------|--|--------|--------------------------|
| INT-FUN-06 | El producto debe ser capaz de obtener la intensidad lumínica del interior del nido. | REQ-04 | P F - I D T |
| INT-FUN-07 | El producto debe ser capaz de obtener imágenes del interior del nido. | REQ-04 | P F - I D T |
| INT-FUN-08 | El producto debe poder transmitir de manera inalámbrica los datos almacenados en el nido a un dispositivo según todas las especificaciones de la tabla INT-COM2. | REQ-07 | P F - I D T |
| INT-FUN-09 | El producto debe poder recibir de manera inalámbrica datos almacenados en un dispositivo ajeno al proyecto que irá sobre el ave según todas las especificaciones de la tabla INT-COM1. | REQ-05 | P F - I D T |
| INT-FUN-10 | Capacidad de recargar completamente de manera inalámbrica en 6 horas las baterías de un dispositivo ajeno al proyecto que irá sobre el ave. | REQ-14 | P F - I D T |

Tabla 7.3.1.3: Especificaciones funcionales (Parte 2).

| ID | Descripción | Origen | Aplicabilidad Validación |
|------------|--|--------|-----------------------------|
| INT-FUN-11 | El sistema de carga del dispositivo del ave debe entregar al menos 7.5 mW y hasta 10 mW. | REQ-14 | P F - I D |
| INT-FUN-12 | El sistema obtendrá valores del sensor de temperatura cada 20 minutos. | REQ-17 | P F - I D T |
| INT-FUN-13 | El sistema obtendrá valores del sensor de humedad cada 20 minutos. | REQ-17 | P F - I D T |
| INT-FUN-14 | El sistema obtendrá valores del sensor de luminosidad cada 20 minutos. | REQ-17 | P F - I D T |
| INT-FUN-15 | El sistema obtendrá imágenes cada 30 minutos. | REQ-17 | P F - I D T |
| INT-FUN-16 | El sistema utilizará (TBD) paneles solares para cargar una batería principal de (TBD) tecnología | REQ-02 | P F - I D T |

Tabla 7.3.1.4: Especificaciones funcionales (Parte 3).

7.3.2 Especificaciones de Interfaz

| ID | Descripción | Origen | Aplicabilidad Validación |
|------------|---|----------------|-----------------------------|
| INT-MEC-01 | El equipo deberá poder sujetarse del árbol con (TBD) distanciados entre sí (TBD) | REQ-01, REQ-10 | F - I D |
| INT-MEC-02 | El sistema de montaje de la unidad de energía deberá ser capaz de soportar un peso de (TBD) | REQ-01, REQ-10 | F - D T |

Tabla 7.3.2.1: Especificaciones de interfaz MEC.

| ID | Descripción | Origen | Aplicabilidad Validación |
|-------------|---|----------------|-----------------------------|
| INT-COM1-01 | La transmisión de datos desde el ave al nido debe poder ser interrumpida en cualquier momento sin pérdidas de información equivalente a los últimos (TBD) minutos de recolección. | REQ-05, REQ-15 | P F - I D T |
| INT-COM1-02 | La transmisión de datos deberá tener un alcance mínimo de 50 cm. | REQ-05 | P F - I D T |
| INT-COM1-03 | La transmisión de datos deberá comenzar de manera automática en cuanto el dispositivo del ave se encuentre dentro del alcance. | REQ-05, REQ-15 | P F - I D T |
| INT-COM1-04 | La transmisión de datos deberá efectuarse por medio del protocolo (TBD) . | REQ-05 | P F - I D T |

Tabla 7.3.2.2: Especificaciones de interfaz COM1.

| ID | Descripción | Origen | Aplicabilidad Validación |
|-------------|---|--------|-----------------------------|
| INT-COM2-01 | La transmisión de datos desde el nido hacia una persona deberá ser del tipo flush, descargándose al dispositivo de la persona todos los datos almacenados en el nido, liberando a la vez todo el espacio de almacenamiento de datos del nido. | REQ-07 | P F - I D T |
| INT-COM2-02 | La transmisión de datos deberá tener un alcance de 15 a 30 metros. | REQ-15 | P F - I D T |
| INT-COM2-03 | La transmisión de datos deberá ser inicializada por la persona de modo manual. | REQ-07 | P F - I D T |
| INT-COM2-04 | La transmisión de datos deberá efectuarse por medio del protocolo (TBD) . | REQ-07 | P F - I D T |
| INT-COM2-05 | Una vez completa la transmisión de datos sin interrupciones prematuras se indicará que se finalizó dicha transmisión. | REQ-07 | P F - I D T |
| INT-COM2-06 | El descarte de los datos almacenados en el nido sucederá una vez completa la transmisión sin interrupciones prematuras. | REQ-07 | P F - I D T |
| INT-COM2-07 | Se le indicará a la persona que los datos fueron transmitidos al finalizar dicho proceso. | REQ-07 | P F - I D T |

Tabla 7.3.2.3: Especificaciones de interfaz COM2.

7.3.3 Especificaciones de Performance

| ID | Descripción | Origen | Aplicabilidad Validación |
|--------|--|----------------|-----------------------------|
| PER-01 | El equipo no deberá consumir más de (TBD) Watts mientras no se esté recargando al dispositivo del ave ni transmitiendo datos. | REQ-02 | F - D T |
| PER-02 | El equipo no deberá consumir más de (TBD) Watts mientras se está recargando al dispositivo del ave y recibiendo datos de este. | REQ-02, REQ-14 | F - D T |
| PER-03 | El equipo no deberá consumir más de (TBD) Watts mientras se está transmitiendo datos al dispositivo de la persona. | REQ-02, REQ-7 | F - D T |

Tabla 7.3.3.1: Especificaciones de performance.

| ID | Descripción | Origen | Aplicabilidad Validación |
|------------|--|----------------|-----------------------------|
| IMP-DIM-01 | El dispositivo del nido no deberá exceder las siguientes dimensiones Largo < 26 cm Ancho < 8,79 cm Alto < 4,55 cm | REQ-01, REQ-09 | F - I D T |
| IMP-DIM-02 | La unidad de energía no deberá exceder las siguientes dimensiones Largo < (TBD) Ancho < (TBD) Alto < (TBD) | REQ-01, REQ-09 | F - I D T |
| IMP-DIM-03 | El equipo dentro del nido no deberá exceder los (TBD) gramos. | REQ-01, REQ-09 | F - I D T |
| IMP-DIM-04 | La unidad de energía no deberá exceder los (TBD) kilos. | REQ-01, REQ-09 | F - I D T |

Tabla 7.3.3.2: Especificaciones dimensionales y de peso.

7.3.4 Especificaciones de Implementación

| ID | Descripción | Origen | Aplicabilidad Validación |
|------------|--|--------|-----------------------------|
| IMP-OPE-01 | El sistema deberá poder operar normalmente cuando la temperatura ambiente sea $-20^{\circ}\text{C} < T_{\text{AMB}} < 30^{\circ}\text{C}$. | REQ-10 | F - I D |
| IMP-OPE-02 | Deberá poder operar normalmente cuando la humedad sea: $0\% < \text{RH} < 100\%$. | REQ-10 | F - I D |
| IMP-OPE-03 | El dispositivo deberá poder operar normalmente cuando la presión atmosférica sea: $84 \text{ kPa} < P_{\text{ATM}} < 101 \text{ kPa}$. Esto equivale a 1500 m de altura para el mínimo de presión, y un máximo de 0 m . | REQ-10 | F - I D |
| IMP-OPE-04 | El dispositivo deberá tener un grado de protección IPXX (TBD) | REQ-10 | F - I D |

Tabla 7.3.4.1: Especificaciones de operación.

| ID | Descripción | Origen | Aplicabilidad Validación |
|------------|---|----------------|-----------------------------|
| IMP-AYT-01 | No se deberán sufrir daños cuando, estando desenergizado, la temperatura ambiente sea $-20^{\circ}\text{C} < T_{\text{AMB}} < 40^{\circ}\text{C}$. | REQ-10, REQ-16 | P F - I D |
| IMP-AYT-02 | No se deberán sufrir daños cuando, estando desenergizado, la humedad sea $0\% < \text{RH} < 100\%$. | REQ-10, REQ-16 | P(TBD) F - I D |
| IMP-AYT-03 | No se deberán sufrir daños cuando, estando desenergizado, la presión atmosférica sea $84 \text{ kPa} < P_{\text{ATM}} < 101 \text{ kPa}$. | REQ-10, REQ-16 | P(TBD) F - I D |

Tabla 7.3.4.2: Especificaciones de almacenamiento y transporte.

7.3.5 Especificaciones de Servicio (RAMS)

| ID | Descripción | Origen | Aplicabilidad Validación |
|------------|--|----------------|--------------------------|
| RAM-SEG-01 | La máxima temperatura que podrá tener la carcasa será de (TBD) °C. | REQ-12, REQ-15 | P F - I D T (TBD) |
| RAM-SEG-02 | El dispositivo contará con un sistema de autenticación ante el pedido de transmisión de datos definido por INT-COM2. | REQ-07 | F - I D T (TBD) |

Tabla 7.3.5.1: Especificaciones de seguridad.

| ID | Descripción | Origen | Aplicabilidad Validación |
|------------|---|--------|--------------------------|
| RAM-MAN-01 | En caso de utilizar software o firmware, deberá ser posible para técnicos calificados realizar actualizaciones del mismo. | (TBC) | (TBC) |
| RAM-MAN-02 | En caso de utilizar software o firmware, no deberá ser posible que sea modificado por el usuario. | (TBC) | (TBC) |
| RAM-MAN-03 | El equipo deberá contener la siguiente documentación: Manual de Usuario Esquemáticos de circuitos Esquemáticos de placas | (TBC) | (TBC) |

Tabla 7.3.5.2: Especificaciones de mantenibilidad.

| ID | Descripción | Origen | Aplicabilidad Validación |
|------------|-------------|--------|--------------------------|
| RAM-DIS-01 | (TBD) | (TBD) | (TBD) |

Tabla 7.3.5.3: Especificaciones de disponibilidad.

| ID | Descripción | Origen | Aplicabilidad Validación |
|------------|---|--------|--------------------------|
| RAM-CON-01 | El producto deberá tener una vida útil no menor a 2 años. | REQ-17 | P F - D |

Tabla 7.3.5.4: Especificaciones de confiabilidad.

8. Plan de Validación

8.1 Diseño de Banco de Pruebas

**Observación: Creo que esto recién lo vamos a poder definir cuando esté más claro que hay que medir.
Sacar todos los TBDs**

Banco de pruebas 1:

- El dispositivo contará con una manera de desacoplar la alimentación principal y permitir la alimentación de los módulos a través de una fuente regulable de (TBD) V ± (TBD) mV que pueda suministrar por lo menos (TBD) mA.
- Se tendrá un software que permita activar la comunicación COM2. Transmitir y recibir data conocida, tanto en un sentido como en el otro.
- (TBC)

Banco de pruebas 2:

- El dispositivo contará con una manera de desacoplar la alimentación principal y permitir la alimentación de los módulos a través de una fuente regulable de (TBD) V ± (TBD) mV que pueda suministrar por lo menos (TBD) mA.
- Se acercará un dispositivo que emula la mochila para realizar el disparo. Se podrá transmitir y recibir data conocida, tanto en un sentido como en el otro (TBC) .

Banco de pruebas 3:

- El dispositivo contará con una manera de desacoplar la alimentación principal y permitir la alimentación de los módulos a través de una fuente regulable de (TBD) V ± (TBD) mV que pueda suministrar por lo menos (TBD) mA.
- Se tendrá un osciloscopio para medir el nivel de carga de la batería al igual que medirla potencia suministrada, para obtener la eficiencia, al igual que cronometrar el tiempo de carga.
- (TBC)

Banco de pruebas 4:

- El dispositivo contará con una manera de desacoplar la alimentación principal y permitir la alimentación de los módulos a través de una fuente regulable de (TBD) V ± (TBD) mV que pueda suministrar por lo menos (TBD) mA.
- Se tendrán sensores calibrados para las magnitudes físicas a medir para comparar la precisión de estos.
- Se contará con una modalidad en el software de debug que permita conmutar un pin para poder medir el tiempo entre medidas de los diversos sensores.
- (TBC)

Banco de pruebas 5:

- (TBC)

Banco de pruebas 6:

- Se podrá regular la carga con la que se quitará energía del sistema.
- Se podrá desacoplar la alimentación para simular una perdida de energía
- Se podrá alimentar el sistema con una tensión mínima menor a la óptima en un rango de tensiones determinado para comprobar su correcto funcionamiento
- (TBC)

Banco de pruebas 7:

- Con el producto finalizado se procederá a medir sus dimensiones físicas.
- Al igual que su peso con un calibremetro y una balanza respectivamente.
- (TBC)

8.2 Especificaciones de Test

| Aspecto | ID del test |
|--|---------------|
| Adquisición de datos de temperatura | T-INT-FUN-01 |
| Periodo activación sensor temperatura | T-INT-FUN-04 |
| Adquisición de datos de luminosidad | T-INT-FUN-11 |
| Periodo activación sensor luminosidad | T-INT-FUN-12 |
| Adquisición de datos de humedad | T-INT-FUN-07 |
| Periodo activación sensor humedad | T-INT-FUN-09 |
| Adquisición de imágenes | T-INT-FUN-13 |
| Periodo activación la camara | T-INT-FUN-14 |
| Operación rango de tensiones | T-INT-FUN-05 |
| Recuperación ante pérdida de alimentación | T-INT-FUN-06 |
| Tiempo de carga inalámbrica | T-INT-FUN-08 |
| Recolección de energía en condiciones similares a las de instalación | T-INT-FUN-10 |
| Consumo Estado 1 (Sin comunicaciones ni carga) | T-PER-01 |
| Consumo Estado 2 (carga y recepción de datos) | T-PER-02 |
| Consumo Estado 3 (solo transmitiendo datos) | T-PER-03 |
| Eficiencia de carga de batería remota | T-PER-04 |
| Interrupción transmisión ave-nido | T-INT-COM1-01 |
| Alcance transmisión ave-nido | T-INT-COM1-02 |
| Comienzo automático transmisión ave-nido | T-INT-COM1-03 |
| Validación protocolo transmisión ave-nido | T-INT-COM1-04 |
| Validación general transmisión ave-nido | T-INT-COM1-05 |
| Funcionalidad transmisión nido-persona | T-INT-COM2-01 |
| Alcance transmisión nido-persona | T-INT-COM2-02 |
| Inicialización manual transmisión nido-persona | T-INT-COM2-03 |
| Validación protocolo transmisión nido-persona | T-INT-COM2-04 |
| Descarte de datos transmisión nido-persona | T-INT-COM2-05 |
| Reinicio ante corte prematuro de transmisión nido-persona | T-INT-COM2-06 |
| Validación general transmisión nido-persona | T-INT-COM2-07 |
| Validación dimensiones totales | T-IMP-DIM-01 |
| Validación peso total | T-IMP-DIM-02 |
| Autorización transmisión nido-persona | T-RAM-SEG-01 |

Tabla 8.2.1: Tabla de plan de validación

8.3 Matriz de Trazabilidad de Validación

| Origen | REQ ID | ESP ID | TEST ID |
|---------|--|---|--|
| | Descripción corta | | |
| Cliente | REQ 01 El producto estará colgado de un árbol a (entre 4 y 14 metros) y se instalará parcialmente dentro del nido del ave. | INT-MEC-01 INT-MEC-02 IMP-DIM-01 IMP-DIM-02 IMP-DIM-03 IMP-DIM-04 | (TBC) T-IMP-DIM-01 T-IMP-DIM-01 T-IMP-DIM-02 T-IMP-DIM-02 |
| | REQ 02 El producto debe poder mantenerse energizado sin intervención humana. | INT-FUN-02 INT-FUN-03 PER-01 PER-02 PER-03 INT-FUN-15 | T-INT-FUN-05 T-INT-FUN-06 T-PER-01 T-PER-02 T-PER-03 T-INT-FUN-10 |
| Tácito | REQ 03 El producto no debe requerir conexión a la red eléctrica para su funcionamiento | INT-FUN-02 INT-FUN-03 | T-INT-FUN-05 T-INT-FUN-06 |
| | REQ 04 El producto debe ser capaz de adquirir los siguientes datos dentro del nido: temperatura, humedad, luminosidad e imágenes. | INT-FUN-05 INT-FUN-06 INT-FUN-07 | T-INT-FUN-01 T-INT-FUN-07 T-INT-FUN-11 T-INT-FUN-13 |
| Cliente | REQ 05 Un dispositivo ajeno al proyecto que irá sobre el ave debe poder transmitirle los datos que adquirió durante el día al nido. | INT-FUN-09 INT-COM1-01 INT-COM1-02 INT-COM1-03 INT-COM1-04 | T-INT-COM1-05 T-INT-COM1-01 T-INT-COM1-02 T-INT-COM1-03 T-INT-COM1-04 |
| | REQ 06 El producto debe poder almacenar los datos adquiridos por el nido y el ave. | INT-FUN-01 | |
| Cliente | REQ 07 Una persona debe poder recibir los datos almacenados en el nido a la distancia. | INT-FUN-08 INT-COM2-01 INT-COM2-03 INT-COM2-04 INT-COM2-05 INT-COM2-06 PER-02 RAM-SEG-03 | T-INT-COM2-07 T-INT-COM2-01 T-INT-COM2-03 T-INT-COM2-04 T-INT-COM2-05 T-INT-COM2-06 T-PER-03 T-RAM-SEG-01 |
| | REQ 08 El producto no debe llamar la atención de humanos desde el nivel del piso. | INT-AMB-01 INT-AMB-02 | |

Tabla 8.3.1: Matriz de trazabilidad (Parte 1).

| Origen | REQ ID | ESP ID | TEST ID |
|---------|---|--|--|
| | Descripción corta | | |
| Táctico | REQ 09 | IMP-DIM-01 IMP-DIM-02 IMP-DIM-03 IMP-DIM-04 | T-IMP-DIM-01 T-IMP-DIM-01 T-IMP-DIM-02 T-IMP-DIM-02 |
| | El producto o su instalación no debe dañar al árbol donde estará el nido. | | |
| Táctico | REQ 10 | IMP-AYT-01 IMP-AYT-02 IMP-AYT-03 IMP-AYT-04 IMP-OPE-01 IMP-OPE-02 IMP-OPE-03 IMP-OPE-04 INT-MEC-01 INT-MEC-02 | |
| | El producto debe soportar las condiciones meteorológicas del sur Argentino, específicamente los alrededores de Bariloche, Rio Negro. | | (TBC) |
| Cliente | REQ 11 | IMP-COS-01 IMP-COS-02 | |
| | El producto debe tener un precio menor a 1000 USD. | | |
| Estado | REQ 12 | RAM-SEG-01 RAM-SEG-04 | (TBC) |
| | El producto debe cumplir la norma (TBD) : seguridad eléctrica. | | |
| Estado | REQ 13 | INT-AMB-04 | |
| | El producto debe cumplir la norma (TBD) : seguridad ambiental. | | |
| Cliente | REQ 14 | PER-01 INT-FUN-10 | |
| | El producto debe poder cargar la UBM en el tiempo estipulado. | | T-PER-04 T-INT-FUN-08 |
| Cliente | REQ 15 | INT-AMB-01 INT-AMB-02 INT-AMB-03 INT-COM1-01 INT-COM1-03 INT-COM2-02 RAM-SEG-01 | |
| | El producto no debe perturbar a las aves dentro del nido. | | T-INT-COM1-01 T-INT-COM1-03 T-INT-COM2-02 (TBC) |
| Táctico | REQ 16 | IMP-AYT-01 IMP-AYT-02 IMP-AYT-03 IMP-AYT-04 | |
| | El producto desarmado debe soportar las condiciones de translado impuestas por los caminos rurales hasta llegar a la zona de instalación. | | |
| Táctico | REQ 17 | INT-FUN-12 INT-FUN-13 INT-FUN-14 | T-INT-FUN-03 |
| | La tasa de adquisición de datos debe depender únicamente de las variables a medir. | | T-INT-FUN-04 T-INT-FUN-09 |
| Cliente | REQ 18 | RAM-CON-01 | |
| | La vida útil del producto deberá ser de por lo menos 2 años. | | |

Tabla 8.3.2: Matriz de trazabilidad (Parte 2).

8.4 Plan de Verificación y Validación

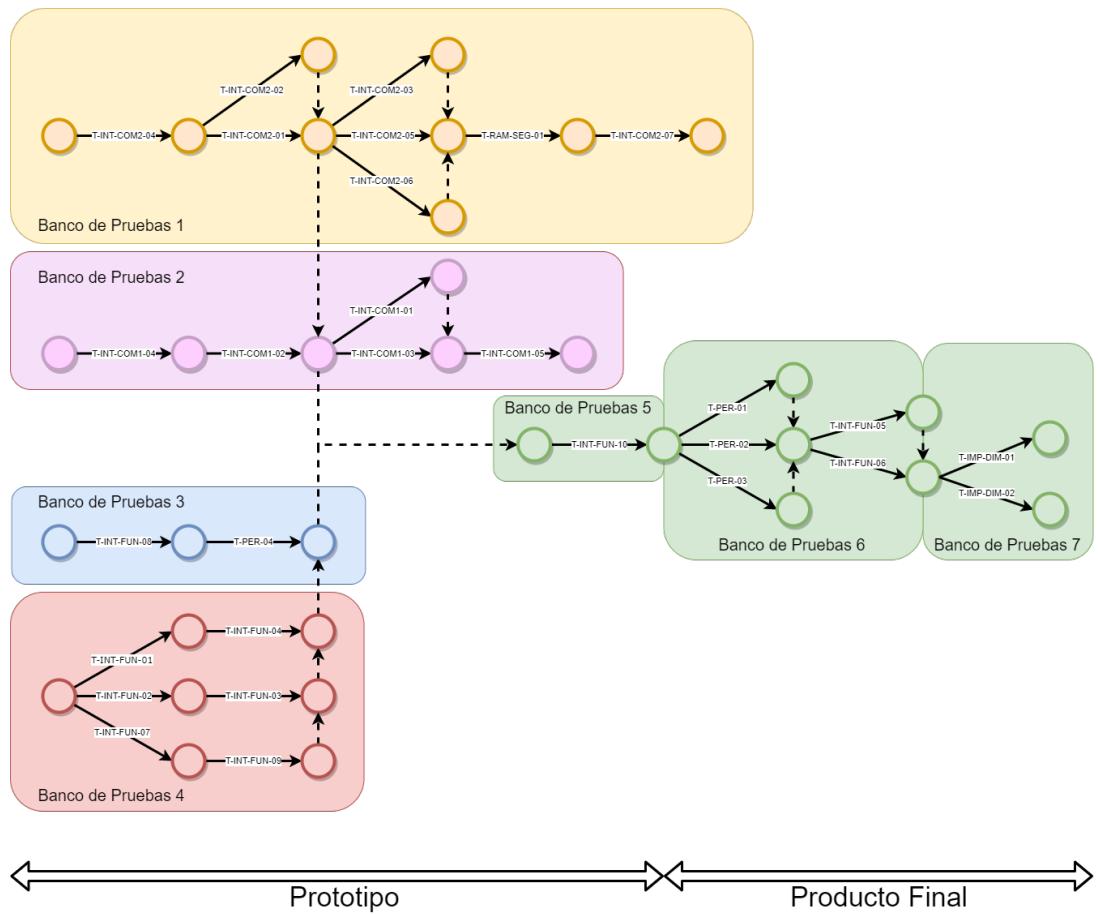


Figura 8.4.1: Diagrama de dependencias del plan de validación.

9. Análisis de Factibilidad

9.1 Factibilidad Tecnológica

9.1.1 Esquema Modular

A continuación se presentan los distintos módulos. Luego, en las siguientes subsecciones, se presentan las distintas alternativas evaluadas para la implementación.

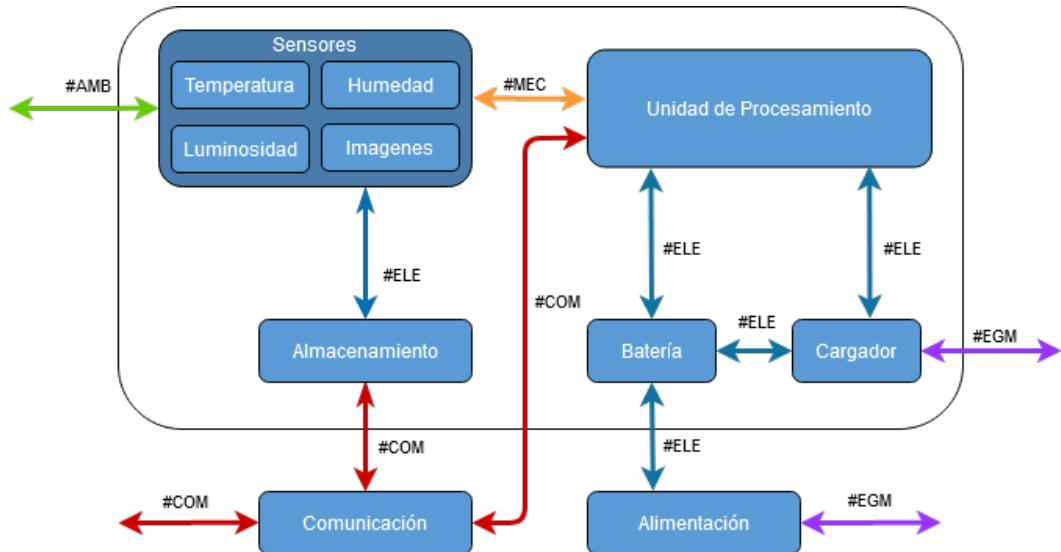


Figura 9.1.1.1: Diagrama modular del sistema.

9.1.2 Propuesta de Sensores

Para las distintas mediciones se tuvieron en cuenta diversas tecnologías que existen. Se evaluaron parámetros que definen la performance, tales como la linealidad de salida, el costo, el rango de operación, la precisión, el tipo de salida, aplicación, entre otras tantas variables.

9.1.2.1 Temperatura

En el caso de la medición de temperatura, se valoraron diversas tecnologías que existen, siendo por ejemplo la RTD cuyo funcionamiento se basa en el cambio de la resistencia en función de la temperatura bajo al ecuación $R(T) = R_0 + \alpha \cdot \Delta T$. También se consideró la tecnología TC, cuyo funcionamiento se basa en el efecto seebek. Finalmente, el uso de un IC, el cual se basa en propiedades de dispositivos semiconductores extrínsecos.

| Aspectos comparativos | TC-K | PT-100 | Ds18b20 | DHT-22 |
|--------------------------------------|---|---|----------|----------|
| Costo [USD] | 4.6 | 5.2 | 1.4 | 4.9 |
| Tipo de salida | Analógico | Analógico | Digital | Digital |
| Temperatura de operación [°C] | -40 ~ 1200 | -50 ~ 200 | -10 ~ 85 | -40 ~ 80 |
| Interfaz de conexionado | Se debe proporcionar un circuito convertidor de resistencia a tensión | Se debe proporcionar un circuito convertidor de resistencia a tensión | - | - |
| Presición [°C] | ± 1.5 | ± 0.1 | ± 0.5 | ± 0.5 |
| Estabilidad | Tienden a envejecer | - | - | - |
| Autocalentamiento | - | Depende de la corriente de medición. | Bajo | Bajo |
| Imagen | | | | |

Tabla 9.1.2.1.1: Comparación entre sensores de temperatura.

9.1.2.2 Humedad

Existen varias maneras de medir la magnitud física de la humedad, dentro de estas la mas común se basa en utilizar la dependencia que existe entre la humedad y la capacidad. Es por esto que se utilizan capacitores con un dieléctrico, el cual cambia constante con la humedad. Además existen sensores que se aprovechan de como cambia la resistencia en función de la temperatura, pero estas tecnologías son menos frecuentes.

| Aspectos comparativos | DHT-11 | AM-2301 | DHT-22 | AM-1001 |
|----------------------------|---|---|--|---|
| Costo [USD] | 1.3 | 7 | 4.93 | 5.6 |
| Rango de operación [%RH] | 20 ~ 90 | 0 ~ 100 | 0 ~ 100 | 20 ~ 90 |
| Presición [%RH] | ±4 | ±3 | ±2 | ±5 |
| Tipo de salida | Digital | Digital | Digital | Analógica |
| Imagen |  |  |  |  |

Tabla 9.1.2.2.1: Comparación de sensores de humedad.

9.1.2.3 Luminosidad

En la medición del nivel de luminosidad se puede optar por diversos caminos. Existen sensores como el BH-1750 y OPT-100 que su funcionamiento se basa en un fotodiodo que conduce cierta corriente a partir de la luz que le impacta. Otros sensores, tales como el TEMT-600, emplean un fototransistor, cuya base se encuentra expuesta. En función de la intensidad lumínica en dicha zona, circulará cierta corriente por el colector. Finalmente existen fotoresistores, los cuales, tal como su nombre indica, cambian la resistencia en función del nivel de luz.

| Aspectos comparativos | BH-1750 | TEMT-6000 | OPT-101 | GL55-LM393 |
|-------------------------------|---|---|--|---|
| Costo [USD] | 1.54 | 2.27 | 2.26 | 1.26 |
| Temperatura de operación [°C] | -40 ~ 85 | -40 ~ 85 | 0 ~ 70 | -30 ~ 70 |
| Potencia disipada [mW] | 260 | 100 | - | 75 |
| Tipo de salida | I2C | Analógica (Corriente) | Analógica (Tensión) | Analógica Digital |
| Aplicación | - | Necesita un amplificador de corriente | - | - |
| Tensión de alimentación [V] | 4.5 | < 6 | 2.7 ~ 36.0 | 3.3 ~ 5.0 |
| Rango de medición [nm] | 450 ~ 650 | 400 ~ 900 | 450 ~ 1000 | 450 ~ 750 |
| Imagen |  |  |  |  |

Tabla 9.1.2.3.1: Comparación de sensores de luminosidad.

9.1.2.4 Imágenes

Para la obtención de captura imágenes y teniendo en cuenta la tecnología utilizada para la unidad de procesamiento, se encontraron diversos módulos de cámara que se pueden usar:

| Aspectos comparativos | RPi-CMOD-V1 | RPi-CMOD-V2 | RPi-HQC | RPi-ZERO |
|--------------------------------------|---|---|--|---|
| Costo [USD] | 25 | 25 | 50 | 20 |
| Tamaño [mm] | 25 x 24 x 9 | 25 x 24 x 9 | 38 x 38 x 18.4 | 8.6 x 8.6 x 5.2 |
| Resolución de la cámara [MP] | 5 | 8 | 12.3 | 5 |
| Integración Linux | V4L2 driver | V4L2 driver | V4L2 driver | V4L2 driver |
| C API | OpenMAX IL y otras | OpenMAX IL y otras | - | - |
| Peso [g] | 3 | 3.4 | 53 | 1.1 |
| Sensor | OmniVision OV5647 | Sony IMX219 | Sony IMX477 | OV5647 |
| Temperatura de operación [°C] | -25~80 | -25~80 | -25~80 | -25~80 |
| Imagen |  |  |  |  |

Tabla 9.1.2.4.1: Comparación entre cámaras.

9.1.3 Propuesta de Almacenamiento

Para almacenar información, se puede valer de memorias SD. Existe una gran variedad, permitiendo priorizar diversos aspectos a la hora de optar por una opción. La velocidad de lectura, la de escritura y el almacenamiento son algunos de estos aspectos, aunque en este proyecto también es importante considerar el rango de temperatura de operación.

| Aspectos comparativos | SDCG3 | SDCE | SDSDQAF3-XI |
|--------------------------------------|---|---|---|
| Costo [USD] | 20 | 52 | 32 |
| Temperatura de operación [°C] | -25 ~ 85 | -25 ~ 85 | -40 ~ 85 |
| Almacenamiento [GB] | 64 ~ 512 | 64 ~ 256 | 8 ~ 128 |
| Velocidad R/W [MB/s] | 170 / 90 | 285 / 165 | 50 / 80 |
| Alimentación [V] | 3.3 | 3.3 | 2.7 ~ 3.6 |
| Imagen |  |  |  |

Tabla 9.1.3.1: Comparación entre memorias SD.

9.1.4 Propuesta de Comunicación

En cuanto a la comunicación se utilizará BLE para la conexión con el ave, y WiFi para la comunicación con un tercero.

9.1.5 Propuesta de Unidad de Procesamiento

La UP representa el cerebro del proyecto. Este se ocupa de procesar la información de los sensores, almacenarla en la SD e iniciar los procesos de comunicación. En otras palabras, el integrado se ocupa de conectar los distintos módulos entre sí y garantizar su adecuado funcionamiento.

| Aspectos comparativos | RPi 4 | RPi Zero W | RPi Compute Module 4 |
|-------------------------------|---|---|---|
| Costo [USD] | 55 | 25.5 | 100 |
| Temperatura de operación [°C] | 0 ~ 50 | -20 ~ 85 | -20 ~ 85 |
| Memoria | 1 [GB] ~ 8 [GB] | 512 [MB] | 1 [GB] ~ 8 [GB] |
| Conexiones | Wireless LAN, Bluetooth 5.0, Ethernet, USB | Wireless LAN, Bluetooth 4.1 (BLE), Micro USB, mini HDMI | Wireless LAN, Bluetooth 5.0 (BLE), Ethernet, USB, antena externa |
| Sonido y video | Micro HDMI, MIPI DSI y CSI | Mini HDMI, HDMI, CSI, PAL/NTSC pads | HDMI, MIPI DSI y CSI, SDIO |
| Soporte SD | Almacenamiento y carga de SO | Micro SD | Entrada SD para tarjeta o eMMC externo |
| Dimensiones [mm] | 85.6 x 56.5 | 65 x 30 | 40 x 55 |
| Alimentación | 5 V (3 A) | 5 (1.2 A) | 5 V (1.4 A) |
| Imagen |  |  |  |

Tabla 9.1.5.1: Comparación entre placas Raspberry Pi.

9.1.6 Propuesta de Batería

| Aspectos comparativos | Kijo Serie JDG | Kijo Serie JLG | Fenk JS12-20 | Fenk Serie JM12 |
|--|---|---|--|---|
| Costo [ARS] | 30500 ~ X | - | 6365 ~ 8744 | 20332 ~ 76110 |
| Temperatura de operación [°C] | -20 ~ 50 | -20 ~ 50 | -20 ~ 50 | -20 ~ 50 |
| Tensión nominal [V] | 12 | 12 | 12 | 12 |
| Capacidad [Ah] | 33 ~ 250 | 100 ~ 200 | 13.2 ~ 20.0 | 32.7 ~ 200.0 |
| Dimensiones (máximas) [mm] | 52 x 268 x 220 | 499 x 259 x 219 | 181 x 77 x 167 | 522 x 240 x 219 |
| Peso [kg] | 10 ~ 61 | 30 ~ 74 | 5.45 | 15.5 ~ 57.0 |
| Porcentaje de autodescarga (mensual a 25 °C) | 3 % | 3 % | 3 % | 3 % |
| Imagen |  |  |  |  |

Tabla 9.1.6.1: Comparación entre baterías gel de carga profunda.

9.1.7 Propuesta de Cargador

La solución planteada para la transferencia de energía al dispositivo del ave será por medio de radiación electromagnética.

Observación: Aca habría que hablar de que descartamos los piezoelectricos, termoeléctricos y solares quedando como única opción los campo

9.1.7.1 Integrado de Energy Harvesting

Se investigaron diversos métodos de transmisión de energía inalámbrica a través de campos electromagnéticos. Dentro de estos se en cuenta el campo cercano y el de radiofrecuencia. El primero se caracteriza por ser puramente imaginario y por poseer una caída proporcional al cuadrado de la distancia, mientras que el segundo (radiación) cae linealmente.

Debido a que la aplicación es de una distancia que cae en el rango del campo lejano, se optó por la radiofrecuencia. Es así que surgieron los integrados IC-P2110 y IC-P1110 de PowerCast, los cuales permiten la recolección de energía de radio frecuencia almacenando esta en capacitores o con la opción de directamente cargar una batería (P1110). A continuación se comparan los dos IC.

| Aspectos comparativos | IC-P1110 | IC-P2110 |
|--|--|---|
| Costo [USD] | 48.33 | 32 |
| Funcionalidad principal | Recolección y almacenamiento de energía para uso variado | Recolección de energía para carga de baterías/Capacitores |
| Frecuencia de trabajo [MHz] | 910 ~ 928 | 910 ~ 928 |
| Eficiencia del PH para RFin = 11 dBm | 60 % | 45 % |
| Corriente de salida para RFin = 11 dBm | 3 mA | - |
| Timepo de carga inicial del capacitor [s] | - | < 5 |
| Posee placa de evaluación | Sí | Sí |
| Impedancia de entrada [Ω] | 50 | 50 |
| Temperatura de operación [°C] | -40 ~ 85 | -40 ~ 85 |

Tabla 9.1.7.1.1: Comparación entre cargadores.

9.1.8 Propuesta de Alimentación

Para poder abastecer a todos los módulos anteriormente mencionados, es necesario la existencia de un módulo que brinde dicha energía. Dadas la ubicación remota donde se encontrará el producto final, se opta por emplear un panel solar, capaz de obtener energía del entorno y no de la red eléctrica.

Lo que principalmente determinará la elección de este componente es el consumo de las demás partes.

| Aspectos comparativos | DSP-20P | DSP-30M | LN-50P | ESPMC210 | LNSE-260P |
|--|----------|----------|----------|----------|-----------|
| Costo [ARS] | 3400 | 5000 | 6000 | 15600 | 14500 |
| Temperatura de operación [°C] | -45 ~ 85 | -45 ~ 85 | -45 ~ 85 | -40 ~ 85 | -45 ~ 85 |
| Potencia máxima [W] | 20 ± 3 % | 30 ± 3 % | 50 ± 3 % | 210 | 260 |
| Tensión a potencia máxima [V] | 17.6 | 18.0 | 18.0 | 18.85 | 30.4 |
| Corriente a potencia máxima [A] | 1.14 | 1.67 | 2.78 | 11.15 | 8.55 |
| Tensión a circuito abierto máxima [V] | 22.0 | 21.5 | 22.3 | 23.2 | 37.4 |
| Corriente a corto circuito máxima [A] | 1.39 | 1.86 | 3.01 | 11.8 | 9.11 |

Tabla 9.1.8.1: Comparación entre paneles solares.

9.1.9 Propuesta de Carga de UBM

9.1.9.1 Planteamiento del Problema

La morfología del nido plantea la necesidad de recargar la UBM a distancias de entre 32 y 64cm. Esto es dictado por las mínimas y máximas dimensiones medidas del nido entre la bóveda, donde se puede colocar electrónica, y el fondo, donde duerme el ave[1].

En el mejor de los casos, el pájaro carpintero permanece por ocho horas en el nido mientras duerme, y luego cuida a las crías turnándose con la hembra durante el día. Por lo tanto, este permanecería un total de aproximadamente doce horas en el nido.

En el peor de los casos, el ave únicamente permanece seis horas dentro del nido para dormir.

Como la UBM tiene un consumo diario de

$$2.5V \cdot 1 \cdot 10^{-3}mA \cdot 24hs = 60mWh \quad (1)$$

por lo que, tomando ambos casos, se obtiene un requerimiento de transmisión de potencia de

$$\begin{cases} \frac{60mWh}{12hs} = 5mW & \text{Mejor caso} \\ \frac{60mWh}{6hs} = 10mW & \text{Peor caso} \end{cases} \quad (2)$$

9.1.9.2 Carga por Acoplamiento Magnético

La transmisión inalámbrica de potencia por acoplamiento magnético se basa en generar un campo magnético al hacer circular corriente por un arreglo de bobinas gracias a la Ley de Ampere. Este campo magnético es captado por una o más bobinas receptoras las cuales generan a causa de este una fuerza electromotriz según la Ley de Faraday. De esta manera, se genera un sistema que actúa como transformador, utilizando como reluctancia al aire que separa ambas bobinas.

La eficiencia en la transmisión de energía de este método es alta, pero depende en gran medida por el factor de acople entre ambas bobinas. Este factor de acople disminuye con el cubo de la inversa de la distancia entre bobinas y es también de suma importancia tener una buena alineación entre ellas.

Como las distancias a las que la transmisión se debe efectuar son de entre 32 y 64cm y no se puede garantizar alineación entre bobinas al estar sujeto al comportamiento impredecible del ave, se descarta este método como solución.

9.1.9.3 Carga por Radiofrecuencia

Si se parte de la ecuación del campo magnético en el eje azimutal de un dipolo de hertz, se tiene que

$$E_\theta = -\frac{\eta}{4\pi} I \cdot \Delta L \cdot k^2 \cdot \sin\theta \cdot e^{-jkr} \left[\frac{1}{jkr} + \left(\frac{1}{jkr} \right)^2 + \left(\frac{1}{jkr} \right)^3 \right] \quad (3)$$

donde los últimos tres términos se denominan, en orden de aparición, término de campo lejano, campo cercano radiativo, y campo cercano reactivo.

Las fronteras entre estos campos no están estrictamente fijadas, ya que varían con el tipo y tamaño de antena. Para el caso de antenas eléctricamente cortas, es decir, más cortas que media longitud de onda, se adopta el siguiente criterio

$$\begin{cases} 0 < d < \frac{\lambda}{2\pi} & \text{Campo cercano reactivo o inductivo} \\ \frac{\lambda}{2\pi} \lesssim d \lesssim \lambda & \text{Campo cercano radiativo o de Fresnel} \\ \lambda \lesssim d \lesssim 2\lambda & \text{Zona de transición} \\ 2\lambda \lesssim d < \infty & \text{Campo lejano o de Fraunhofer} \end{cases} \quad (4)$$

La zona de campo cercano puede dividirse entre la zona reactiva-inductiva y la zona radiativa o de Fresnel.

En la zona reactiva la relación entre los campos eléctricos y magnéticos no es predecible. Además, como no solo hay ondas electromagnéticas siendo irradiadas en esta zona, sino que también hay una cierta cantidad de energía siendo almacenada en la cercanía de la antena, la verdadera densidad de potencia se torna difícil de encontrar.

En el caso de la zona radiativa o de Fresnel, toda la energía es radiada. Sin embargo, la relación entre el campo eléctrico y magnético sigue siendo impredecible.

A una distancia entre una y dos longitudes de onda, los efectos de campo cercano comienzan a cesar, mientras que los efectos de campo lejano comienzan a aparecer. Es en esta zona por lo tanto, que ambos efectos están presentes y tienen importancia[3]. Los dispositivos RFID suelen operar en esta zona[4].

Por otro lado, el campo lejano es el utilizado para realizar todo tipo de telecomunicaciones hoy en día. En esta zona, el campo eléctrico y campo magnético son ortogonales y la razón entre ambos es la impedancia del medio. Además, el vector de Poynting, definido como $\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H}$, provee una medida de la energía electromagnética radiada[5].

Para analizar la potencia recibida en la antena receptora, la cual estará montada en la mochila, se realiza el balance de potencias del circuito electromagnético, por lo que partiendo de la ecuación de transmisión de Friis, se tiene que

$$\frac{P_r}{P_t} = \left(\frac{A_r A_r}{d^2 \lambda^2} \right) \quad (5)$$

reescribiendo esta fórmula para utilizar las ganancias de las antenas en vez de las áreas efectivas, e incluyendo otras pérdidas del circuito electromagnético, se arriba a

$$P_r[dBm] = P_t[dBm] + Gt[dB] + Gr[dB] - L_{bf}[dB] - L_{cab}[dB] - L_{roe}[dB] - L_r[dB] \quad (6)$$

donde P_r es la potencia recibida en la antena receptora, P_t la potencia emitida por la antena transmisora, G_t la ganancia de la antena transmisora, G_r la ganancia de la antena receptora, L_{bf} las pérdidas por espacio libre, L_{cab} las pérdidas en los cables de ambas antenas, L_{roe} las pérdidas por retorno en ambas antenas, y L_r las pérdidas por desacople entre las líneas de transmisión y las antenas.

Para el caso de la pérdida por espacio libre, esta se puede calcular como

$$L_{bf} = 32.5dB + 20\log_{10}f[MHz] + 20\log_{10}R[km] \quad (7)$$

mientras que el resto de los datos se puede obtener por medio de las hojas de datos o ensayos de las antenas, exceptuando la potencia a ser calculada y las pérdidas por desacople, las cuales dependen constructivamente del diseño de la líneas de transmisión que conectan con las antenas.

9.1.9.4 Banda de Frecuencia Adoptada

Se puede observar que las pérdidas de espacio libre aumentan mediante crece la frecuencia de la onda electromagnética emitida. Esto plantea una situación de compromiso. Si la frecuencia es muy alta, las pérdidas por espacio libre serán muy grandes. Mientras que si la frecuencia es muy baja, la longitud de onda será muy grande, por lo que se estaría trabajando en el campo reactivo. Esto no es deseado debido a la imposibilidad de determinar con precisión la densidad de potencia.

Se decidió utilizar la banda de $915MHz$ por las siguientes razones:

- La zona de transición ocurre entre $32.8cm$ y $65.6cm$ que concuerda con las distancias mínimas y máximas entre emisor y receptor. Si bien no estaremos trabajando en campo lejano, esto no acarrea problemas, ya que hay basta cantidad de antecedentes del uso de esta zona por dispositivos de tecnología RFID.
- Esta frecuencia pertenece a la banda ISM, la cual está reservada para propósitos industriales, científicos o médicos, excluyendo las aplicaciones de telecomunicaciones[6], atribuidas a la Región 2 definida por la ITU como América[7].

9.1.9.5 Condiciones de Borde

Para realizar las comparaciones entre antenas transmisoras, se tuvieron en cuenta las siguientes restricciones:

- **Dimensiones:** La antena transmisora deberá ser colocada en la bóveda del nido, dado que ese es el único lugar donde se puede colocar electrónica sin que esta sea perturbada por las aves y vice versa. El volumen de la bóveda se puede aproximar a un cilindro macizo chato de diámetro entre 7.9 y $9.7cm$ y aproximadamente $5cm$ de altura, por lo que las dimensiones de la antena emisora estarán acotadas por estos valores.
- **Directividad:** Se quiere que la potencia enviada a la antena se transforme en radiación electromagnética que llegue a la mochila del ave, por lo que radiación que no sea dirigida directamente hacia el fondo del nido será potencia desperdiciada. Es por esto que se quiere una alta directividad en la antena emisora. También hay un límite máximo en la directividad de la antena. Sin embargo, esta limitación no se alcanzará, dado que la tecnología a utilizar será de antenas del tipo planas, más cortas eléctricamente que media longitud de onda por cuestiones de limitaciones en las dimensiones.

- **Potencia Máxima:** Como las pérdidas en el circuito electromagnético son grandes, una muy baja parte de la potencia enviada a la antena transmisora formará parte de la potencia entregada a las baterías de la mochila, por lo que para recibir la potencia necesaria, se debe transmitir en el orden de los watts. Es por esto que la potencia máxima es una especificación relevante al momento de decidir entre soluciones.

mientras que para el caso de las antenas receptoras, se tuvieron en cuenta las siguientes restricciones:

- **Eficiencia:** Esta será la especificación más importante y es la que determinará la factibilidad de la solución. Se requiere una elevada eficiencia para lograr transmitir a las baterías la potencia recibida por el campo electromagnético.
- **Lóbulo isotrópico:** Como se desconoce cuál será la posición del ave dentro del nido, se requiere que el lóbulo de radiación de la antena receptora sea lo más isotrópico posible, garantizando una recepción de potencia uniforme sin importar la posición del ave.
- **Peso:** El ave no puede cargar con más de un cierto porcentaje de su propio peso, por lo que minimizar esta especificación es crucial.
- **Dimensiones:** Es necesario no perturbar al ave con la mochila. Esto requiere que la antena receptora posea las mínimas dimensiones posibles. Sin embargo, como la banda a utilizar será la de 915MHz y un cuarto de onda en esta frecuencia es alrededor de 8cm , existe una relación de compromiso entre las dimensiones de la antena receptora y la eficiencia de esta.

Finalmente, una restricción a tener en cuenta para ambas antenas será el costo.

9.1.9.6 Comparación entre Antenas

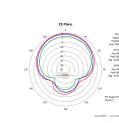
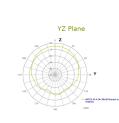
| Aspectos comparativos | APAE915R2540ABDB1-T | W3215 | ISPC.91A.09.0092E |
|---|---|---|---|
| Costo [USD] | 3.66 | 12.47 | 20.91 |
| Dimensiones [mm] | 25 x 25 x 4 | 40 x 40 x 6 | 47 x 47 x 6.5 |
| Frecuencia Central [MHz] | 915 | 915 | 915 |
| Impedancia [Ω] | 50 | 50 | 50 |
| Polarización | RHCP | Lineal vertical | RHCP |
| Ganancia [dBi] | 1.5 | 4.5 | 5 (30 x 30 ground plane) |
| ROE | 1.5 | 1.23 | 1.28 |
| Imagen |  |  |  |
| Lóbulo |  |  |  |

Tabla 9.1.9.6.1: Comparación entre antenas transmisoras (Parte 1).

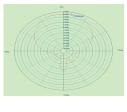
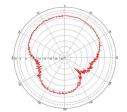
| Aspectos comparativos | APAES915R80C16-T | ARRKP7059-S915B |
|---|---|---|
| Costo [USD] | 34.28 | 50.73 |
| Dimensiones [mm] | 80 x 80 x 6 | 70 x 70 x 5.9 |
| Frecuencia Central [MHz] | 915 | 915 |
| Impedancia [Ω] | 50 | 50 |
| Polarización | RHCP | RHCP |
| Ganancia [dBi] | 2 (120 x 120 ground plane) | 2.8 (70 x 70 ground plane) |
| ROE | 1.3 | ≤ 2 |
| Imagen |  |  |
| Lóbulo |  |  |

Tabla 9.1.9.6.2: Comparación entre antenas transmisores (Parte 2).

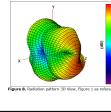
| Aspectos comparativos | ANT-915-CPA | FPX290.07.0100A | NN01-105 |
|---|---|---|---|
| Costo [USD] | 3.9 | 15.39 | 3.53 |
| Dimensiones [mm] | 25 x 25 x 4 | 70 x 45 x 0.1 | 18 x 7.3 x 0.8 |
| Frecuencia Central [MHz] | 915 | 915 | 915 |
| Impedancia [Ω] | 50 | 50 | 50 |
| Polarización | RHCP | Lineal | Lineal |
| Ganancia [dBi] | 1.5 | 0.5 | 1.7 |
| Eficiencia [%] | 38 | 43 | 85 |
| ROE | ≤ 1.2 | 1.5 | 1.4 |
| Peso [gr] | 13.2 | 1.5 | 0.2 |
| Imagen |  |  |  |
| Lóbulo |  |  | "Omnidireccional" |

Tabla 9.1.9.6.3: Comparación entre antenas receptoras (Parte 1).

| Aspectos comparativos | ANT1204F005R0915A | 1513156-1 | ANT-915-USP410 |
|---------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| Costo [USD] | 1.52 | 2.8 | 1.45 |
| Dimensiones [mm] | 12.20 x 4 x 1.6 | 38.1 x 6.6 x 1.57 | 13.2 x 9.1 x 2.9 |
| Frecuencia Central [MHz] | 915 | 915 | 915 |
| Impedancia [Ω] | 50 | 50 | 50 |
| Polarización | Lineal | Lineal | Lineal |
| Ganancia [dBi] | 1.59 | 1 | 0 |
| Eficiencia [%] | - | 88 | 27 |
| ROE | - | 1.85 | 1.5 |
| Peso [gr] | - | < 0.9 | 0.6 |
| Imagen | | | |
| Lóbulo | | | |

Tabla 9.1.9.6.4: Comparación entre antenas receptoras (Parte 2).

9.1.10 Elección de una Solución

9.1.10.1 Sensores

Para el sensor de temperatura la primer opción a descartar es aquella que no cumple con el rango de temperaturas a medir, por lo que el Ds18b20 queda descartado a pesar de su bajo costo. Luego, de las opciones que quedan, todas son de un costo similar, sin embargo hay que tener en cuenta que para la termocupla se debe proporcionar una manera de medir la temperatura de referencia, la cual puede ser tanto una RTD como un IC, aumentando el costo de la termocupla. Tanto la TC como la RTD necesitan un circuito convertidor para poder medir directamente el valor de la temperatura con un micro controlador, mientras que los IC ofrecen directamente una salida digital.

Una desventaja de la TC es que tiende a envejecer rápidamente. Si bien el dispositivo no se usará más de 3 meses seguidos, este podrá ser reutilizado, dándole mayor peso al factor del envejecimiento. El autocalentamiento también es contraproyectivo en la medición de temperatura debido a que este puede alterar la misma si no es tenido en cuenta. Las TC no cuentan con este inconveniente debido a su principio de funcionamiento, mientras que con las otras opciones si lo es. Con la RTD este efecto depende directamente con la corriente que se suministra para la medición, y con los IC es un aspecto que es considerado por los diseñadores de los mismos.

Por estas razones los candidatos a terminan siendo DHT-22 y la PT-100. Un punto favorable para la DHT-22 es que no necesita un circuito extra. Adicionalmente esta unidad cuenta con una medición de humedad, lo que brinda la posibilidad de usarlo también para dicha variable o como un complemento de otro sensor.

En la elección para la medición de humedad, como primer criterio, se busca que pueda medir el rango entero de la humedad relativa y que cuente con una precisión considerable. Dadas estas consideraciones, se descarta el DHT-11 y AM-1001. Es así que de los dos restantes, se opta por el DHT-22 debido a que por un menor costo se obtienen mejores prestaciones. Teniendo en cuenta esto se utilizará tanto para la medición de temperatura y humedad el DHT-22.

En cuanto a la luminosidad, principalmente se deberá asegurar el funcionamiento en el rango de temperatura en el cual operará el dispositivo, por lo cual el OPT-101 queda descartado. Además, se tiene en cuenta la potencia utilizada, el rango de medición de los sensores y el tipo de alimentación.

La comunicación puede ser analógica en corriente para el TEMT-6000, pero este necesitará un amplificador de corriente o un convertidor para esta corriente a un nivel medible.

Existen también otros sensores que tienen una salida analógica de tensión como el GL55-LM393 con un rango entre 0 y VCC. Este también provee con una salida digital, pero esta funciona como un schmitt trigger.

Por último el BJ-1750 cuanta con una salida digital con el protocolo de comunicación I2C. Teniendo en cuenta esto se opta por utilizar el sensor (**TBD**).

Finalmente, para la cámara que obtendrá las imágenes, se tuvo en cuenta fundamentalmente la relación precio-resolución de la cámara, al igual que la integración con Linux y el factor de contar con una API para el

lenguaje C. Por lo que la RPi-ZeroC fue la cámara seleccionada.

Además, este dispositivo cuenta con compatibilidad con la UP seleccionada sin necesidad de adaptadores.

9.1.10.2 Almacenamiento

El factor principal para seleccionar la memoria SD a utilizar es el rango de temperaturas de operación. Es por este factor que se elige la SDSDQAF3-XI, ya que esta se encuentra en un rango seguro (mayor a las demás).

Dado que se recolectará un volumen de datos del que no se tiene una gran certeza, debido a que una parte será lo que provenga de la mochila, se estima en función de los datos del nido y del periodo de activación de los sensores, que una memoria de 32GB es suficiente incluso si aumenta el volumen de datos.

9.1.10.3 Comunicación

(TBD)

Observación: Hay que hablar de la conversación Nido - Ave y Nido - Persona

9.1.10.4 Unidades de procesamiento

Para este módulo se opta por la Raspberry Pi Zero W, ya que posee Bluetooth BLE (Bluetooth Low Energy), es el dispositivo más económico, más pequeño y cuenta con soporte para micro SD.

En cuanto las temperaturas de funcionamiento, este dispositivo se encuentra dentro del rango necesario. Además, los módulos Raspberry Pi trabajan entre 20 °C y 30 °C por encima de la temperatura ambiente debido a su autocalentamiento. También es sabido que los integrados R-Pi pueden llegar a soportar temperaturas extremas, tales como las que se dan en la Antártida [2].

9.1.10.5 Batería

La batería a emplear queda determinada en función del consumo del sistema y de la energía que se deba almacenar en caso de emergencias. De esta forma, para alimentar tanto a los sensores como a la R-Pi se requieren (TBD). Con la batería (TBD) se consigue la especificación mencionada.

9.1.10.6 Cargador

(TBD)

9.1.10.7 Alimentación

Para poder abastecer a la batería seleccionada, con un panel (TBD) se puede proveer la potencia requerida.

9.1.11 DFMEA

| ANÁLISIS DE RIESGOS | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|----------------------------------|--|---|----|---------------------|-------|--|--|---------------------------|---|----|----|
| | | | | | | | | | | | | |
| Nº | Efectos de falla | Modo de la falla | Causas de la falla | NS | Aceptabilidad NS PO | DE IC | Acción de reducción | NS | Aceptabilidad NS PO DE IC | | | |
| 1 | No se pueden realizar mediciones | Los sensores dejan de funcionar | Los sensores son dañados por el ave | 4 | 4 | 2 | Ocultar los sensores en la bóveda | 4 | 2 | 2 | 16 | |
| 2 | No se pueden realizar mediciones | Los sensores dejan de funcionar | El conexionado es dañado por el ave | 4 | 4 | 2 | Hacer más robusto el cableado | 4 | 2 | 2 | 16 | |
| 3 | Falta de energía solar | Falla en los paneles solares | Los paneles se encuentran dañados | 5 | 3 | 2 | Colocar protección para los paneles | 5 | 2 | 2 | 20 | |
| 4 | Falta de energía solar | La electrónica no funciona correctamente | Fue colocado en un lugar con obstrucciones | 5 | 3 | 3 | Instalar el panel solar sobre un tronco, donde no haya ramas u objetos que puedan obstruir | 5 | 1 | 3 | 15 | |
| 5 | Falta de energía en la UBN | No hay alimentación | (TBD) días con un nivel de luz menor al necesario para la carga de baterías | 5 | 3 | 3 | 45 | 5 | 1 | 3 | 15 | |
| 6 | Falta de energía en la UBN | La batería no funciona | Se inundó el contenedor de la batería | 5 | 3 | 4 | 60 | Se utiliza una carcasa para la batería con protección (TBD) que asegure protección contra agua | 5 | 1 | 4 | 20 |

Tabla 9.1.11.1: DFMEA (Parte 1).

| ANÁLISIS DE RIESGOS | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|---|---|--|----------|------------------|--------------------|----------|---|----|------------------|----|----|
| | | | Fecha de elaboración: | 25/05/21 | | Fecha de revisión: | 28/06/21 | | | | | |
| Nº | Efectos de falla | Modo de la falla | Causas de la falla | NS | Aceptabilidad PO | DE | IC | Acción de reducción | NS | Aceptabilidad PO | DE | IC |
| 7 | La electrónica deja de funcionar | La UP deja de funcionar | La UP se encuentra a una temperatura baja | 5 | 2 | 2 | 20 | Colocar la UP en un encapsulado | 5 | 1 | 2 | 10 |
| 8 | Falla de almacenamiento | No se pueden guardar más datos | La temperatura de operación es menor al mínimo aceptable | 5 | 4 | 3 | 60 | Cambiar la memoria por una de nivel industrial | 5 | 1 | 3 | 15 |
| 9 | Falla de almacenamiento | La memoria sufre una pérdida de información | La memoria es defectuosa | 5 | 2 | 3 | 30 | Se verifica la funcionalidad de la misma antes de integrarla al proyecto | 5 | 1 | 3 | 15 |
| 10 | Interrupción en la transmisión ave - nido | Se pierde la comunicación con el ave | El ave se retira del nido | 5 | 4 | 1 | 20 | Agregar indicadores para retomar la transmisión a partir de ese punto | 3 | 4 | 1 | 12 |
| 11 | Interrupción en la transmisión nido - persona | Se pierde la comunicación con la persona | El dispositivo receptor no se encuentra en el rango de transmisión | 5 | 3 | 2 | 30 | Informar la existencia del error en el dispositivo receptor | 3 | 3 | 2 | 18 |
| 12 | Interrupción en la transmisión nido - persona | La transmisión de datos se ve interrumpida | La persona que recibe la información está posicionada demasiado lejos del transmisor | | | | | La información es borrada únicamente cuando se recibe un mensaje de confirmación de la persona en la base del árbol a través del WIFI | | | | |
| 13 | Falla en la transmisión de energía al ave | El ave no transmite la información | La antena transmisora fue dañada | 5 | 2 | 2 | 20 | Colocar un recubrimiento protector sobre la antena | 5 | 1 | 2 | 10 |

Tabla 9.1.11.2: DFMEA (Parte 2).

| Severidad | Probabilidad | Detectabilidad | |
|-------------------|--------------|----------------|---|
| Insignificante | Remota | Completa | 1 |
| Poco significante | Poco remota | Mayor | 2 |
| Moderado | Media | Moderada | 3 |
| Grave | Alta | Pequeña | 4 |
| Muy grave | Muy alta | Mínima | 5 |

| Nivel de IC | |
|-------------------------------------|----------------|
| Aceptable | $IC \leq 27$ |
| Bajar hasta razonablemente práctico | $27 < IC < 48$ |
| No aceptable | $48 \leq IC$ |

Tabla 9.1.11.4: Nivel de IC.

Tabla 9.1.11.3: Criterio de IC.

9.2 Factibilidad de Tiempos

9.2.1 Consideraciones

Para el desarrollo de las siguientes secciones, se tiene en cuenta un equipo de trabajo de 4 personas, con días laborales de 8 horas. Con 15 días de vacaciones en la primera quincena de enero.

9.2.2 Planificación

Se procede a presentar un cuadro con las tareas a realizar. En la siguiente tabla se observa el tiempo mas probable, el optimista y el pesimista, para tener un análisis más real de la duración.

| Nº | Nombre de tarea | Duración Optimista | Duración Media | Duración Pesimista | Predecesora |
|----|---|--------------------|----------------|--------------------|-------------|
| 1 | Detectar Necesidad | 1 | 3 | 4 | - |
| 2 | Definir el alcance | 2 | 3 | 4 | 1 |
| 3 | Antecedentes y Contexto | 1 | 2 | 3 | 1 |
| 4 | Reuniones con cliente | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 1 |
| 5 | Definir objetivos de diseño | 1 | 2 | 5 | 2, 3 |
| 6 | Definir requerimientos | 4 | 5 | 8 | 4, 5 |
| 7 | Definir Especificaciones | 3 | 5 | 8 | 5 |
| 8 | Planes de validacion | 3 | 5 | 8 | 11 |
| 9 | DFMEA 1° reunion | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 8 |
| 10 | Investigació antenas y radiopropagación | 44 | 45 | 54 | 6, 7 |
| 11 | Analisis de factibilidad Tecnológica | 40 | 45 | 47 | 6, 7 |
| 12 | Análisis de presupuesto y costos | 4 | 5 | 9 | 6, 7 |
| 13 | Análisis de factibilidad económica | 3 | 5 | 8 | 12 |
| 14 | DFMEA 2° reunion | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 9, 11, 12 |
| 15 | Cálculo y selección de HW | 12 | 15 | 20 | 11, 12, 13 |
| 16 | Diagrama de HW y plan de implementación | 14 | 15 | 18 | 15 |
| 17 | DFMEA 3° reunion | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 15 |
| 18 | Diagrama de SW y plan de implementación | 11 | 15 | 19 | 15 |
| 19 | Integración a nivel modulos | 23 | 25 | 27 | 16, 18 |
| 20 | Integración general | 18 | 20 | 21 | 19 |
| 21 | Integracion Prototipo | 9 | 12 | 13 | 20 |
| 22 | Vacaciones | 15 | 15 | 15 | 21 |
| 23 | Integración a Prototipo | 9 | 12 | 13 | 22 |
| 24 | Validación de prototipo | 19 | 20 | 21 | 23 |
| 25 | Estudio de confiabilidad | 6 | 10 | 13 | 24 |

Tabla 9.2.2.1: Actividades a realizar en el proyecto en *días* de 8 horas cada uno.

9.2.3 Programación

Se realizo un diagrama de Gantt acorde a la Tabla (9.2.2.1). En este se marcó el camino crítico en rojo.

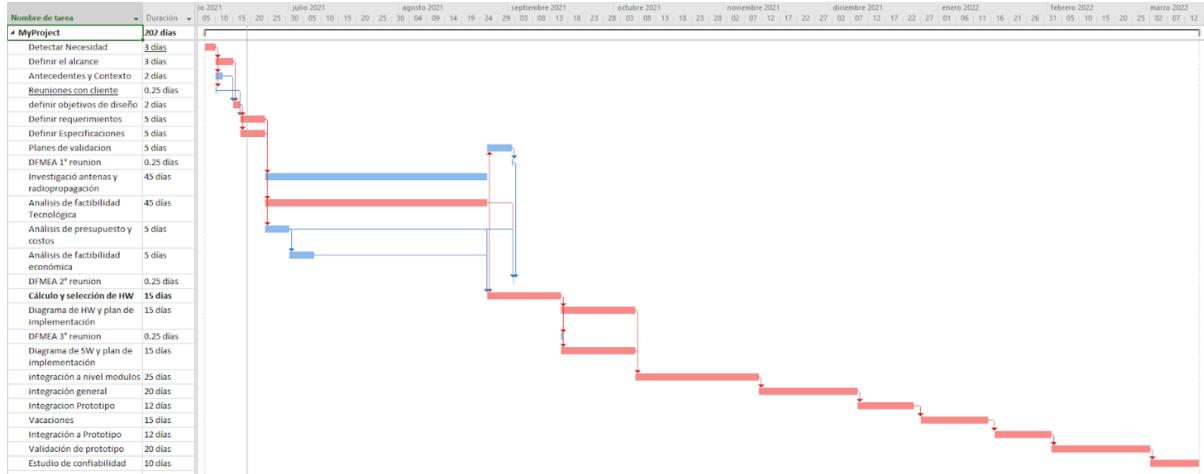


Figura 9.2.3.1: Diagrama de Gantt del proyecto.

Luego se realizó una simulación de Montecarlo utilizando la distribución β para las variables aleatorias, obteniendo como resultado el análisis plasmado en la Figura (9.2.3.2).

En este gráfico se ve la probabilidad de terminar el proyecto en un intervalo de entre 1533 a 1957 horas, con una probabilidad del 95 %. Esta distribución es el lapso de tiempo entre que se comienza el proyecto y se termina, a través del camino crítico.

Teniendo en cuenta que por teorema central del límite la suma de las variables aleatorias β convergen a una normal.

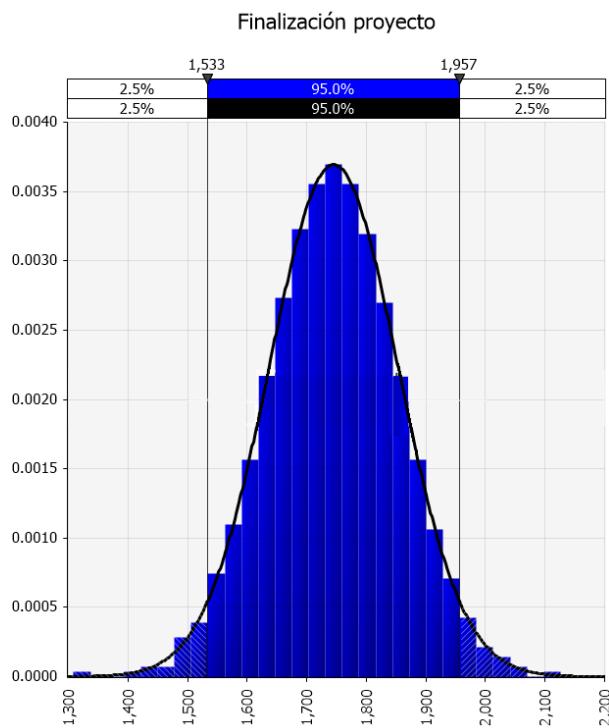


Figura 9.2.3.2: Simulación de Montecarlo.

A continuación se muestran la cantidad de horas de ingeniería por ingeniero. Para obtener los resultados de la Figura (9.2.3.3), se tuvieron cuenta la paralelización de actividades y la disponibilidad de 4 trabajadores.

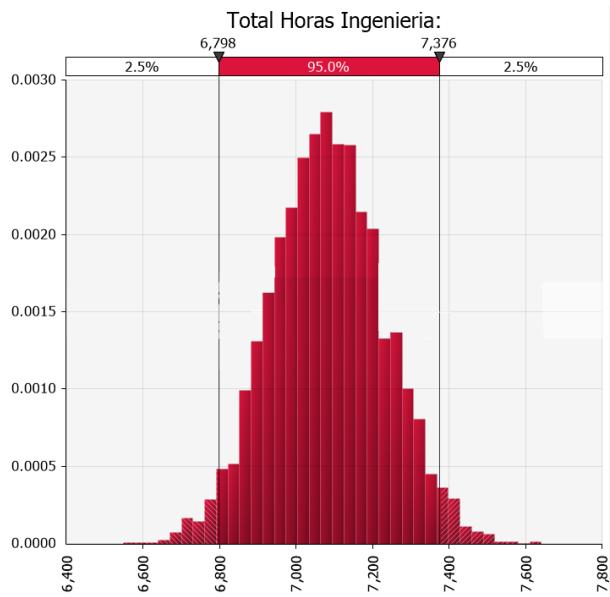


Figura 9.2.3.3: Simulación de Montecarlo para tiempo de ingeniería.

Se puede observar que el tiempo total de horas de ingeniería corresponde a un rango entre aproximadamente 6800 a 7400 horas, con una media de aproximadamente 7100 horas.

9.3 Factibilidad Económica

9.3.1 Modelo de Negocios

Este diseño se trata de un proyecto único, con posibilidad de realizar hasta (TBD) unidades adicionales posteriores a su finalización.

El principal ingreso corresponderá al diseño del hardware y software para el control del módulo, para lo que se requiere de conocimiento técnico (siendo este el valor agregado del proyecto). Este último factor se lo contempla al finalizar el proyecto.

9.3.2 Gastos e ingresos

Los gastos principales considerados son (TBD). Se estima de este modo un costo de componentes de (TBD) USD, a contabilizar una única vez.

Como ingreso, se tiene en cuenta una suma de (TBD) USD contemplando los gastos que no estén siendo tenidos en cuenta y el resto será la ganancia del proyecto. Se apunta a obtener una ganancia de (TBD).

9.3.3 Flujo de fondos

Revisando los ítems anteriores, se arma el siguiente cuadro con el flujo de fondos para todo el proyecto.

9.4 Factibilidad legal y responsabilidad civil

(regulaciones y licencias)

10. Ingeniería de Detalle

10.1 Hardware

10.1.1 Diagrama de bloques (Hardware)

10.1.2 Descripción detallada de cada bloque

10.1.3 Detalles de selección y cálculo de los elementos circuitales de cada bloque

10.1.4 Plan de pruebas de cada modulo

10.2 Software

- 10.2.1 Diagrama de estados y flujogramas
- 10.2.2 Análisis de complejidad
- 10.2.3 Descripción de subrutinas
- 10.2.4 Listado de elementos del código
- 10.2.5 Plan de prueba de módulos y de depuración de Software

11. Software

12. Construcción del Prototipo

13. Validación del Prototipo

- 13.1 Validación del hardware
 - 13.1.1 Plan y protocolos especiales de medición
 - 13.1.2 Medidas
 - 13.1.3 Evaluación
 - 13.1.4 Resultados
- 13.2 Validación de software

14. Estudios de confiabilidad de hardware y de software

15. Conclusiones

- 15.1 Excelencias. Objetivos alcanzados
- 15.2 Fallos. Recomendaciones para futuros diseños

16. Referencias

- [1] V. Ojeda, M. L. Chazarreta, C. M. Pozzi. *El Carpintero Gigante: Especie Clave Del Bosque Andino Patagónico.* Difundiendo Saberes, Vol. 8, 2011.
- [2] L. Upton, 2014. Penguin Lifelines. [Blog] Raspberry Pi Blog, Disponible en: <https://www.raspberrypi.org/blog/penguin-lifelines/> [Accedido 24 May 2021].
- [3] Occupational Safety and Health Administration, Cincinnati Technical Center (May 20, 1990). "Electromagnetic Radiation and How It Affects Your Instruments. Near field vs. Far field" Disponible en: <https://www.osha.gov/radiofrequency-and-microwave-radiation/electromagnetic-field-memo> [Accedido 25 Jun 2021].
- [4] V. Nikitin, P., Rao, K. and Lazar, S., n.d. An Overview of Near Field UHF RFID.
- [5] Vistnes, A., 2018. Physics of Oscillations and Waves. Oslo, Norway: Springer, Chapter 9.
- [6] Life.itu.int. n.d. Terms and definitions. [online] Disponible en: <https://life.itu.int/radioclub/rr/art1.pdf> [Accedido 26 Jun 2021].
- [7] Sma.gov.jm. n.d. ITU Radio Regulations, CHAPTER II – Frequencies, ARTICLE 5 Frequency allocations, Section IV – Table of Frequency Allocations. [online] Disponible en: https://www.sma.gov.jm/sites/default/files/publication_files/ITU-R_Radio_Regulations_2012_%202015_%20Article_5_Table %20of %20Frequencies.pdf [Accedido 26 Jun 2021].

17. Anexos Técnicos

(TBD)