



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)  
Londero 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**

|  |    |
|--|----|
| <b>1 Agradecimientos</b>                       | 1  |
| <b>2 Indice</b>                                | 2  |
| 2.1 Contenidos                                 | 2  |
| 2.2 Lista de Figuras                           | 3  |
| 2.3 Lista de Tablas                            | 3  |
| <b>3 Acrónimos y definiciones</b>              | 5  |
| <b>4 Resumen</b>                               | 5  |
| <b>5 Introducción</b>                          | 5  |
| 5.1 Antecedentes                               | 5  |
| 5.2 Contexto del proyecto                      | 6  |
| <b>6 Objetivos</b>                             | 6  |
| 6.1 Finalidad del Proyecto                     | 6  |
| 6.2 Planteamiento del Problema a Resolver      | 6  |
| 6.3 Alcance                                    | 7  |
| <b>7 Definición de Producto</b>                | 7  |
| 7.1 Requerimientos del Cliente                 | 7  |
| 7.1.1 Relevamiento de Datos                    | 7  |
| 7.1.2 Requerimientos Finales para Trazabilidad | 8  |
| 7.2 Diagrama Funcional de Interfaces           | 9  |
| 7.3 Especificaciones de Diseño                 | 9  |
| 7.3.1 Especificaciones Funcionales             | 9  |
| 7.3.2 Especificaciones de Interfaz             | 11 |
| 7.3.3 Especificaciones de Performance          | 12 |
| 7.3.4 Especificaciones de Implementación       | 13 |
| 7.3.5 Especificaciones de Servicio (RAMS)      | 14 |
| <b>8 Plan de Validación</b>                    | 14 |
| 8.1 Diseño de Banco de Pruebas                 | 14 |
| 8.2 Especificaciones de Test                   | 16 |
| 8.3 Matriz de Trazabilidad de Validación       | 17 |
| 8.4 Plan de Verificación y Validación          | 19 |
| <b>9 Análisis de Factibilidad</b>              | 19 |
| 9.1 Factibilidad tecnológica                   | 19 |
| 9.1.1 Esquema modular                          | 19 |
| 9.1.2 Propuesta de sensores                    | 20 |
| 9.1.2.1 Temperatura                            | 20 |
| 9.1.2.2 Humedad                                | 21 |
| 9.1.2.3 Luminosidad                            | 21 |
| 9.1.2.4 Imágenes                               | 21 |
| 9.1.3 Propuesta de almacenamiento              | 22 |
| 9.1.4 Propuesta de comunicación                | 22 |
| 9.1.5 Propuesta de unidad de procesamiento     | 22 |
| 9.1.6 Propuesta de batería                     | 23 |
| 9.1.7 Propuesta de cargador                    | 23 |
| 9.1.8 Propuesta de alimentación                | 23 |
| 9.1.9 Propuesta de antenas                     | 24 |
| 9.1.10 Elección de una solución                | 26 |

|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| 9.1.10.1  | Sensores . . . . .  | 26        |
| 9.1.10.2  | Almacenamiento . . . . .  | 27        |
| 9.1.10.3  | Comunicación . . . . .  | 27        |
| 9.1.10.4  | Unidades de procesamiento . . . . .   | 27        |
| 9.1.10.5  | Batería . . . . .   | 27        |
| 9.1.10.6  | Cargador . . . . .  | 27        |
| 9.1.10.7  | Alimentación . . . . .  | 27        |
| 9.1.11    | DFMEA . . . . .   | 28        |
| 9.2       | Factibilidad de tiempos . . . . .   | 30        |
| 9.2.1     | Planificación . . . . .   | 30        |
| 9.2.2     | Programación . . . . .  | 30        |
| 9.3       | Factibilidad legal y responsabilidad civil . . . . .                                  | 30        |
| <b>10</b> | <b>Ingeniería de Detalle . . . . .</b>  | <b>30</b> |
| 10.1      | Hardware . . . . .  | 30        |
| 10.1.1    | Diagrama de bloques (Hardware) . . . . .  | 30        |
| 10.1.2    | Descripción detallada de cada bloque . . . . .  | 30        |
| 10.1.3    | Detalles de selección y cálculo de los elementos circuitales de cada bloque . . . . . | 30        |
| 10.1.4    | Plan de pruebas de cada modulo . . . . .  | 30        |
| 10.2      | Software . . . . .  | 30        |
| 10.2.1    | Diagrama de estados y flujogramas . . . . .   | 30        |
| 10.2.2    | Análisis de complejidad . . . . .   | 30        |
| 10.2.3    | Descripción de subrutinas . . . . .   | 30        |
| 10.2.4    | Listado de elementos del código . . . . .   | 30        |
| 10.2.5    | Plan de prueba de módulos y de depuración de Software . . . . .                       | 30        |
| <b>11</b> | <b>Software . . . . .</b>   | <b>30</b> |
| <b>12</b> | <b>Construcción del Prototipo . . . . .</b>   | <b>30</b> |
| <b>13</b> | <b>Validación del Prototipo . . . . .</b>   | <b>31</b> |
| 13.1      | Validación del hardware . . . . .   | 31        |
| 13.1.1    | Plan y protocolos especiales de medición . . . . .                                    | 31        |
| 13.1.2    | Medidas . . . . .   | 31        |
| 13.1.3    | Evaluación . . . . .  | 31        |
| 13.1.4    | Resultados . . . . .  | 31        |
| 13.2      | Validación de software . . . . .  | 31        |
| <b>14</b> | <b>Estudios de confiabilidad de hardware y de software . . . . .</b>                  | <b>31</b> |
| <b>15</b> | <b>Conclusiones . . . . .</b>   | <b>31</b> |
| 15.1      | Excelencias. Objetivos alcanzados . . . . .   | 31        |
| 15.2      | Fallos. Recomendaciones para futuros diseños . . . . .                                | 31        |
| <b>16</b> | <b>Referencias . . . . .</b>  | <b>32</b> |
| <b>17</b> | <b>Anexos Técnicos . . . . .</b>  | <b>32</b> |

## 2.2. Lista de Figuras

|         |  |    |
|---------|--|----|
| 7.2.1   | Diagrama Funcional de Interfaces. . . . .                | 9  |
| 8.4.1   | Diagrama de dependencias del plan de validación. . . . . | 19 |
| 9.1.1.1 | Diagrama modular del sistema. . . . .                    | 20 |

## 2.3. Lista de Tablas

|         |   |    |
|---------|---|----|
| 7.1.2.1 | Requerimientos de máxima. . . . .               | 8  |
| 7.3.1.1 | Leyendas para las especificaciones. . . . .     | 9  |
| 7.3.1.2 | Especificaciones funcionales (Parte 1). . . . . | 10 |

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| 7.3.1.3   | Especificaciones funcionales (Parte 2). . . . .           | 10 |
| 7.3.1.4   | Especificaciones funcionales (Parte 3). . . . .           | 11 |
| 7.3.2.1   | Especificaciones de interfaz MEC. . . . .                 | 11 |
| 7.3.2.2   | Especificaciones de interfaz COM1. . . . .                | 11 |
| 7.3.2.3   | Especificaciones de interfaz COM2. . . . .                | 12 |
| 7.3.3.1   | Especificaciones de performance. . . . .                  | 12 |
| 7.3.3.2   | Especificaciones dimensionales y de peso. . . . .         | 13 |
| 7.3.4.1   | Especificaciones de operación. . . . .                    | 13 |
| 7.3.4.2   | Especificaciones de almacenamiento y transporte. . . . .  | 13 |
| 7.3.5.1   | Especificaciones de seguridad. . . . .                    | 14 |
| 7.3.5.2   | Especificaciones de mantenibilidad. . . . .               | 14 |
| 7.3.5.3   | Especificaciones de disponibilidad. . . . .               | 14 |
| 7.3.5.4   | Especificaciones de confiabilidad. . . . .                | 14 |
| 8.2.1     | Tabla de plan de validación . . . . .                     | 16 |
| 8.3.1     | Matriz de trazabilidad (Parte 1). . . . .                 | 17 |
| 8.3.2     | Matriz de trazabilidad (Parte 2). . . . .                 | 18 |
| 9.1.2.1.1 | Comparación entre sensores de temperatura. . . . .        | 20 |
| 9.1.2.2.1 | Comparación de sensores de humedad. . . . .               | 21 |
| 9.1.2.3.1 | Comparación de sensores de luminosidad. . . . .           | 21 |
| 9.1.3.1   | Comparación entre memorias SD. . . . .                    | 22 |
| 9.1.5.1   | Comparación entre palcas Raspberry Pi. . . . .            | 23 |
| 9.1.6.1   | Comparación entre baterías gel de carga profunda. . . . . | 23 |
| 9.1.8.1   | Comparación entre paneles solares. . . . .                | 24 |
| 9.1.9.1   | Comparación entre antenas transmisoras (Parte 1). . . . . | 24 |
| 9.1.9.2   | Comparación entre antenas transmisoras (Parte 2). . . . . | 25 |
| 9.1.9.3   | Comparación entre antenas receptoras (Parte 1). . . . .   | 25 |
| 9.1.9.4   | Comparación entre antenas receptoras (Parte 2). . . . .   | 26 |
| 9.1.11.1  | DFMEA (Parte 1). . . . .                                  | 28 |
| 9.1.11.2  | DFMEA (Parte 2). . . . .                                  | 29 |
| 9.1.11.3  | Criterio de IC. . . . .                                   | 30 |
| 9.1.11.4  | Nivel de IC. . . . .                                      | 30 |

### 3. Acrónimos y definiciones

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

### 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 por la duración de una semana.

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)

## 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 recolectan 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 ciertos sensores. Nuevamente, ese tipo de productos no contemplan el comportamiento del ave en cuestión, ya que dicha especie fabrica su propio nido en lugar de tomar alguno ya construido. Estos refugios tampoco están equipados con sensores que permitan medir los factores de interés.

## 5.2 Contexto del proyecto

El CIDEI (Centro de Investigación y Desarrollo en Electrónica Industrial del ITBA) está trabajando junto al IN-BIOMA (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 biólogas 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.

## 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 ornitólogas 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.

### 6.2 Planteamiento del Problema a Resolver

Nuestro producto deberá involucrar la adquisición de distintos parámetros de la vida del ave. Estos parámetros forman parte tanto del entorno del ave (variables dentro o en las cercanías del nido).

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.

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 y baterías.

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, en este trabajo no se contemplará la instalación del producto final *in situ*; la electrónica que irá situada en la mochila, exceptuando el receptor de energía y un prototipo con el cual se comprobarán las funcionalidades del nido; ni el procesamiento de los datos recibidos, solo aquellos relacionados con el almacenamiento y retransmisión.

## 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 ornitólogos, 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 los datos que adquirió 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 600 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

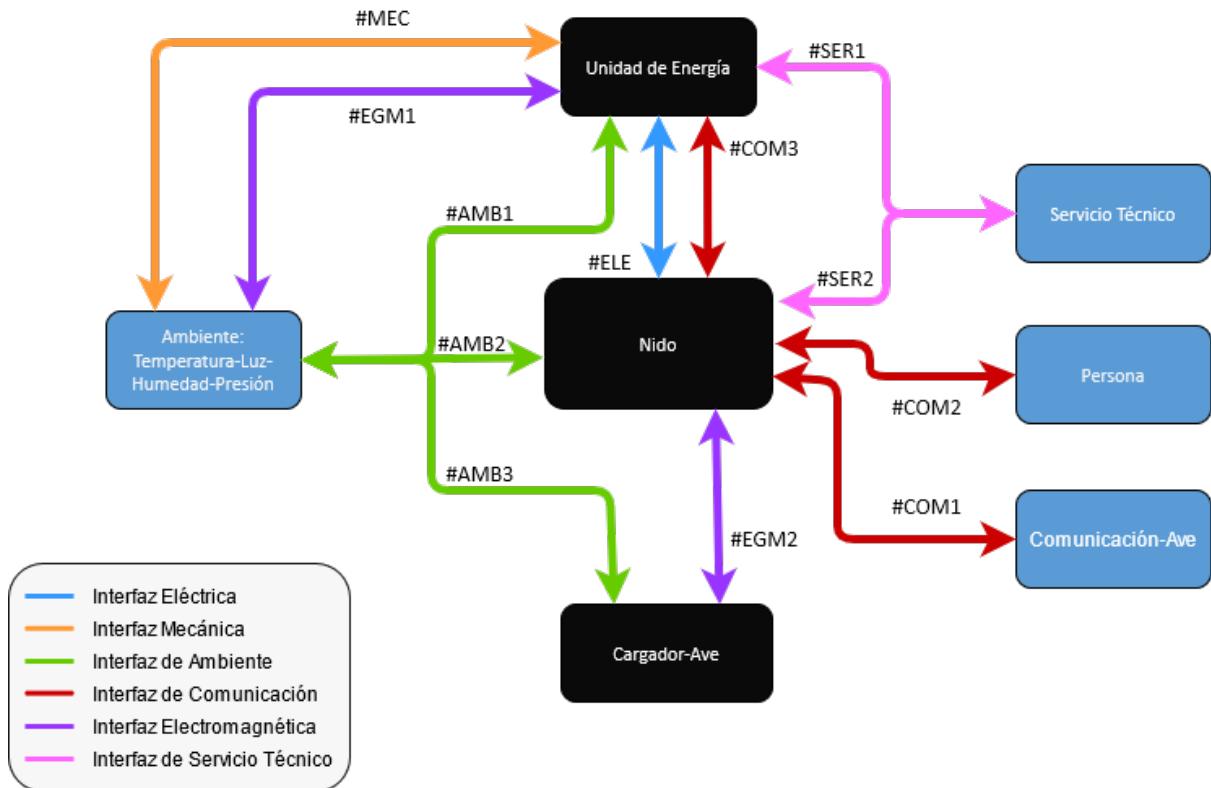


Figura 7.2.1: Diagrama Funcional de Interfaces.

## 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.

| ID         | Descripción  | Origen         | Aplicabilidad<br>Validación |
|------------|--|----------------|-----------------------------|
| INT-FUN-01 | El dispositivo deberá tener un espacio de almacenamiento de datos de por lo menos <b>(TBD)</b> 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-03) por <b>(TBD)</b> días, cuando la fuente de energía principal se encuentre en condiciones de hasta un <b>(TBD)</b> % 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).

| ID         | Descripción  | Origen | Aplicabilidad<br>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<br>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 (TBD) minutos.                        | REQ-17 | P F - I D T                 |
| INT-FUN-13 | El sistema obtendrá valores del sensor de humedad cada (TBD) minutos.                            | REQ-17 | P F - I D T                 |
| INT-FUN-14 | El sistema obtendrá valores del sensor de luminosidad cada (TBD) minutos.                        | REQ-17 | P F - I D T                 |
| INT-FUN-15 | El sistema obtendrá imágenes cada (TBD) 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<br>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<br>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<br>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 desde 15 a 20 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<br>Validación |
|--------|--|----------------|-----------------------------|
| PER-01 | El equipo deberá realizar la carga de la batería del ave con una eficiencia no menor al (TBD) %.                               | INT-FUN-10     | F - D T                     |
| PER-02 | 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-03 | 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-04 | 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<br>Validación |
|------------|--|----------------|-----------------------------|
| IMP-DIM-01 | El dispositivo del nido no deberá exceder las siguientes dimensiones<br>Largo < 26 cm<br>Ancho < 8,79 cm<br>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<br>Largo < (TBD)<br>Ancho < (TBD)<br>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<br>Validación |
|------------|--|--------|-----------------------------|
| IMP-OPE-01 | El sistema deberá poder operar normalmente cuando la temperatura ambiente sea $-20^{\circ}\text{C} < T_{AMB} < 30^{\circ}\text{C}$ . | 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 tener un grado de protección IPXX (TBD)  | REQ-10 | F - I D                     |

Tabla 7.3.4.1: Especificaciones de operación.

| ID         | Descripción  | Origen         | Aplicabilidad<br>Validación |
|------------|--|----------------|-----------------------------|
| IMP-AYT-01 | No se deberán sufrir daños cuando, estando desenergizado, la temperatura ambiente sea $-20^{\circ}\text{C} < T_{AMB} < 40^{\circ}\text{C}$ . | 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 $84 \text{ kPa} < P_{ATM} < 101 \text{ kPa}$ .          | 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:<br>Manual de Usuario<br>Esquemáticos de circuitos<br>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

#### 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<br><br>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<br>INT-MEC-02<br>IMP-DIM-01<br>IMP-DIM-02<br>IMP-DIM-03<br>IMP-DIM-04                              | (TBC)<br>T-IMP-DIM-01<br>T-IMP-DIM-01<br>T-IMP-DIM-02<br>T-IMP-DIM-02  |
|         | REQ 02<br><br>El producto debe poder mantenerse energizado sin intervención humana.  | INT-FUN-02<br>INT-FUN-03<br>PER-02<br>PER-03<br>PER-04<br>INT-FUN-15  | T-INT-FUN-05<br>T-INT-FUN-06<br>T-PER-01<br>T-PER-02<br>T-PER-03<br>T-INT-FUN-10   |
| Tácito  | REQ 03<br><br>El producto no debe requerir conexión a la red eléctrica para su funcionamiento  | INT-FUN-02<br>INT-FUN-03  | T-INT-FUN-05<br>T-INT-FUN-06   |
|         | REQ 04<br><br>El producto debe ser capaz de adquirir los siguientes datos dentro del nido: temperatura, humedad, luminosidad e imágenes.   | INT-FUN-05<br>INT-FUN-06<br>INT-FUN-07  | T-INT-FUN-01<br>T-INT-FUN-07<br>T-INT-FUN-11<br>T-INT-FUN-13   |
| Cliente | REQ 05<br><br>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<br>INT-COM1-01<br>INT-COM1-02<br>INT-COM1-03<br>INT-COM1-04  | T-INT-COM1-05<br>T-INT-COM1-01<br>T-INT-COM1-02<br>T-INT-COM1-03<br>T-INT-COM1-04  |
|         | REQ 06<br><br>El producto debe poder almacenar los datos adquiridos por el nido y el ave.  | INT-FUN-01  |  |
| Cliente | REQ 07<br><br>Una persona debe poder recibir los datos almacenados en el nido a la distancia.  | INT-FUN-08<br>INT-COM2-01<br>INT-COM2-03<br>INT-COM2-04<br>INT-COM2-05<br>INT-COM2-06<br>PER-04<br>RAM-SEG-03 | T-INT-COM2-07<br>T-INT-COM2-01<br>T-INT-COM2-03<br>T-INT-COM2-04<br>T-INT-COM2-05<br>T-INT-COM2-06<br>T-PER-03<br>T-RAM-SEG-01 |
|         | REQ 08<br><br>El producto no debe llamar la atención de humanos desde el nivel del piso.   | INT-AMB-01<br>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<br>IMP-DIM-02<br>IMP-DIM-03<br>IMP-DIM-04   | T-IMP-DIM-01<br>T-IMP-DIM-01<br>T-IMP-DIM-02<br>T-IMP-DIM-02 |
|         | El producto o su instalación no debe dañar al árbol donde estará el nido.   |  |  |
| Táctico | REQ 10  | IMP-AYT-01<br>IMP-AYT-02<br>IMP-AYT-03<br>IMP-AYT-04<br>IMP-OPE-01<br>IMP-OPE-02<br>IMP-OPE-03<br>IMP-OPE-04<br>INT-MEC-01<br>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<br>IMP-COS-02   |  |
|         | El producto debe costar menos de 600 USD.   |  |  |
| Estado  | REQ 12  | RAM-SEG-01<br>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<br>INT-FUN-10   |  |
|         | El producto debe poder cargar las baterías del dispositivo del ave.   |  | T-PER-04<br>T-INT-FUN-08                                     |
| Cliente | REQ 15  | INT-AMB-01<br>INT-AMB-02<br>INT-AMB-03<br>INT-COM1-01<br>INT-COM1-03<br>INT-COM2-02<br>RAM-SEG-01  |  |
|         | El producto no debe perturbar a las aves dentro del nido.   |  | T-INT-COM1-01<br>T-INT-COM1-03<br>T-INT-COM2-02<br>(TBC)     |
| Táctico | REQ 16  | IMP-AYT-01<br>IMP-AYT-02<br>IMP-AYT-03<br>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<br>INT-FUN-13<br>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<br>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

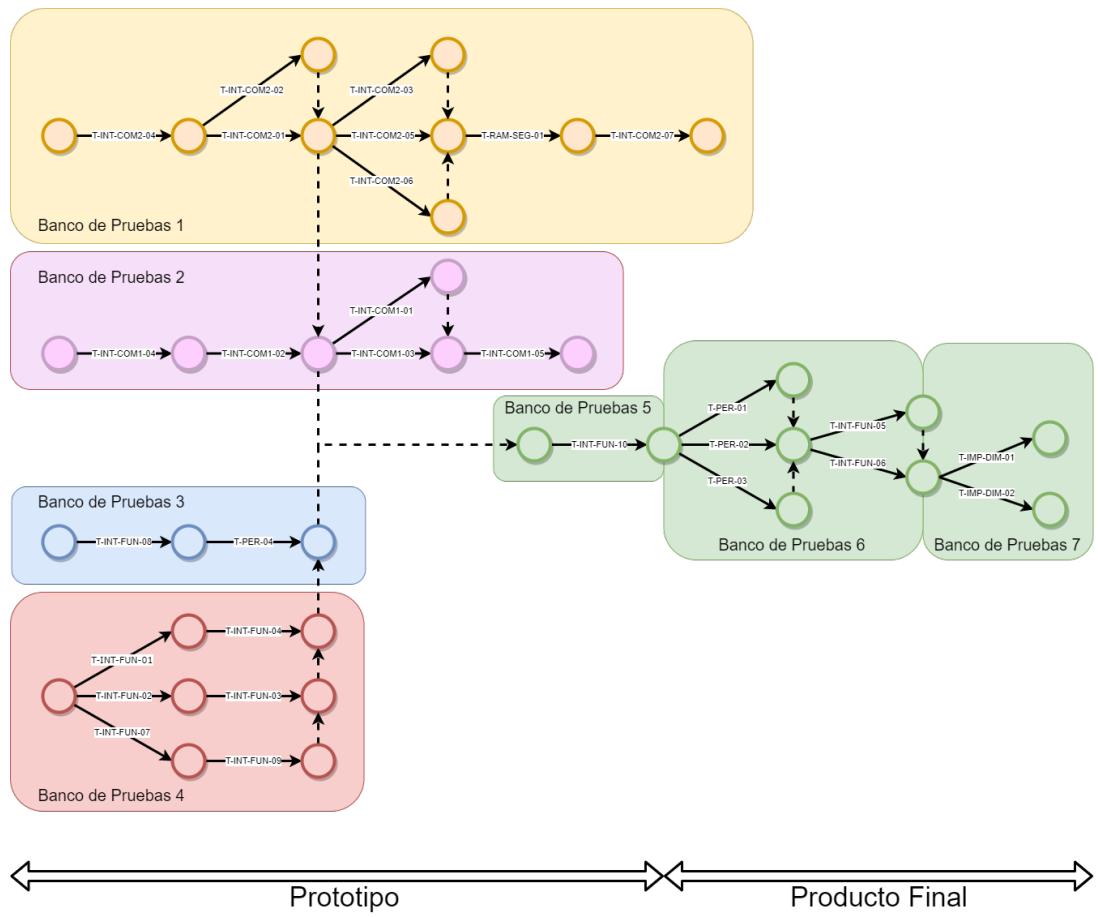


Figura 8.4.1: Diagrama de dependencias del plan de validación.

## 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.

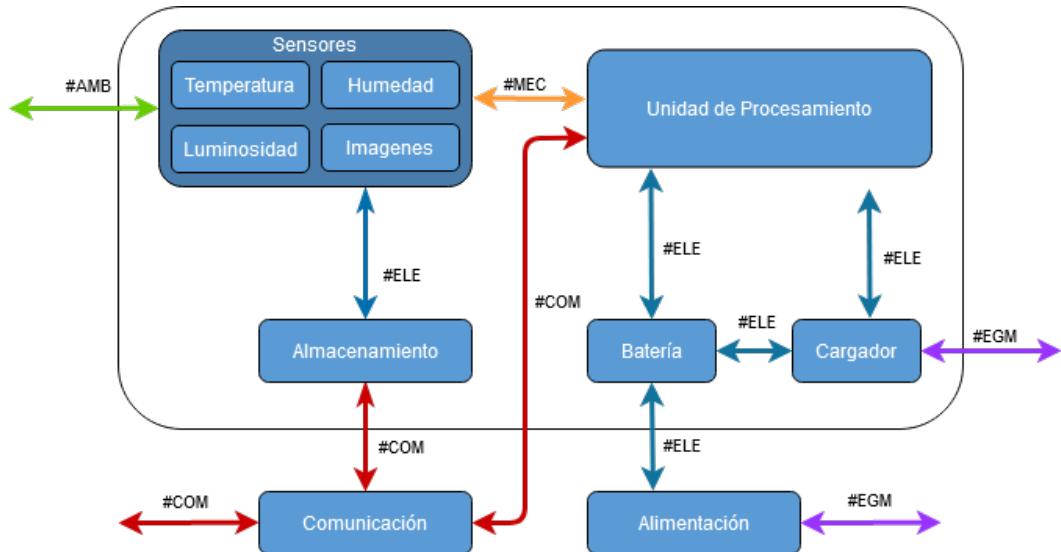


Figura 9.1.1.1: Diagrama modular del sistema.

### 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 seebeck. 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   |
|--------------------------------|---|---|----------|----------|
| <b>Costo [ARS]</b>             | 700   | 780   | 200      | 740      |
| <b>Tipo de salida</b>          | Analógico                                     | Analógico   | Digital  | Digital  |
| <b>Rango de operación [°C]</b> | -40 ~ 1200                                    | -50 ~ 200   | -10 ~ 85 | -40 ~ 80 |
| <b>Interfaz de conexionado</b> | Se debe proporcionar un circuito amplificador | Se debe proporcionar un circuito convertidor de resistencia a tensión | -        | -        |
| <b>Precisión [°C]</b>          | ± 1.5   | ± 0.1   | ± 0.5    | ± 0.5    |
| <b>Estabilidad</b>             | Tienden a envejecer                           | -   | -        | -        |
| <b>Autocalentamiento</b>       | -   | Depende de la corriente de medición.                                  | Bajo     | Bajo     |
| <b>Imagen</b>                  |   |   |          |          |

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 [ARS]              | 200     | 1050    | 740     | 840       |
| 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 [ARS]                            | 230       | 340                                   | 330                 | 190               |
| Rango de temperatura de operación [°C] | -40 ~ 85  | -40 ~ 85                              | 0 ~ 70              | -30 ~ 70          |
| Potencia disipada [mW]                 | 260       | 100                                   | (TBD)               | 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 Imagenes

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

| Aspectos comparativos           | RPi-CMOD-V1   | RPi-CMOD-V2  | Rpi-HQC   |
|---------------------------------|---|--|---|
| <b>Costo</b>                    | 25 USD  | 25 USD   | 50 USD  |
| <b>Tamaño [mm]</b>              | 25x24x9   | 25x24x9  | 38x38x18.4  |
| <b>Resolución camara</b>        | 5MP   | 8MP  | 12.3MP  |
| <b>Integración Linux</b>        | V4L2 driver   | V4L2 driver  | V4L2 driver   |
| <b>C API</b>                    | OpenMAX IL y otras  | OpenMAX IL y otras   | -   |
| <b>Peso [g]</b>                 | 3   | 3.4  | 53  |
| <b>Sensor</b>                   | OmniVision OV5647   | Sony IMX219  | Sony IMX477   |
| <b>Rango de temperaturas °C</b> | -25~80  | -25~80   | -25~80  |
| <b>Imagen</b>                   |  |  |  |

### 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   |
|--------------------------------------|---|---|---|
| <b>Costo [ARS]</b>                   | 2100 ~ 3900   | 7900 ~ 15000  | 7600 ~ 17000  |
| <b>Temperatura de operación [°C]</b> | -25 ~ 85  | -25 ~ 85  | -40 ~ 85  |
| <b>Almacenamiento [GB]</b>           | 64 ~ 512  | 64 ~ 256  | 8 ~ 128   |
| <b>Velocidad R/W [MB/s]</b>          | 170 / 90  | 285 / 165   | 50 / 80   |
| <b>Alimentación [V]</b>              | 3.3   | 3.3   | 2.7 ~ 3.6   |
| <b>Imagen</b>                        |  |  |  |

Tabla 9.1.3.1: Comparación entre memorias SD.

### 9.1.4 Propuesta de comunicación

### 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                | R-Pi 4  | R-Pi Zero W   | R-Pi Compute Module 4   |
|--------------------------------------|---|---|---|
| <b>Costo [ARS]</b>                   | 10400 ~ 17000   | 6000 ~ 7500   | 12440 ~ 14310   |
| <b>Temperatura de operación [°C]</b> | 0 ~ 50  | -20 ~ 85  | -20 ~ 85  |
| <b>Memoria</b>                       | 1 [GB] ~ 8[GB]  | 512 [MB]  | 1 [GB] ~ 8 [GB]   |
| <b>Conexiones</b>                    | 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                    |
| <b>Sonido y video</b>                | Micro HDMI, MIPI DSI y CSI  | Mini HDMI, HDMI, CSI, PAL/NTSC pads   | HDMI, MIPI DSI y CSI, SDIO  |
| <b>Soporte SD</b>                    | Almacenamiento y carga de SO  | Micro SD  | Entrada SD para tarjeta o eMMC externo  |
| <b>Dimensiones [mm]</b>              | 85.6 x 56.5   | 65 x 30   | 40 x 55   |
| <b>Alimentación</b>                  | 5 V (3 A)   | 5 (1.2 A)   | 5 V (1.4 A)   |
| <b>Imagen</b>                        |  |  |  |

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

Tabla 9.1.6.1: Comparación entre baterías gel de carga profunda.

### 9.1.7 Propuesta de cargador

### 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 |
|---------------------------------------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| 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 antenas

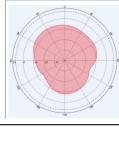
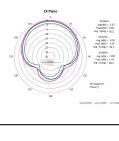
| Aspectos comparativos    | APAE915R2540ABDB1-T   | W3215   | ISPC.91A.09.0092E   |
|--------------------------|---|---|---|
| Dimensiones [mm]         | 25 x 25 x 4   | 40 x 40 x 6   | 47 x 47 x 6.5   |
| Frecuencia Central [MHz] | 915   | 915   | 915   |
| Impedancia [ $\Omega$ ]  | 50  | 50  | 50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

Tabla 9.1.9.1: Comparación entre antenas transmisoras (Parte 1).

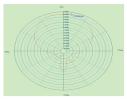
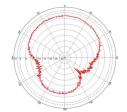
| Aspectos comparativos    | APAES915R80C16-T  | ARRKP7059-S915B   |
|--------------------------|---|---|
| Dimensiones [mm]         | 80 x 80 x 6   | 70 x 70 x 5.9   |
| Frecuencia Central [MHz] | 915   | 915   |
| Impedancia [ $\Omega$ ]  | 50  | 50  |
| Polarización             | RHCP  | RHCP  |
|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

Tabla 9.1.9.2: Comparación entre antenas transmisoras (Parte 2).

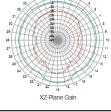
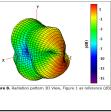
| Aspectos comparativos    | ANT-915-CPA   | FXP290.07.0100A   | NN01-105  |
|--------------------------|---|---|---|
| Dimensiones [mm]         | 25 x 25 x 4   | 70 x 45 x 0.1   | 18 x 7.3 x 0.8  |
| Frecuencia Central [MHz] | 915   | 915   | 915   |
| Impedancia [ $\Omega$ ]  | 50  | 50  | 50  |
| Polarización             | RHCP  | Lineal  | Lineal  |
| Ganancia [dBi]           | 1.5   | 0.5   | 1.7   |
| Eficiencia [%]           | 38  | 43  | 85  |
| ROE                      | $\leq 1.2$  | 1.5   | 1.4   |
| Costo [USD]              | 3.9   | 15.39   | 3.53  |
| Peso [gr]                | 13.2  | 1.5   | 0.2   |
| Imagen                   |  |  |  |
| Lóbulo                   |  |  | "Omnidireccional"   |

Tabla 9.1.9.3: Comparación entre antenas receptoras (Parte 1).

| Aspectos comparativos    | <a href="#">ANT1204F005R0915A</a> | <a href="#">1513156-1</a> | <a href="#">ANT-915-USP410</a> |
|--------------------------|-----------------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| 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 [ $\Omega$ ]  | 50                                | 50                        | 50                             |
| Polarización             | Lineal                            | Lineal                    | Lineal                         |
| Ganancia [dBi]           | 1.59                              | 1                         | 0                              |
| Eficiencia [%]           | -                                 | 88                        | 27                             |
| ROE                      | -                                 | 1.85                      | 1.5                            |
| Costo [USD]              | 1.52                              | 2.8                       | 1.45                           |
| Peso [gr]                | -                                 | < 0.9                     | 0.6                            |
| Imagen                   |                                   |                           |                                |
| Lóbulo                   |                                   |                           |                                |

Tabla 9.1.9.4: 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, dandole 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. Finalmente 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**).

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-CMOD-V2 fue el seleccionado

#### 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 (TBD) datos, se requiere emplear (TBD) memorias, cuyas capacidades de almacenamiento de sean de (TBD) GB.

#### 9.1.10.3 Comunicación

#### 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 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

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

#### 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  |    |    | Aceptabilidad |    |  | Acción de reducción | NS | PO | DE | IC | 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             | 32 | 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             | 32 | 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             | 30 | Colocar protección para los paneles  |                     | 4  | 2  | 2  | 16 |               |
| 4                   | Falta de energía solar           | La electrónica no funciona correctamente | Fue colocado en un lugar con obstrucciones                                  | 5  | 3  | 3             | 45 | Instalar el panel solar sobre un tronco, donde no haya ramas u objetos que puedan obstruir     |                     | 2  | 2  | 3  | 12 |               |
| 5                   | Falta de energía en la batería   | No hay alimentación                      | (TBD) días con un nivel de luz menor al necesario para la carga de baterías | 5  | 3  | 3             | 45 | Contar con una batería de emergencia para sostener al sistema (TBD) días más                   |                     | 5  | 1  | 3  | 15 |               |
| 6                   | Falta de energía en la batería   | 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 |                     | 2  | 3  | 4  | 24 |               |

Tabla 9.1.11.1: DFMEA (Parte 1).

| ANÁLISIS DE RIESGOS |   |  |  |          |                  |    |    |   |    |                  |    |    |
|---------------------|---|--|--|----------|------------------|----|----|---|----|------------------|----|----|
|                     | Fecha de elaboración:                         | 25/05/21                                     | Fecha de revisión:   | 12/06/21 |                  |    |    |   |    |                  |    |    |
| 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 unidad de procesamiento deja de funcionar | La UP se encuentra a una temperatura baja  | 5        | 2                | 2  | 20 | Colocar la UP en un encapsulado   | 4  | 1                | 1  | 4  |
| 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 | Colocar una memoria de respaldo   | 4  | 1                | 3  | 12 |
| 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 |          |                  |    | 16 | La información es borrada únicamente cuando se recibe un mensaje de OK 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 Planificación

(PERT y simulación de Montecarlo)

### 9.2.2 Programación

(Gantt)

## 9.3 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].

## **17. Anexos Técnicos**

(TBD)