



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	5
5.2 Contexto del proyecto	6
6 Objetivos	6
6.1 Finalidad del Proyecto	6
6.2 Planteamiento del Problema a Resolver	6
6.3 Alcance	7
7 Definición de Producto	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
8 Plan de Validación	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
9 Análisis de Factibilidad	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
9.1.7.1 Integrado de Energy Harvesting	23
9.1.8 Propuesta de alimentación	24
9.1.9 Propuesta de antenas	25

9.1.10	Elección de una solución	27
9.1.10.1	Sensores	27
9.1.10.2	Almacenamiento	28
9.1.10.3	Comunicación	28
9.1.10.4	Unidades de procesamiento	28
9.1.10.5	Batería	28
9.1.10.6	Cargador	28
9.1.10.7	Alimentación	28
9.1.11	DFMEA	29
9.2	Factibilidad de tiempos	31
9.2.1	Consideraciones	31
9.2.2	Planificación	31
9.2.3	Programación	31
9.3	Factibilidad económica	33
9.3.1	Modelo de Negocios	33
9.3.2	Gastos e ingresos	33
9.3.3	Flujo de fondos	33
9.4	Factibilidad legal y responsabilidad civil	33
10	Ingeniería de Detalle	34
10.1	Hardware	34
10.1.1	Diagrama de bloques (Hardware)	34
10.1.2	Descripción detallada de cada bloque	34
10.1.3	Detalles de selección y cálculo de los elementos circuitales de cada bloque	34
10.1.4	Plan de pruebas de cada modulo	34
10.2	Software	34
10.2.1	Diagrama de estados y fluujogramas	34
10.2.2	Análisis de complejidad	34
10.2.3	Descripción de subrutinas	34
10.2.4	Listado de elementos del código	34
10.2.5	Plan de prueba de módulos y de depuración de Software	34
11	Software	34
12	Construcción del Prototipo	34
13	Validación del Prototipo	34
13.1	Validación del hardware	34
13.1.1	Plan y protocolos especiales de medición	34
13.1.2	Medidas	34
13.1.3	Evaluación	34
13.1.4	Resultados	34
13.2	Validación de software	34
14	Estudios de confiabilidad de hardware y de software	34
15	Conclusiones	34
15.1	Excelencias. Objetivos alcanzados	34
15.2	Fallos. Recomendaciones para futuros diseños	34
16	Referencias	35
17	Anexos Técnicos	35

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

9.2.3.1	Diagrama de Gantt del proyecto.	32
9.2.3.2	Simulación de montecarlo.	32
9.2.3.3	Simulación de montecarlo para tiempo de ingeniería.	33

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
9.1.2.4.1	Comparación entre cámaras.	22
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
9.1.7.1.1	Comparación entre cargadores.	24
9.1.8.1	Comparación entre paneles solares.	24
9.1.9.1	Comparación entre antenas transmisoras (Parte 1).	26
9.1.9.2	Comparación entre antenas transmisoras (Parte 2).	26
9.1.9.3	Comparación entre antenas receptoras (Parte 1).	27
9.1.9.4	Comparación entre antenas receptoras (Parte 2).	27
9.1.11.1	DFMEA (Parte 1).	29
9.1.11.2	DFMEA (Parte 2).	30
9.1.11.3	Criterio de IC.	31
9.1.11.4	Nivel de IC.	31

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	Termocupla
UP	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

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 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

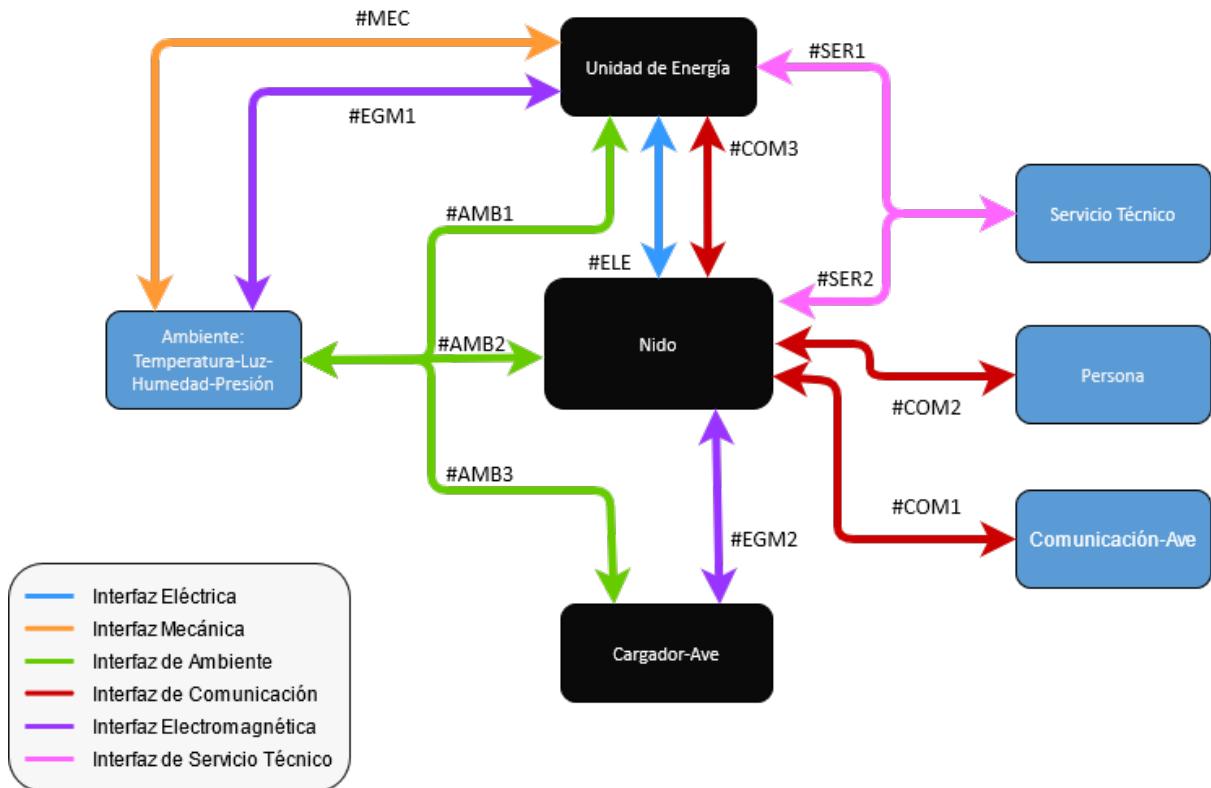


Figura 7.2.1: Diagrama Funcional de Interfaces.

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 Validación
INT-FUN-01	El dispositivo deberá tener un espacio de almacenamiento de datos de por lo menos (TBD) 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 (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).

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 (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 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 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 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 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 $-20^{\circ}\text{C} < T_{AMB} < 30^{\circ}\text{C}$.	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 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: 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

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-02 PER-03 PER-04 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-04 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 costar menos de 600 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 las baterías del dispositivo del ave.		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

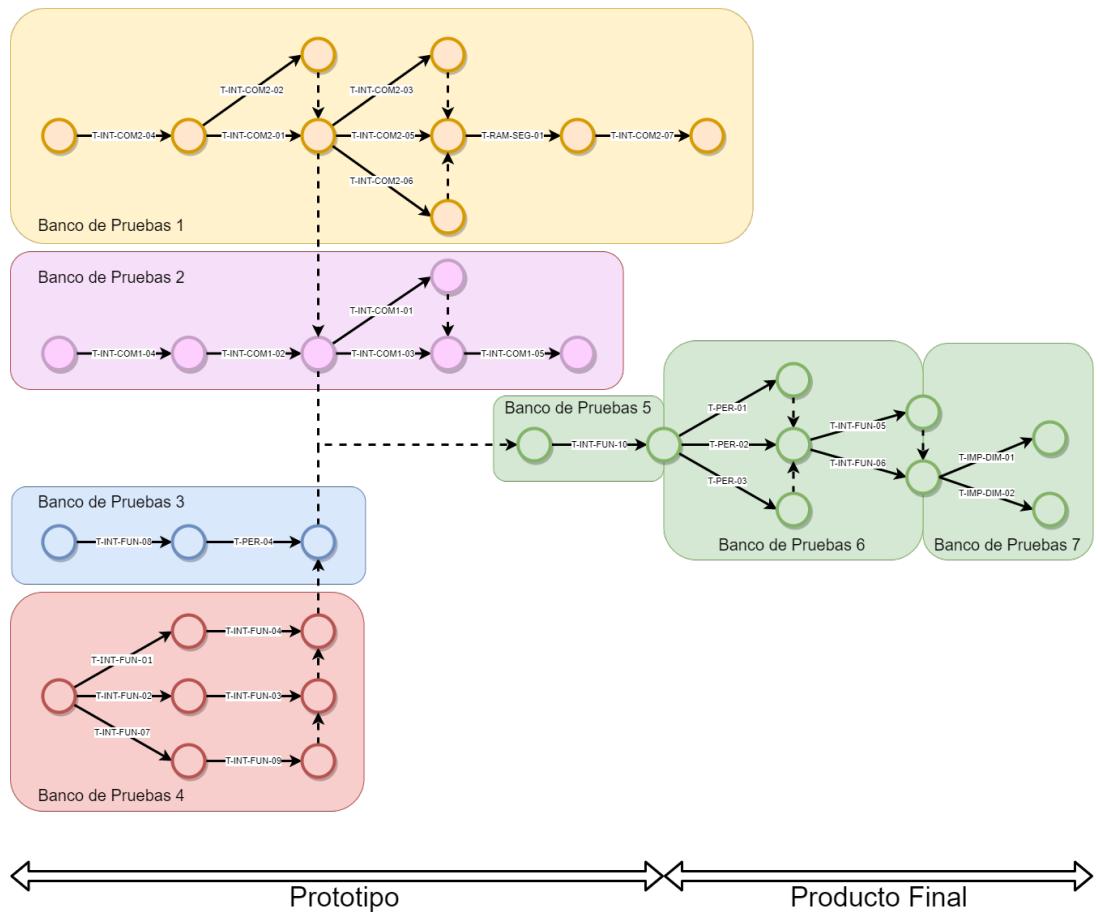


Figura 8.4.1: Diagrama de dependencias del plan de validación.

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.

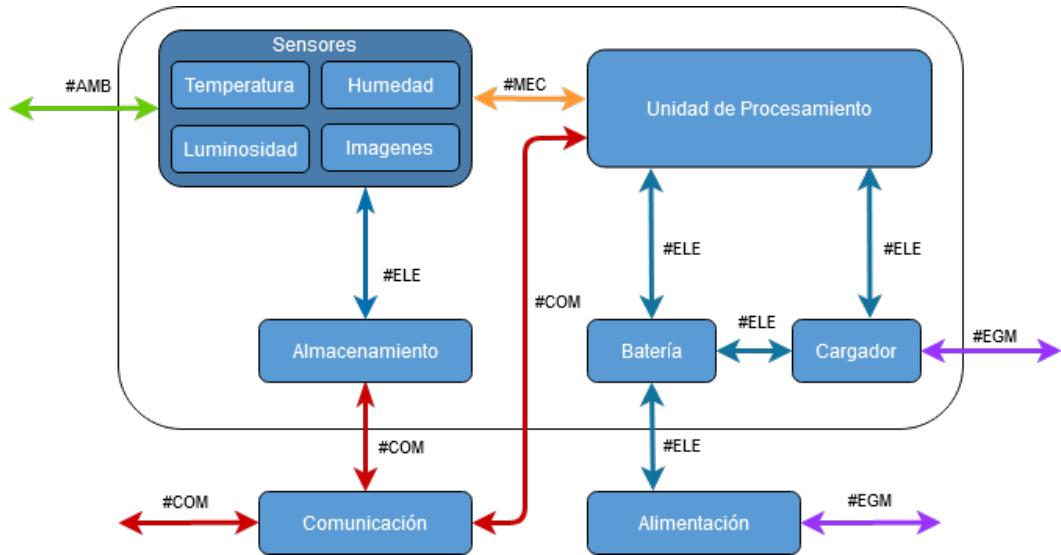


Figura 9.1.1.1: Diagrama modular del sistema.

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:

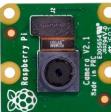
Aspectos comparativos	RPi-CMOD-V1	RPi-CMOD-V2	RPi-HQC	RPi-ZERO
Costo [USD]	25	25	50	20
Tamaño [mm]	25 x 24 x 9	25 x 24 x 9	38 x 38 x 18.4	8.6 x 8.6 x 5.2
Resolución de la cámara [MP]	5	8	12.3	5
Integración Linux	V4L2 driver	V4L2 driver	V4L2 driver	V4L2 driver
C API	OpenMAX IL y otras	OpenMAX IL y otras	-	-
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

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 antenas

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

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

y los últimos tres términos se denominan, en orden de aparición, término de campo lejano, campo cercano y campo reactivo. Como las distancias a la cual se debe transmitir potencia en la solución es de entre 32 y 64cm y el término de campo lejano depende únicamente de la inversa de la distancia, este será el cual más efecto tenga sobre la transmisión de potencia.

El campo lejano es utilizado para realizar todo tipo de telecomunicaciones hoy en día, por lo que nos centraremos en analizar la factibilidad del uso de antenas como nexo entre el nido, el campo electromagnético y la mochila del ave.

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.

$$P_r[dBm] = P_t[dBm] + Gt[dB] + Gr[dB] - L_{bf}[dB] - L_{cab}[dB] - L_{roe}[dB] - L_r[dB] \quad (2)$$

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

$$L_{bf} = 32.5dB + 20\log_{10}f[MHz] + 20\log_{10}R[km] \quad (3)$$

mientras que el resto de los datos se puede obtener por medio de la datasheet 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.

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 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.
- **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.

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 9.1.9.1: 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 9.1.9.2: Comparación entre antenas transmisoras (Parte 2).

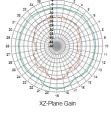
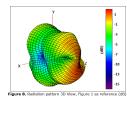
Aspectos comparativos	ANT-915-CPA	FXP290.07.0100A	NN01-105
Costo [USD]	3.9	15.39	3.53
Dimensiones [mm]	25 x 25 x 4	70 x 45 x 0.1	18 x 7.3 x 0.8
Frecuencia Central [MHz]	915	915	915
Impedancia [Ω]	50	50	50
Polarización	RHCP	Lineal	Lineal
Ganancia [dBi]	1.5	0.5	1.7
Eficiencia [%]	38	43	85
ROE	≤ 1.2	1.5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

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

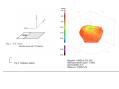
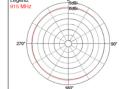
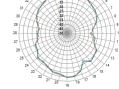
Aspectos comparativos	ANT1204F005R0915A	1513156-1	ANT-915-USP410
Costo [USD]	1.52	2.8	1.45
Dimensiones [mm]	12.20 x 4 x 1.6	38.1 x 6.6 x 1.57	13.2 x 9.1 x 2.9
Frecuencia Central [MHz]	915	915	915
Impedancia [Ω]	50	50	50
Polarización	Lineal	Lineal	Lineal
Ganancia [dBi]	1.59	1	0
Eficiencia [%]	-	88	27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

Tabla 9.1.9.4: 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. Finalmente el BJ-1750 cuenta 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-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
			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			5	2	2	20
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			5	2	3	30
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			5	1	4	20

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	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	Colocar una memoria de respaldo	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				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 Consideraciones

Se consideran que 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. Donde se observa tanto el tiempo mas probable como el optimista, y el pesimista.

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

9.2.3 Programación

Se produjo el diagrama de Gantt acorde a la tabla recién mostrada, y se marcó el camino crítico en rojo.

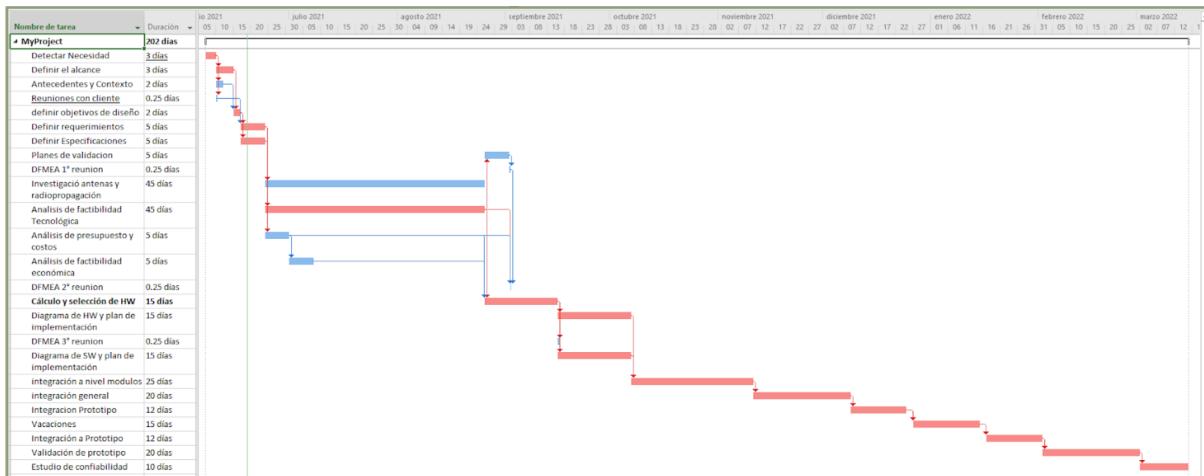


Figura 9.2.3.1: Diagrama de Gantt del proyecto.

Luego se realizó una simulación de montecarlo utilizando la distribución β para las variables aleatorias, obteniendo el siguiente gráfico donde se ve la probabilidad de terminar el proyecto en un intervalo de $1461 \sim 1937$ horas con una probabilidad del 95 %

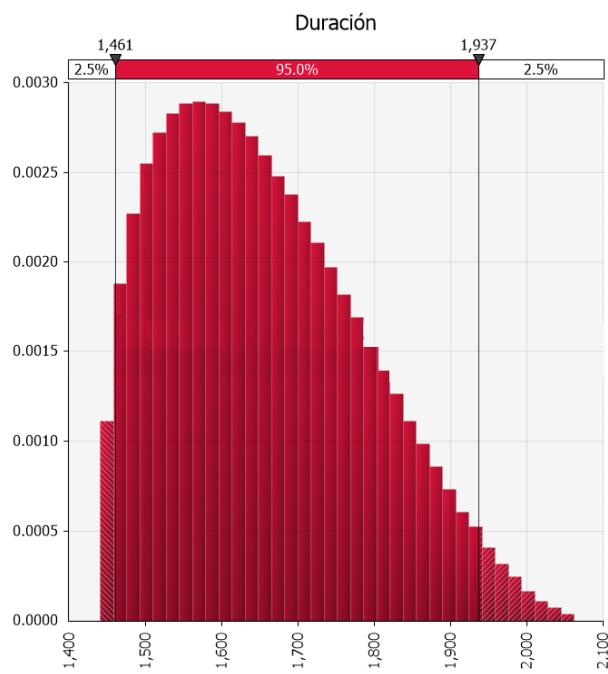


Figura 9.2.3.2: Simulación de montecarlo.

Esta distribución es el lapso de tiempo entre que se comienza el proyecto y se termina, a travez del camino crítico. La cantidad de horas de ingeniería por ingeniero se muestran a continuación, teniendo en cuenta la paralelización de actividades y que se dispone de 4 trabajadores.

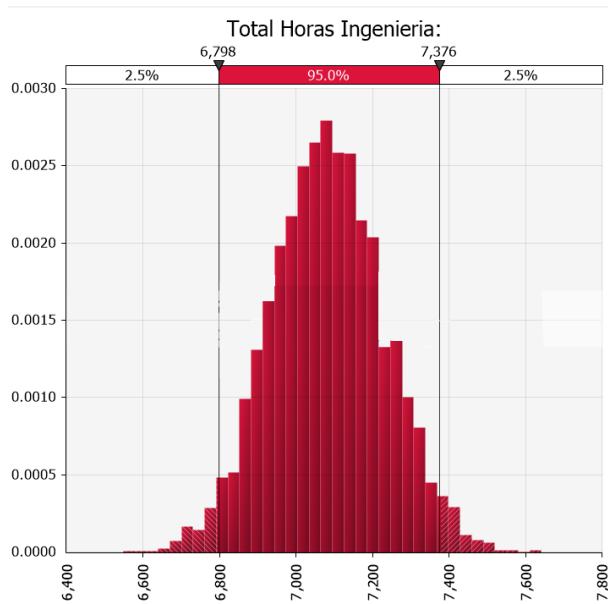


Figura 9.2.3.3: Simulación de montecarlo para tiempo de ingeniería.

Se puede observar que el timepo total de horas de ingeniería corresponde a un rango entre aproximadamente 6800 ~ 7400 horas.

9.3 Factibilidad económica

9.3.1 Modelo de Negocios

Este diseño se trata de un proyecto único, con posibilidad de realizar hasta X 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 (que será el valor agregado del proyecto). Se lo contempla al finalizar el proyecto.

9.3.2 Gastos e ingresos

Como gastos principales, se considera (TBD) Para la compra de los componentes, se suman los costos estimados previamente, más el resto de los componentes misceláneos (resistores, capacitores, etc.) para el diseño de los circuitos involucrados. Se estima de este modo un costo de componentes de (TBD) USD, a contabilizar una única vez. Como ingreso, se va 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 al finalizar, una ganancia del.

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 fluojogramas
- 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)