



Instituto Tecnológico
de Buenos Aires

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

SISTEMA INTEGRAL DE MONITOREO DE FAUNA SILVESTRE

AUTORES: Mechoulam, Alan (Leg. Nº 58438)
Lambertucci, Guido Enrique (Leg. Nº 58009)
Rodriguez Turco, Martín Sebastian (Leg. Nº 56629)
Londero Bonaparte, Tomás Guillermo (Leg. Nº 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)
	Londero Bonaparte, Tomás Guillermo	(58150)

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

Fecha:	23/06/2021
---------------	------------

1. Agradecimientos

(TBD)

2. Índice

2.1. Contenidos

1	Agradecimientos	1
2	Índice	2
2.1	Contenidos	2
2.2	Lista de Figuras	2
2.3	Lista de Tablas	2
3	Acrónimos y definiciones	4
4	Resumen	4
5	Introducción	4
5.1	Antecedentes	4
5.2	Contexto del proyecto	5
6	Objetivos	5
6.1	Finalidad del Proyecto	5
6.2	Planteamiento del Problema a Resolver	5
6.3	Alcance	6
7	Definición de Producto	6
7.1	Requerimientos del Cliente	6
7.1.1	Relevamiento de Datos	6
7.1.2	Requerimientos Finales para Trazabilidad	7
7.2	Diagrama Funcional de Interfaces	8
7.3	Especificaciones de Diseño	8
7.3.1	Especificaciones Funcionales	8
7.3.2	Especificaciones de Interfaz	10
7.3.3	Especificaciones de Performance	11
7.3.4	Especificaciones de Implementación	12
7.3.5	Especificaciones de Servicio (RAMS)	13
8	Plan de Validación	13
8.1	Diseño de Banco de Pruebas	13
8.2	Especificaciones de Test	15
8.3	Matriz de Trazabilidad de Validación	16
8.4	Plan de Verificación y Validación	18
9	Análisis de Factibilidad	18
9.1	Factibilidad tecnológica	18
9.1.1	Esquema modular	18
9.1.2	Propuesta de sensores	19
9.1.2.1	Temperatura	19
9.1.2.2	Humedad	20
9.1.2.3	Luminosidad	20
9.1.3	Propuesta de almacenamiento	20
9.1.4	Propuesta de comunicación	21
9.1.5	Propuesta de microprocesador	21
9.1.6	Propuesta de batería	22
9.1.7	Propuesta de cargador	22
9.1.8	Propuesta de alimentación	22
9.1.9	Propuesta de antenas	23
9.1.10	Elección de una solución	23
9.1.10.1	Sensores	23

9.1.10.2	Almacenamiento	24
9.1.10.3	Comunicación	24
9.1.10.4	Microprocesadores	24
9.1.10.5	Batería	24
9.1.10.6	Cargador	24
9.1.10.7	Alimentación	24
9.1.11	DFMEA	25
9.2	Factibilidad de tiempos	26
9.2.1	Planificación	26
9.2.2	Programación	26
9.3	Factibilidad legal y responsabilidad civil	26
10	Ingeniería de Detalle	26
10.1	Hardware	26
10.1.1	Diagrama de bloques (Hardware)	26
10.1.2	Descripción detallada de cada bloque	26
10.1.3	Detalles de selección y cálculo de los elementos circuitales de cada bloque	26
10.1.4	Plan de pruebas de cada modulo	26
10.2	Software	26
10.2.1	Diagrama de estados y flujogramas	26
10.2.2	Análisis de complejidad	26
10.2.3	Descripción de subrutinas	26
10.2.4	Listado de elementos del código	26
10.2.5	Plan de prueba de módulos y de depuración de Software	26
11	Software	26
12	Construcción del Prototipo	26
13	Validación del Prototipo	27
13.1	Validación del hardware	27
13.1.1	Plan y protocolos especiales de medición	27
13.1.2	Medidas	27
13.1.3	Evaluación	27
13.1.4	Resultados	27
13.2	Validación de software	27
14	Estudios de confiabilidad de hardware y de software	27
15	Conclusiones	27
15.1	Excelencias. Objetivos alcanzados	27
15.2	Fallos. Recomendaciones para futuros diseños	27
16	Referencias	28
17	Anexos Técnicos	28

2.2. Lista de Figuras

7.2.1	Diagrama Funcional de Interfaces.	8
8.4.1	Diagrama de dependencias del plan de validación.	18
9.1.1.1	Diagrama modular del sistema.	19

2.3. Lista de Tablas

7.1.2.1	Requerimientos de máxima.	7
7.3.1.1	Leyendas para las especificaciones.	8
7.3.1.2	Especificaciones funcionales (Parte 1).	9
7.3.1.3	Especificaciones funcionales (Parte 2).	9

7.3.1.4	Especificaciones funcionales (Parte 3).	10
7.3.2.1	Especificaciones de interfaz MEC.	10
7.3.2.2	Especificaciones de interfaz COM1.	10
7.3.2.3	Especificaciones de interfaz COM2.	11
7.3.3.1	Especificaciones de performance.	11
7.3.3.2	Especificaciones dimensionales y de peso.	12
7.3.4.1	Especificaciones de operación.	12
7.3.4.2	Especificaciones de almacenamiento y transporte.	12
7.3.5.1	Especificaciones de seguridad.	13
7.3.5.2	Especificaciones de mantenibilidad.	13
7.3.5.3	Especificaciones de disponibilidad.	13
7.3.5.4	Especificaciones de confiabilidad.	13
8.2.1	Tabla de plan de validación	15
8.3.1	Matriz de trazabilidad (Parte 1).	16
8.3.2	Matriz de trazabilidad (Parte 2).	17
9.1.2.1.1	Comparación entre sensores de temperatura.	19
9.1.2.2.1	Comparación de sensores de humedad.	20
9.1.2.3.1	Comparación de sensores de luminosidad.	20
9.1.3.1	Comparación entre memorias SD.	21
9.1.5.1	Comparación entre palcas Raspberry Pi.	21
9.1.6.1	Comparación entre baterías gel de carga profunda.	22
9.1.8.1	Comparación entre paneles solares.	22
9.1.11.1	DFMEA.	25
9.1.11.2	Criterio de IC.	26
9.1.11.3	Nivel de IC.	26

3. Acrónimos y definiciones

Acrónimo	Descripción
AMB	Ambiente
COM	Comunicación
EGM	Electromecánica
HW	Hardware
IC	Circuito Integrado
MEC	Mecánico
PV	Fotovoltaico (Photovoltaic)
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
TEG	Generador Termoeléctrico (Thermoelectric generator)

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 además 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 conservación 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 entrono, 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 ornitólogas, las cuales informaron de las necesidades del producto para llevar a cabo su investigación, dado que son nuestro único cliente principal.

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

7.1.2 Requerimientos Finales para Trazabilidad

ID	Descripción	Origen
REQ-01	El producto estará colgado de un árbol a una altura de 4 a 14 metros y se instalará parcialmente dentro del nido del ave.	Cliente
REQ-02	El producto debe poder mantenerse energizado sin intervención humana.	Cliente
REQ-03	El producto no debe requerir conexión a la red eléctrica para su funcionamiento.	Tácito
REQ-04	El producto debe ser capaz de adquirir los siguientes datos dentro del nido: Imágenes, temperatura, humedad y nivel de luz	Cliente
REQ-05	Un dispositivo ajeno al proyecto que irá sobre el ave debe poder transmitirle 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

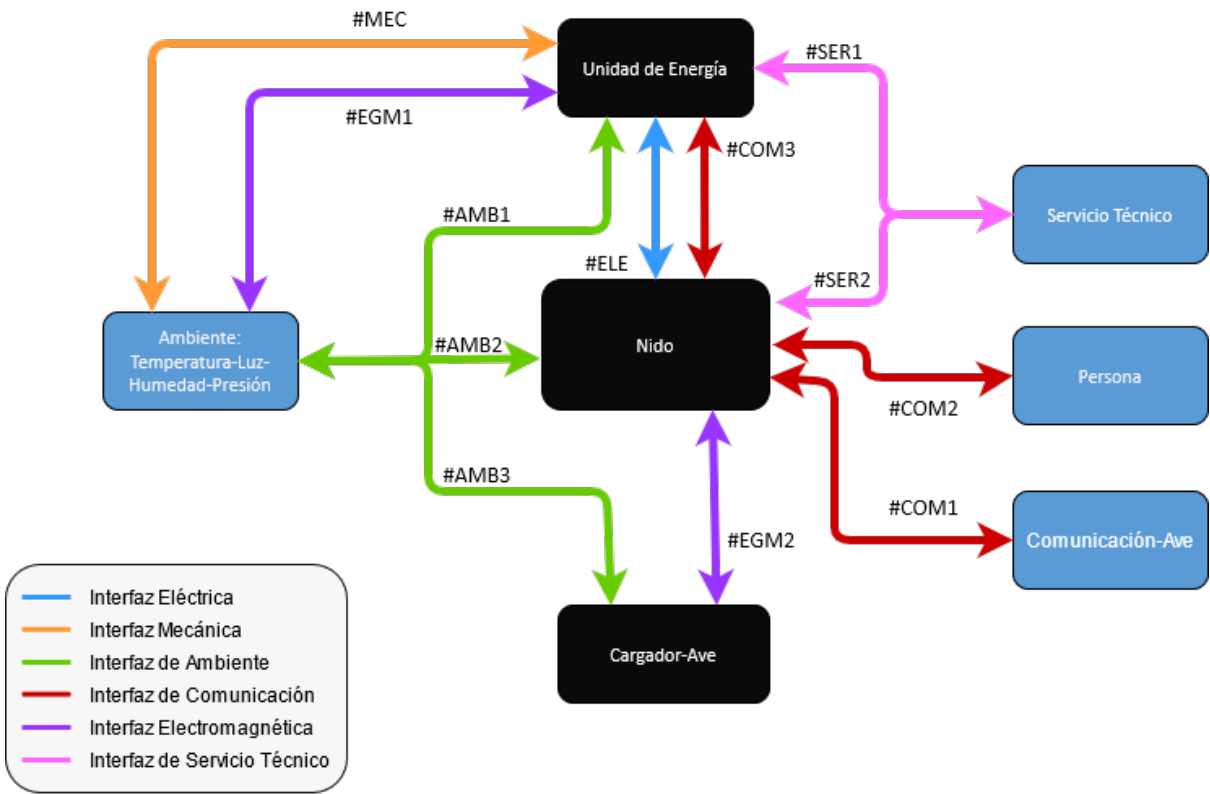


Figura 7.2.1: Diagrama Funcional de Interfaces.

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) GBy, 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: $0\% < RH < 100\%$.	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 $0\% < RH < 100\%$.	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 \pm (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 \pm (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 \pm (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 \pm (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 tension mínima menor a la optima 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 calibre/metro 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 cámara	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	INT-MEC-01	(TBC) T-IMP-DIM-01 T-IMP-DIM-01 T-IMP-DIM-02 T-IMP-DIM-02	
	El producto estará colgado de un árbol a (entre 4 y 14 metros) y se instalará parcialmente dentro del nido del ave.	INT-MEC-02 IMP-DIM-01 IMP-DIM-02 IMP-DIM-03 IMP-DIM-04		
Cliente	REQ 02	INT-FUN-02		T-INT-FUN-05
	El producto debe poder mantenerse energizado sin intervención humana.	INT-FUN-03 PER-02 PER-03 PER-04 INT-FUN-15		T-INT-FUN-06 T-PER-01 T-PER-02 T-PER-03 T-INT-FUN-10
Tácito	REQ 03	INT-FUN-02		T-INT-FUN-05
	El producto no debe requerir conexión a la red eléctrica para su funcionamiento	INT-FUN-03		T-INT-FUN-06
Cliente	REQ 04	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	
	El producto debe ser capaz de adquirir los siguientes datos dentro del nido: temperatura, humedad, luminosidad e imágenes.			
Cliente	REQ 05	INT-FUN-09	T-INT-COM1-05	
	Un dispositivo ajeno al proyecto que irá sobre el ave debe poder transmitirle los datos que adquirió durante el día al nido.	INT-COM1-01 INT-COM1-02 INT-COM1-03 INT-COM1-04	T-INT-COM1-01 T-INT-COM1-02 T-INT-COM1-03 T-INT-COM1-04	
Tácito	REQ 06	INT-FUN-01		
	El producto debe poder almacenar los datos adquiridos por el nido y el ave.			
Cliente	REQ 07	INT-FUN-08	T-INT-COM2-07	
	Una persona debe poder recibir los datos almacenados en el nido a la distancia.	INT-COM2-01 INT-COM2-03 INT-COM2-04 INT-COM2-05 INT-COM2-06 PER-04 RAM-SEG-03	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	
Cliente	REQ 08	INT-AMB-01		
	El producto no debe llamar la atención de humanos desde el nivel del piso.	INT-AMB-02		

Tabla 8.3.1: Matriz de trazabilidad (Parte 1).

Origen	REQ ID	ESP ID	TEST ID
	Descripción corta		
Tácito	REQ 09	IMP-DIM-01	T-IMP-DIM-01
	El producto o su instalación no debe dañar al árbol donde estará el nido.	IMP-DIM-02 IMP-DIM-03 IMP-DIM-04	T-IMP-DIM-01 T-IMP-DIM-02 T-IMP-DIM-02
Tácito	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	(TBC)
	El producto debe soportar las condiciones meteorológicas del sur Argentino, específicamente los alrededores de Bariloche, Rio Negro.		
Cliente	REQ 11	IMP-COS-01	
	El producto debe costar menos de 600 USD.	IMP-COS-02	
Estado	REQ 12	RAM-SEG-01	(TBC)
	El producto debe cumplir la norma (TBD) : seguridad eléctrica.	RAM-SEG-04	
Estado	REQ 13	INT-AMB-04	
	El producto debe cumplir la norma (TBD) : seguridad ambiental.		
Cliente	REQ 14	PER-01 INT-FUN-10	T-PER-04 T-INT-FUN-08
	El producto debe poder cargar las baterías del dispositivo del ave.		
Cliente	REQ 15	INT-AMB-01 INT-AMB-02 INT-AMB-03 INT-COM1-01 INT-COM1-03 INT-COM2-02 RAM-SEG-01	T-INT-COM1-01 T-INT-COM1-03 T-INT-COM2-02 (TBC)
	El producto no debe perturbar a las aves dentro del nido.		
Tácito	REQ 16	IMP-AYT-01 IMP-AYT-02 IMP-AYT-03 IMP-AYT-04	
	El producto desarmado debe soportar las condiciones de traslado impuestas por los caminos rurales hasta llegar a la zona de instalación.		
Tácito	REQ 17	INT-FUN-12 INT-FUN-13 INT-FUN-14	T-INT-FUN-03 T-INT-FUN-04 T-INT-FUN-09
	La tasa de adquisición de datos debe depender únicamente de las variables a medir.		
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

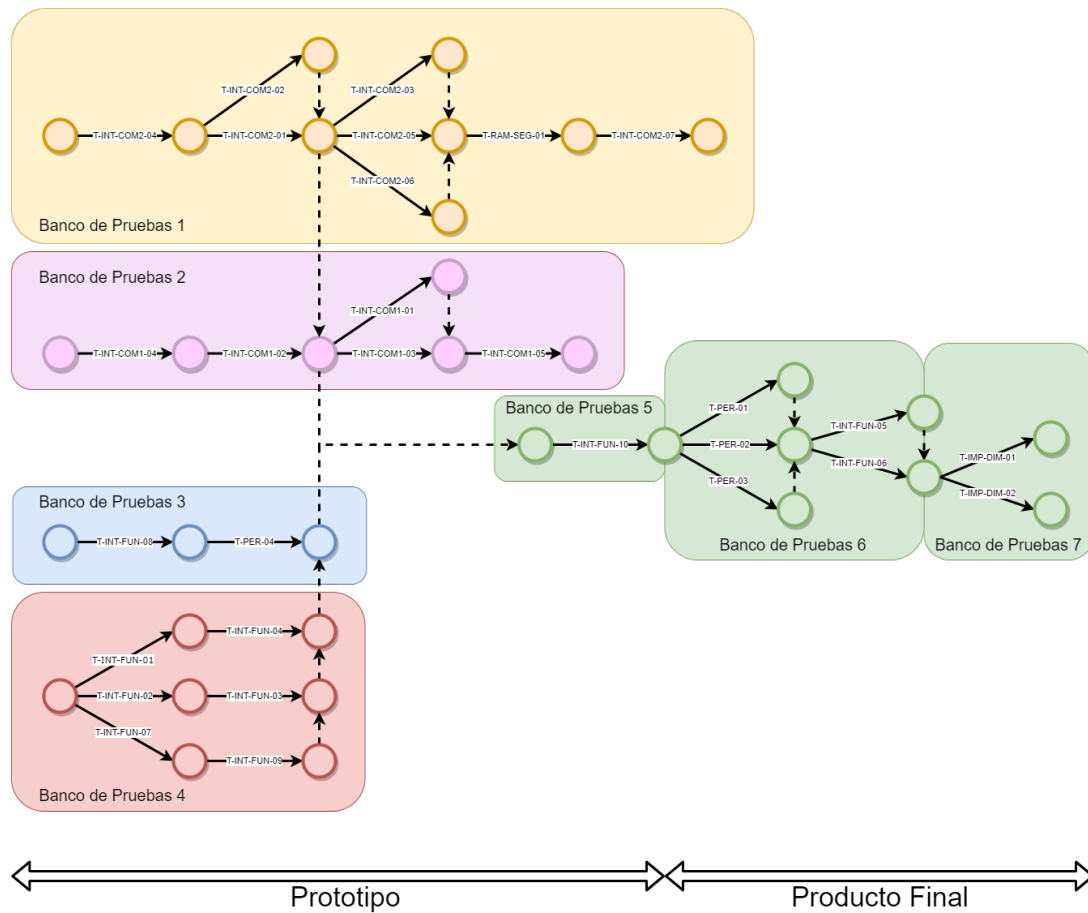


Figura 8.4.1: Diagrama de dependencias del plan de validación.

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.

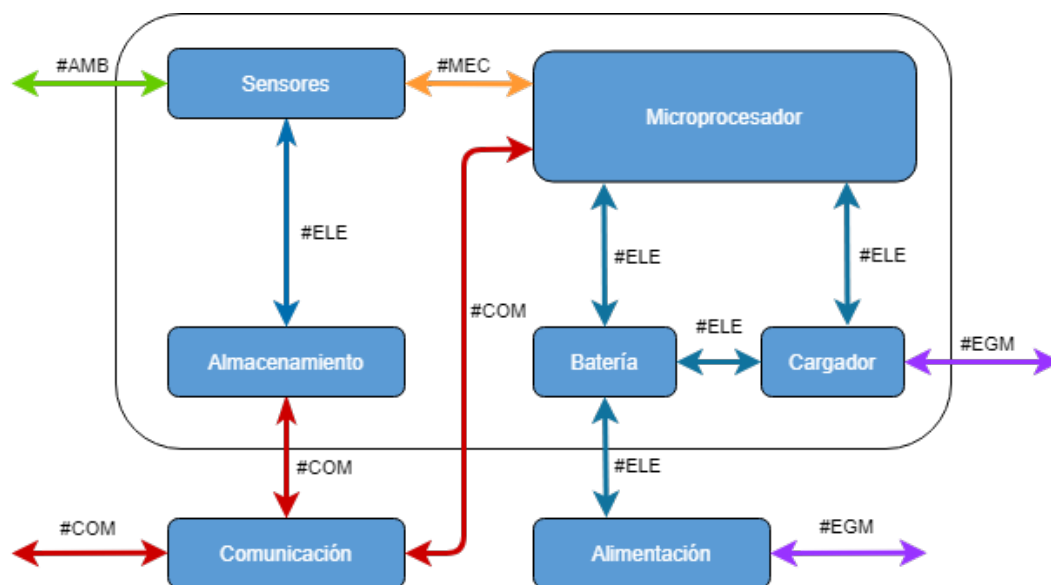


Figura 9.1.1.1: Diagrama modular del sistema.

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 la 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 [ARS]	700	780	200	740
Tipo de salida	Analógico	Analógico	Digital	Digital
Rango de operación [°C]	-40 ~ 1200	-50 ~ 200	-10 ~ 85	-40 ~ 80
Interfaz de conexionado	Se debe proporcionar un circuito amplificador	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 [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.

9.1.3 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 [ARS]	2100 ~ 3900	7900 ~ 15000	7600 ~ 17000
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 microprocesador

El microprocesador 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
Costo [ARS]	10400 ~ 17000	6000 ~ 7500	12440 ~ 14310
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 palcas 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	X ~ 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

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.