



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)
Rodriguez Turco, Martín Sebastian (Leg. N° 56629)
Lontero 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
SEGUNDO CUATRIMESTRE, 2022



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: 06/10/2021

1. Agradecimientos

(TBD)

2. Indice

2.1. Contenidos

1 Agradecimientos	1
2 Indice	2
2.1 Contenidos	2
2.2 Lista de Figuras	4
2.3 Lista de Tablas	5
3 Acrónimos y definiciones	6
4 Resumen	6
5 Introducción	7
5.1 Antecedentes	7
5.2 Contexto del proyecto	7
6 Objetivos	9
6.1 Finalidad del Proyecto	9
6.2 Planteamiento del Problema a Resolver	9
6.3 Alcance	9
7 Definición de Producto	10
7.1 Requerimientos del Cliente	10
7.1.1 Relevamiento de Datos	10
7.1.2 Requerimientos Finales para Trazabilidad	11
7.2 Diagrama Funcional de Interfaces	12
7.3 Especificaciones de Diseño	12
7.3.1 Especificaciones Funcionales	12
7.3.2 Especificaciones de Interfaz	13
7.3.3 Especificaciones de Dimensionales	14
7.3.4 Especificaciones de Implementación	14
8 Plan de Validación	15
8.1 Diseño de Banco de Pruebas	15
8.2 Especificaciones de Test	17
8.3 Matriz de Trazabilidad de Validación	18
8.4 Plan de Verificación y Validación	20
9 Análisis de Factibilidad	20
9.1 Factibilidad Tecnológica	20
9.1.1 Esquema Modular	20
9.1.2 Propuesta de Sensores	21
9.1.2.1 Temperatura	21
9.1.2.2 Humedad	22
9.1.2.3 Luminosidad	22
9.1.2.4 Imágenes	23
9.1.2.5 Modulo RTC	23
9.1.3 Propuesta de Almacenamiento	24
9.1.4 Propuesta de Unidad de Procesamiento	24
9.1.5 Propuesta de Batería	25
9.1.6 Propuesta de Alimentación	25
9.1.6.1 Carga MPPT batería principal	26
9.1.7 Propuesta de Abastecimiento de Energía de UBM	26
9.1.8 Elección de una Solución	26
9.1.8.1 Sensores	26

9.1.8.2	Almacenamiento	27
9.1.8.3	Unidades de procesamiento	27
9.1.8.4	Comunicación	27
9.1.8.5	Batería	27
9.1.8.6	Alimentación	28
9.1.9	Propuesta de Carga Inalámbrica de UBM	29
9.1.9.1	Planteamiento del Problema	29
9.1.9.2	Carga por Acoplamiento Magnético	29
9.1.9.3	Carga por Radiofrecuencia	30
9.1.9.4	Banda de Frecuencia Adoptada	30
9.1.9.5	Condiciones de Borde	31
9.1.9.6	Cargador	31
9.1.9.7	Amplificador de Potencia	33
9.1.9.8	Integrado de Energy Harvesting	33
9.1.9.9	Comparación entre Antenas	34
9.1.9.10	Conclusión Factibilidad de la Carga Inalámbrica	36
9.1.10	DFMEA	39
9.2	Factibilidad de Tiempos	41
9.2.1	Consideraciones	41
9.2.2	Planificación	41
9.2.3	Programación	42
9.3	Factibilidad Económica	43
9.3.1	Modelo de Negocios	43
9.3.2	Investigación y Desarrollo	44
9.3.3	Gastos fijos por unidad	44
9.3.4	Reserva de Contingencia	45
9.3.5	Escenario de escala	45
9.4	Factibilidad Legal y Responsabilidad Civil	45
10	Ingeniería de Detalle	45
10.1	Hardware	45
10.1.1	Diagrama de bloques (Hardware)	45
10.1.2	Descripción detallada de cada bloque	46
10.1.2.1	Potencia	46
10.1.2.2	Sensado	46
10.1.3	Detalles de selección y cálculo de los elementos circuitales de cada bloque	47
10.1.3.1	Cálculo potencias	47
10.1.3.2	Cálculo resistencias	48
10.1.3.3	Cálculo de memoria	48
10.1.4	Plan de pruebas de cada modulo	48
10.2	Software	49
10.2.1	Central de Control	49
10.2.2	Configuración Remota	50
10.2.3	Eventos Periodicos	50
10.2.4	Diagrama de estados y fluojogramas	51
10.2.5	Descripción de subrutinas	54
10.2.6	Listado de elementos del código	54
10.2.7	Plan de prueba de módulos y de depuración de Software	55
10.2.8	Interfaz gráfica de usuario	55
11	Construcción del Prototipo	58
11.1	Prototipo Nido- Carga Batería	58
11.2	Prototipo Mochila - Carga	59
11.3	Prototipo Mochila - Comunicación	59
12	Validación del Prototipo	59
12.1	Validación del hardware	59
12.1.1	Plan y protocolos especiales de medición	59
12.1.2	Medidas	59

12.1.3	Evaluación	59
12.1.4	Resultados	59
12.2	Validación de software	59
13	Estudios de Confiabilidad de Hardware y de Software	59
14	Conclusiones	59
14.1	Excelencias. Objetivos alcanzados	59
14.2	Fallos. Recomendaciones para futuros diseños	59
15	Referencias	60
16	Anexos Técnicos	61
16.1	Esquemáticos	61
16.2	Planos de PCB	65
16.3	Lista de materiales	65
16.3.1	Potencia	65
16.3.2	Sensores	65
16.3.3	Unidad de procesamiento	65
16.3.4	Cargador	66
16.3.5	Prototipo para pruebas	66
16.3.6	Miscláneo	66
16.4	Código de software	66
16.5	Hojas de datos	66
16.6	Hojas de Aplicación	66
16.7	Otra documentación técnica	66

2.2. Lista de Figuras

5.2.1	Imagen del ave.	8
5.2.2	Morfología nido.	8
7.2.1	Diagrama Funcional de Interfaces.	12
8.4.1	Diagrama de dependencias del plan de validación.	20
9.1.1.1	Diagrama modular del sistema.	21
9.1.8.5.1	Efectos de la temperatura en relación a la capacidad de la batería.	28
9.1.8.5.2	Ciclos de vida en relación a la profundidad de descarga.	28
9.1.9.6.1	Diagrama en bloques cargador.	32
9.1.9.6.2	Módulo utilizado como oscilador HM-TRPW-RS232.	32
9.1.9.6.3	Módulo utilizado como power harvester.	33
9.1.9.10.1	Potencia recibida en la antena Rx en función de la distancia entre antena Tx y antena Rx.	36
9.1.9.10.2	Potencia a la salida del P1110 en función de la distancia entre antena Tx y antena Rx.	37
9.1.9.10.3	Densidad de potencia radiada con 1.6 W en la antena transmisora según la fórmula de Friis.	37
9.1.9.10.4	Potencia a la salida del P1110 en función de la distancia entre antena Tx y antena Rx para 1.6 W en la antena transmisora.	38
9.2.3.1	Diagrama de Gantt del proyecto.	42
9.2.3.2	Simulación de Montecarlo.	42
9.2.3.3	Simulación de Montecarlo para tiempo de ingeniería.	43
9.3.1.1	Modelo de negocio.	44
10.1.1.1	Diagrama en bloques del sistema de hardware.	46
10.1.2.2.1	Conexionado Raspberry Pi.	47
10.1.2.2.2	Conexionado I^2C Multi-slave.	47
10.1.4.1	Plan de pruebas sensores.	49
10.2.1.1	Placa de desarrollo empleada.	49
10.2.1.2	Lenguaje empleado para el control del proyecto.	49
10.2.2.1	Tecnología de automatización Ansible.	50
10.2.3.1	Estructura de un cronjob.	50
10.2.4.1	Diagrama de estados.	51
10.2.4.2	Diagrama de flujo: Estado Initial.	51
10.2.4.3	Diagrama de flujo: Estado <i>Idle</i>	52

10.2.4.4	Diagrama de flujo: Estado <i>Charging</i>	53
10.2.4.5	Diagrama de flujo: Estado <i>Communicating</i>	54
10.2.8.1	Flujo de nodos del servidor.	55
10.2.8.2	Interfaz con usuario versión oscura.	56
10.2.8.3	Interfaz con usuario versión clara.	56
10.2.8.4	Página del servidor a la cual accede el usuario.	56
10.2.8.5	Datos de presencia y posición del ave.	56
10.2.8.6	Descarga de datos almacenados.	57
10.2.8.7	Configuración de la interfaz gráfica.	57
10.2.8.8	Foto tomada sin filtro de luminosidad.	58
10.2.8.9	Foto tomada con filtro de luminosidad.	58
10.2.8.10	Comparación entre el uso del filtro de luminosidad.	58
16.1.1	Esquemático de conexiónado.	61
16.1.2	Plano de la base del nido prototipo.	62
16.1.3	Plano de la base para la electrónica prototipo.	63
16.1.4	Plano de la tapa del nido prototipo.	64
16.1.5	Plano explotado del nido prototipo.	65

2.3. Lista de Tablas

5.2.1	Medidas del nido.	9
7.1.2.1	Requerimientos de máxima.	11
7.3.1.1	Leyendas para las especificaciones.	12
7.3.1.2	Especificaciones funcionales.	13
7.3.2.1	Especificaciones de interfaz COM1.	13
7.3.2.2	Especificaciones de interfaz COM2.	14
7.3.3.1	Especificaciones dimensionales y de peso.	14
7.3.4.1	Especificaciones de operación.	14
7.3.4.2	Especificaciones de almacenamiento y transporte.	15
7.3.4.3	Especificaciones de confiabilidad.	15
7.3.4.4	Especificaciones de seguridad.	15
8.2.1	Tabla de plan de validación	17
8.3.1	Matriz de trazabilidad (Parte 1).	18
8.3.2	Matriz de trazabilidad (Parte 2).	19
9.1.2.1.1	Comparación entre sensores de temperatura.	22
9.1.2.2.1	Comparación de sensores de humedad.	22
9.1.2.3.1	Comparación de sensores de luminosidad.	23
9.1.2.4.1	Comparación entre cámaras.	23
9.1.3.1	Comparación entre memorias SD.	24
9.1.4.1	Comparación entre paltas Raspberry Pi.	25
9.1.5.1	Comparación entre baterías gel de carga profunda.	25
9.1.6.1	Comparación entre paneles solares.	26
9.1.9.8.1	Comparación entre cargadores.	34
9.1.9.9.1	Comparación entre antenas transmisoras (Parte 1).	34
9.1.9.9.2	Comparación entre antenas transmisoras (Parte 2).	35
9.1.9.9.3	Comparación entre antenas receptoras (Parte 1).	35
9.1.9.9.4	Comparación entre antenas receptoras (Parte 2).	36
9.1.10.1	DFMEA (Parte 1).	39
9.1.10.2	DFMEA (Parte 2).	40
9.1.10.3	Criterio de IC.	41
9.1.10.4	Nivel de IC.	41
9.2.2.1	Actividades a realizar en el proyecto en días de 8 horas cada uno.	41
9.3.3.1	Valores de insumos.	44

3. Acrónimos y definiciones

Acrónimo	Descripción
AMB	Ambiente
BLE	Bluetooth Low Energy
COM	Comunicación
EGM	Electromecánica
HW	Hardware
IC	Circuito Integrado
GUI	Graphical user interface
ISM	Industrial, Scientific, Medical
ITU	International Telecommunication Union
MEC	Mecánico
R-Pi	Raspberry Pi
R/W	Lectura/Escritura (Read/Write)
RF	Radio Frecuencia
RFID	Radio Frequency Identification
RTC	Real Time Clock
RTD	Resistance Temperature Detector
ROE	Razón de Onda Estacionaria
Rx	Receptor
SER	Servicio Técnico
S.I.M.F.S.	Sistema Integral de Monitoreo de Fauna Silvestre
SW	Software
TBC	To Be Completed
TBD	To Be Determined
TC	Termocouple
Tx	Transmisor
UBN	Unidad de Batería del Nido
UBM	Unidad de Batería de la Mochila
UP	Unidad de Procesamiento
BT	Bluetooth

Término	Definición
UBN	La Unidad de Batería del Nido hace referencia a la batería que se encontrará en el nido, la cual será cargada a través de un panel solar y almacenará la energía de todo el módulo.
UBM	La Unidad de Batería de la Mochila es la batería que se encontrará en la mochila que dispondrá el ave.
RFID	Sistema inalámbrico de identificación y registro de datos compuesto por dos componentes. El <i>lector</i> emite ondas electromagnéticas con el fin de energizar el <i>tag</i> y enviar datos. El <i>tag</i> almacena momentáneamente esta energía para emitir una respuesta al <i>lector</i> .

4. Resumen

En este proyecto final de ingeniería se detalla el diseño del S.I.M.F.S., una plataforma de adquisición y almacenamiento de datos que reside dentro del nido de un ave durante la etapa de anidamiento. Esta plataforma es utilizada en un estudio de investigación de la especie *Campephilus Magellanicus*, mejor conocido como Carpintero Gigante, en conjunto a un dispositivo ajeno a este proyecto que se coloca sobre el mismo ave. El S.I.M.F.S., además, recibe mediante el protocolo Bluetooth los datos almacenados en aquel dispositivo, y permite mediante el protocolo de Wi-Fi la descarga de todos los datos almacenados en el sistema.

Luego se realiza una elección entre diversas tecnologías: para la alimentación del sistema en ausencia de una red eléctrica cercana, se utilizan paneles solares; para el auxilio de los paneles solares al caer la noche, se

utiliza una batería de gel de ciclo profundo; para la recolección de datos, distintos tipos de sensores; para el almacenamiento, una tarjeta SD de grado industrial; y finalmente para la unidad de procesamiento, una Raspberry Pi 3.

Se incurre en una investigación en el área de transmisión de potencia para analizar la factibilidad tecnológica de la recarga inalámbrica de las baterías del dispositivo ajeno al proyecto. Se estudia el tipo de acople electromagnético, la banda de frecuencia, se realiza un análisis de distinto tipo de antenas y un estudio de reglamentaciones legales. Se concluye que la mejor elección para la transmisión inalámbrica de potencia dadas las circunstancias del proyecto es el uso de radiofrecuencia de campo lejano en la banda de frecuencia centrada en 915 MHz con antenas del tipo patch. Sin embargo, el estudio de factibilidad dicta que no es posible dentro de las reglamentaciones legales obtener la potencia requerida dada la eficiencia conseguida dentro de las restricciones impuestas por la naturaleza del proyecto.

Observación: hablar del beacon aca

Se lleva a cabo la construcción de un prototipo sobre el cual se aplica el plan de validación, se realiza un estudio económico y legal del proyecto, y se construye continuamente un análisis modal de fallos y efectos.

5. Introducción

5.1 Antecedentes

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

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

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

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

Por último consideramos las opciones que se pueden conseguir en el mercado no profesional, destinadas para el uso hogareño: pequeños nidos de fácil instalación que poseen sensores variados. Sin embargo, no podría ser utilizado dado que el carpintero no es tomadera de nidos, sino que debe construir el propio.

5.2 Contexto del proyecto

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

El CIDEI-ITBA tiene la tarea de desarrollar la tecnología para la obtención de las variables físicas, tanto del vuelo y comportamiento de las aves, como de su entorno (nido y alrededores). El estudio de los patrones de alimentación y movimiento del ave en cuestión pueden alertar sobre diversos factores que están cambiando en el ambiente. En la actualidad no existe en el mercado un dispositivo que permita cumplir con los requerimientos para el relevo de los datos necesarios para la investigación, por lo que se trabajará junto al grupo de biólogos en su desarrollo. Las aves que se van a estudiar se llaman *Campephilus Magellanicus* "Carpinteros Gigantes", ellos son la especie de pájaro carpintero más grande de Sudamérica y de las más grandes del mundo.

Los carpinteros gigantes se encuentran sobre toda la zona andina y la patagonia. En nuestro caso el estudio se realizará en las cercanías de Bariloche. Los machos llegan a pesar hasta 360 gramos y las hembras 310.



Figura 5.2.1: Imagen del ave.

Durante los meses de primavera entran en lo que se llama periodo de anidación la hembra pone hasta 4 huevos. A lo largo de este periodo. el macho y la hembra se turnan para incubar a los huevos, los machos se harán cargo durante la noche (aproximadamente 6 a 8 horas) y durante el día se turna con la hembra.

Es fundamental saber que ellos actuaran de forma muy agresiva y territorial durante este periodo para proteger a su descendencia.

Un aspecto vital es conocer la morfología del nido, lugar donde irán los sensores del proyecto.

Debido a los hábitos de limpieza del ave, el único lugar factible para la posición de la electrónica resulta ser la bóveda del nido.

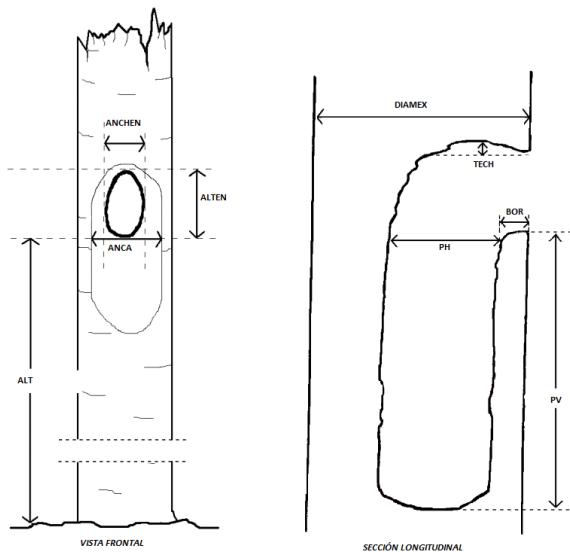


Figura 5.2.2: Morfología nido.

Variable	Media	Rango	Muestras
DIAMEX [cm]	45.56	33.74 ~ 71.94	26
ANCA [cm]	23.41	18.3 ~ 33	26
ALT [m]	8.68	3.3 ~ 17	27
ANCHEN [cm]	8.79	7.9 ~ 9.7	27
ALTEN [cm]	15.40	11.4 ~ 20	27
PV [cm]	32.52	21 ~ 44	27
PH [cm]	26.22	20 ~ 33	27
BOR [cm]	6.41	4 ~ 12	27
TECH [cm]	4.55	0 ~ 10	27

Tabla 5.2.1: Medidas del nido.

Además de esta información, se sabe que el grupo de investigadores irán cada 2 semanas a la base del nido para obtener la información recolectada por el dispositivo.

Finalmente cabe mencionar que este proyecto es complementario de otro ajeno a nosotros, el cual involucra una mochila que irá sobre el pájaro que contará con electrónica, algún medio de comunicación y una batería que debe ser recargada periódicamente. La información recolectada por dicha mochila debe ser transmitida al nido, almacenada para luego ser transmitida a los investigadores una vez por semana.

6. Objetivos

6.1 Finalidad del Proyecto

En este proyecto se busca desarrollar un equipo electrónico que permita a un grupo de ornitólogos del CONICET realizar un estudio sobre el ave *Campephilus Magellanicus*.

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 la conservación de ecosistemas. Esta última es de especial importancia, dado que las aves controlan las poblaciones de roedores e insectos, dispersan semillas que ayudan a la conservación de bosques, son fuente de alimento de otras especies y son indicadores de la calidad de un ecosistema.

6.2 Planteamiento del Problema a Resolver

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

Si bien existe un dispositivo que se encontrará montado sobre el ave, es necesario complementar con otro elemento que permita obtener 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 ornitólogos que, dos veces 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.

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 el requisito de lograr mantener energizado al sistema (dispositivo en el nido y dispositivo sobre el ave) sin intervención humana durante todo el periodo de anidamiento del ave, sin la posibilidad de una conexión a la red eléctrica.

6.3 Alcance

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

Además, se analizará la factibilidad de cargar de manera inalámbrica la UBM colocada sobre el pájaro. En una primer instancia, se buscará lograr dicha carga a través de RF, mientras el ave se encuentre en el nido. En caso de que el estudio de factibilidad tecnológica dicte que no sea viable la carga inalámbrica, se deberá garantizar el abastecimiento energético de la UBM cumpliendo aún con los requisitos de recolección de información, peso, dimensiones y transmisión de información de esta.

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 utilizando paneles solares para recolectar energía y baterías para almacenarla.

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

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

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

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 datos al nido mediante protocolo Bluetooth.	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 debe soportar las condiciones meteorológicas del sur Argentino, específicamente los alrededores de Bariloche, Rio Negro.	Tácito
REQ-10	El costo del producto debe ser menor o igual a 1000 USD.	Tácito
REQ-11	Analizar la factibilidad tecnológica de la recarga inalámbrica de la batería de la mochila del pájaro.	Cliente
REQ-12	El producto desarmado debe soportar las condiciones de translado impuestas por los caminos rurales hasta llegar a la zona de instalación.	Estado
REQ-13	La vida útil del producto deberá ser de por lo menos 2 años.	Estado
REQ-14	Se debe garantizar el abastecimiento energético de la mochila del pájaro por una duración de tres a cuatro meses posterior a la intervención en el nido y el pájaro para la instalación del proyecto.	Cliente

Tabla 7.1.2.1: Requerimientos de máxima.

7.2 Diagrama Funcional de Interfaces

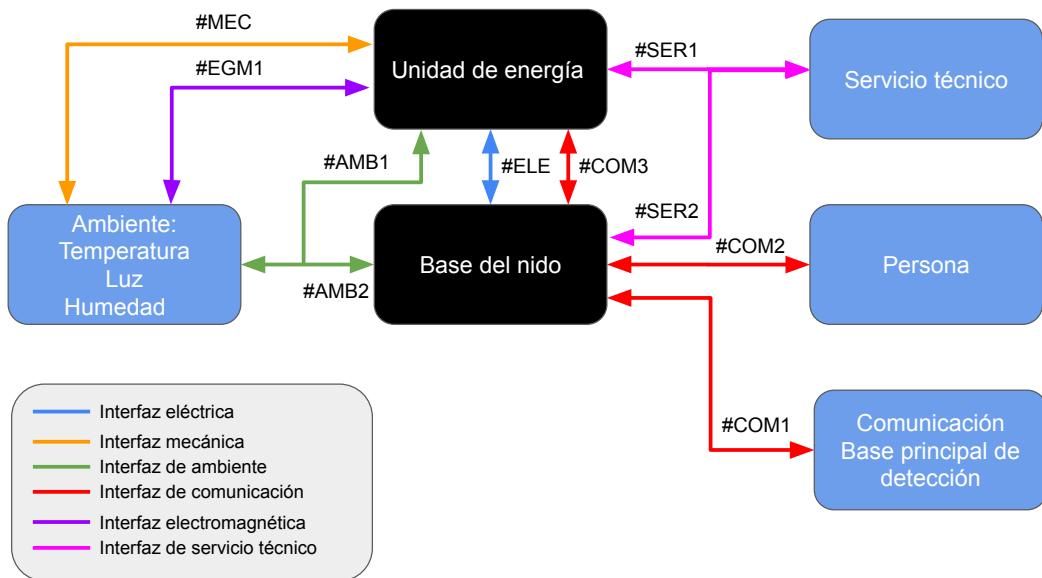


Figura 7.2.1: Diagrama Funcional de Interfaces.

7.3 Especificaciones de Diseño

7.3.1 Especificaciones Funcionales

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

Tabla 7.3.1.1: Leyendas para las especificaciones.

Observación: VERIFICAR CORRELACIÓN CON REQUERIMIENTOS

ID	Descripción	Origen	Aplicabilidad Validación
INT-FUN-01	El dispositivo deberá tener un espacio de almacenamiento de datos de por lo menos 32 GB, equivalente a la suma de los datos adquiridos en el nido y por el dispositivo del ave a lo largo de siete días.	REQ-06	P F - D
INT-FUN-02	El producto debe ser capaz de obtener la temperatura del entorno.	REQ-04	P F - I D T
INT-FUN-03	El producto debe ser capaz de obtener la humedad del entorno.	REQ-04	P F - I D T
INT-FUN-04	El producto debe ser capaz de obtener la intensidad luínica del interior del nido.	REQ-04	P F - I D T
INT-FUN-05	El producto debe ser capaz de obtener imágenes del interior del nido.	REQ-04	P F - I D T
INT-FUN-06	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-07	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-08	Determinar, dentro de las limitaciones tecnológicas, financieras, legales y morales, además de los requisitos energéticos de la mochila, si es posible la recarga inalámbrica de las baterías de la mochila.	REQ-11	P F - I D T
INT-FUN-09	Garantizar el abastecimiento energético de la mochila del pájaro por una duración de cuatro a cinco meses posterior a la intervención en el nido y el pájaro para la instalación del proyecto.	REQ-14	P F - I D T
INT-FUN-10	El sistema obtendrá valores del sensor de temperatura cada 20 minutos.	REQ-04	P F - I D T
INT-FUN-11	El sistema obtendrá valores del sensor de humedad cada 20 minutos.	REQ-04	P F - I D
INT-FUN-12	El sistema obtendrá valores del sensor de luminosidad cada 20 minutos.	REQ-04	P F - I D T
INT-FUN-13	El sistema obtendrá imágenes cada 30 minutos.	REQ-04	P F - I D T
INT-FUN-14	El sistema utilizará (TBD) paneles solares para cargar una batería de gel de ciclo profundo.	REQ-02	P F - I D T

Tabla 7.3.1.2: Especificaciones funcionales.

7.3.2 Especificaciones de Interfaz

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 equivalentes a los últimos (TBD) minutos de recolección.	REQ-05	P F - I D T
INT-COM1-02	La transmisión de datos deberá tener un alcance mínimo de 50 cm y un alcance máximo de 1m.	REQ-05	P F - I D T
INT-COM1-03	La transmisión de datos deberá comenzar cuanto el dispositivo del ave se encuentre dentro del alcance (siendo esto avisado por una señal ajena a nuestro desarrollo).	REQ-05	P F - I D T
INT-COM1-04	La transmisión de datos deberá efectuarse por medio del protocolo BLE.	REQ-05	P F - I D T

Tabla 7.3.2.1: 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 15 a 20 metros.	REQ-07	P F - I D T
INT-COM2-03	La transmisión de datos será inicializada en las horas diurnas.	REQ-07	P F - I D T
INT-COM2-04	La transmisión de datos deberá efectuarse por medio del protocolo WiFi.	REQ-07	P F - I D T
INT-COM2-05	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-COM2-06	Se le indicará a la persona que los datos fueron transmitidos al finalizar dicho proceso.	REQ-07	P F - I D T

Tabla 7.3.2.2: Especificaciones de interfaz COM2.

7.3.3 Especificaciones de Dimensionales

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	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	F - I D T
IMP-DIM-03	El equipo dentro del nido no deberá exceder los (TBD) gramos.	REQ-01	F - I D T
IMP-DIM-04	La unidad de energía no deberá exceder los (TBD) kilos.	REQ-01	F - I D T

Tabla 7.3.3.1: Especificaciones dimensionales y de peso.

7.3.4 Especificaciones de Implementación

ID	Descripción	Origen	Aplicabilidad Validación
IMP-OPE-01	El sistema deberá poder operar normalmente cuando la temperatura ambiente sea $-20^{\circ}\text{C} < T_{\text{AMB}} < 30^{\circ}\text{C}$.	REQ-09	F - I D
IMP-OPE-02	Deberá poder operar normalmente cuando la humedad sea: $0\% < RH < 100\%$	REQ-09	F - I D
IMP-OPE-03	El dispositivo deberá poder operar normalmente cuando la presión atmosférica sea: $84 \text{ kPa} < P_{\text{ATM}} < 90 \text{ kPa}$. Esto equivale a 1500 m de altura para el mínimo de presión, y un máximo de 0 m.	REQ-09	F - I D

Tabla 7.3.4.1: Especificaciones de operación.

ID	Descripción	Origen	Aplicabilidad Validación
IMP-AYT-01	No se deberán sufrir daños cuando, estando desenergizado, la temperatura ambiente sea $-20^{\circ}\text{C} < T_{\text{AMB}} < 40^{\circ}\text{C}$.	REQ-09	P F - I D
IMP-AYT-02	No se deberán sufrir daños cuando, estando desenergizado, la humedad sea $0\% < \text{RH} < 100\%$.	REQ-09	P F - I D
IMP-AYT-03	No se deberán sufrir daños cuando, estando desenergizado, la presión atmosférica sea $84 \text{ kPa} < P_{\text{ATM}} < 101 \text{ kPa}$.	REQ-09	P F - I D

Tabla 7.3.4.2: Especificaciones de almacenamiento y transporte.

ID	Descripción	Origen	Aplicabilidad Validación
RAM-CON-01	El producto deberá tener una vida útil no menor a 2 años.	REQ-13	P F - D

Tabla 7.3.4.3: Especificaciones de confiabilidad.

ID	Descripción	Origen	Aplicabilidad Validación
RAM-SEG-01	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
RAM-SEG-02	El dispositivo no poseerá luces ni elementos reflectantes para no ser percibido.	REQ-08	F - I D T

Tabla 7.3.4.4: Especificaciones de seguridad.

8. Plan de Validación

8.1 Diseño de Banco de Pruebas

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

Banco de pruebas 1:

- El dispositivo contará con una manera de desacoplar la alimentación principal y permitir la alimentación de los módulos a través de una fuente regulable de (TBD) V.
- Se contará con un banco de datos conocidos que puedan ser constatados en el receptor (nido).
- Se acercará un dispositivo que emula la mochila que permita activar la comunicación COM2.
- Se analizará la memoria del nido para constatar la correcta transmisión.

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.
- Se contará con un banco de datos conocidos que puedan ser constatados en el receptor (persona).
- Se acercará un dispositivo que permita activar la comunicación COM1.
- Se verificará la memoria del dispositivo de la persona para constatar la correcta transmisión.

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.
- 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.

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.
- Se tendrán sensores calibrados para las magnitudes físicas a medir para comparar la precisión de estos.
- Se analizará la memoria del nido para constatar la correcta medición de los datos, comparando los intervalos de tiempo entre los datos.

Banco de pruebas 5:

- 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 6:

- Se medirá el espacio que ocupe el sistema.
- Se medirá el peso total del sistema.
- (TBC)

8.2 Especificaciones de Test

Aspecto	ID del test
Adquisicion de datos de temperatura	T-INT-FUN-01
Adquisicion de datos de luminosidad	T-INT-FUN-02
Adquisicion de datos de humedad	T-INT-FUN-03
Adquisicion de imagenes	T-INT-FUN-04
Periodo activación sensor temperatura	T-INT-FUN-05
Periodo activación sensor luminosidad	T-INT-FUN-06
Periodo activación sensor humedad	T-INT-FUN-07
Periodo activación de la cámara	T-INT-FUN-08
Recuperación ante pérdida de alimentación	T-INT-FUN-09
Tiempo de carga inalambrica	T-INT-FUN-10
Recolección de energía en condiciones similares a las de instalacion	T-INT-FUN-11
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 una altura de 4 a 14 metros y se instalará parcialmente dentro del nido del ave.	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
Cliente	REQ 02 El producto debe poder mantenerse energizado sin intervención humana.	INT-FUN-14	T-INT-FUN-09 T-INT-FUN-11
Tácito	REQ 03 El producto no debe requerir conexión a la red eléctrica para su funcionamiento	INT-FUN-14	T-INT-FUN-09 T-INT-FUN-11
Cliente	REQ 04 El producto debe ser capaz de adquirir los siguientes datos dentro del nido: temperatura, humedad, luminosidad e imágenes.	INT-FUN-02 INT-FUN-03 INT-FUN-04 INT-FUN-05	T-INT-FUN-01 T-INT-FUN-02 T-INT-FUN-03 T-INT-FUN-04
Cliente	REQ 05 Un dispositivo ajeno al proyecto que irá sobre el ave debe poder transmitirle datos al nido mediante protocolo Bluetooth.	INT-FUN-06 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

Tabla 8.3.1: Matriz de trazabilidad (Parte 1).

Origen	REQ ID	ESP ID	TEST ID
	Descripción corta		
Cliente	REQ 07 Una persona debe poder recibir los datos almacenados en el nido a la distancia.	INT-FUN-06 INT-COM2-01 INT-COM2-02 INT-COM2-03 INT-COM2-04 INT-COM2-05 INT-COM2-06 RAM-SEG-01	T-INT-COM2-07 T-INT-COM2-01 T-INT-COM2-02 T-INT-COM2-03 T-INT-COM2-04 T-INT-COM2-05 T-INT-COM2-06 T-RAM-SEG-01
Cliente	REQ 08 El producto no debe llamar la atención de humanos desde el nivel del piso.	RAM-SEG-02	(TBC)
Táctico	REQ 09 El producto debe soportar las condiciones meteorológicas del sur Argentino, específicamente los alrededores de Bariloche, Rio Negro.	IMP-OPE-01 IMP-OPE-02 IMP-OPE-03 IMP-AYT-01 IMP-AYT-02 IMP-AYT-03	(TBC) (TBC) (TBC) (TBC) (TBC) (TBC)
Táctico	REQ 10 El costo del producto debe ser menor o igual a 1000 USD.	IMP-COS-01	(TBC)
Cliente	REQ 11 Analizar la factibilidad tecnológica de la recarga inalámbrica de la batería de la mochila del pájaro.	INT-FUN-08	T-INT-FUN-10
Estado	REQ 12 El producto desarmado debe soportar las condiciones de translado impuestas por los caminos rurales hasta llegar a la zona de instalación.	IMP-AYT-01 IMP-AYT-02 IMP-AYT-03	(TBC) (TBC) (TBC)
Estado	REQ 13 La vida útil del producto deberá ser de por lo menos 2 años.	RAM-CON-01	(TBC)
Estado	REQ 14 Se debe garantizar el abastecimiento energético de la mochila del pájaro por una duración de tres a cuatro meses posterior a la intervención en el nido y el pájaro para la instalación del proyecto.	INT-FUN-09	(TBC)

Tabla 8.3.2: Matriz de trazabilidad (Parte 2).

8.4 Plan de Verificación y Validación

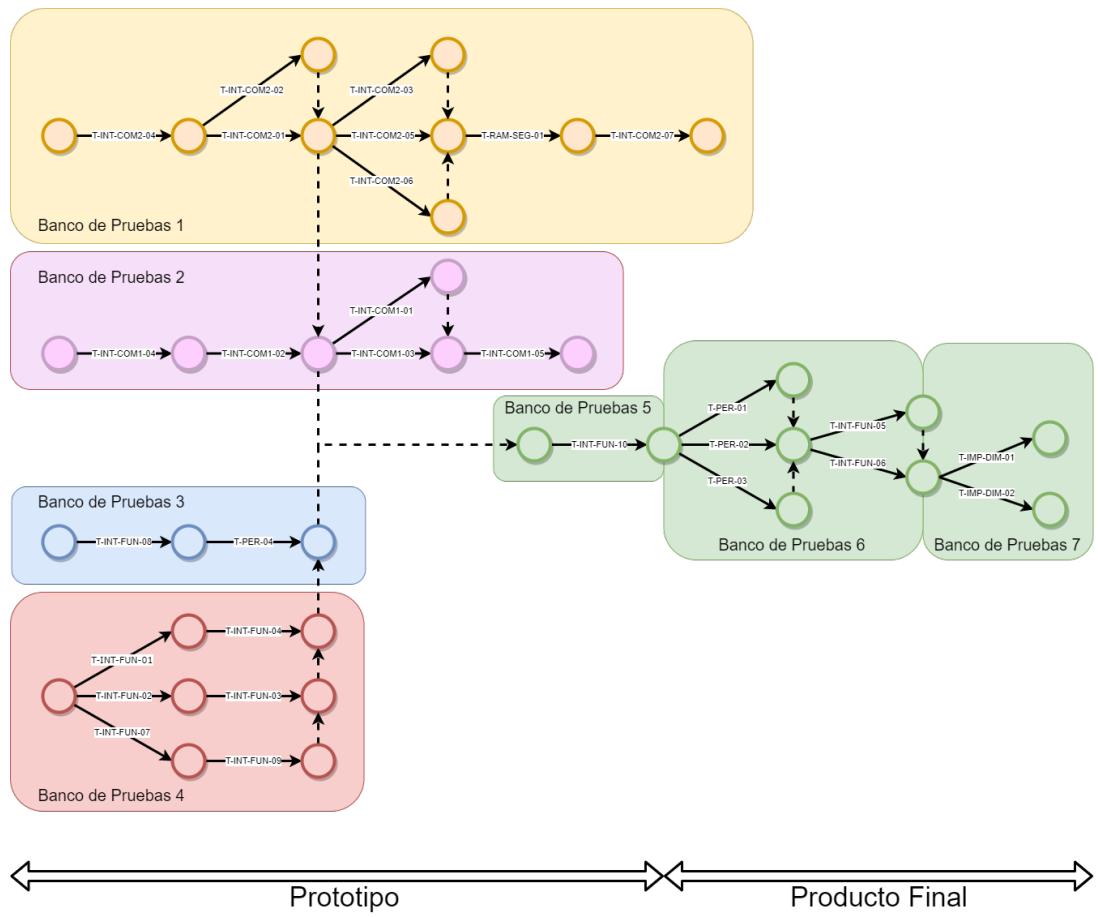


Figura 8.4.1: Diagrama de dependencias del plan de validación.

9. Análisis de Factibilidad

9.1 Factibilidad Tecnológica

9.1.1 Esquema Modular

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

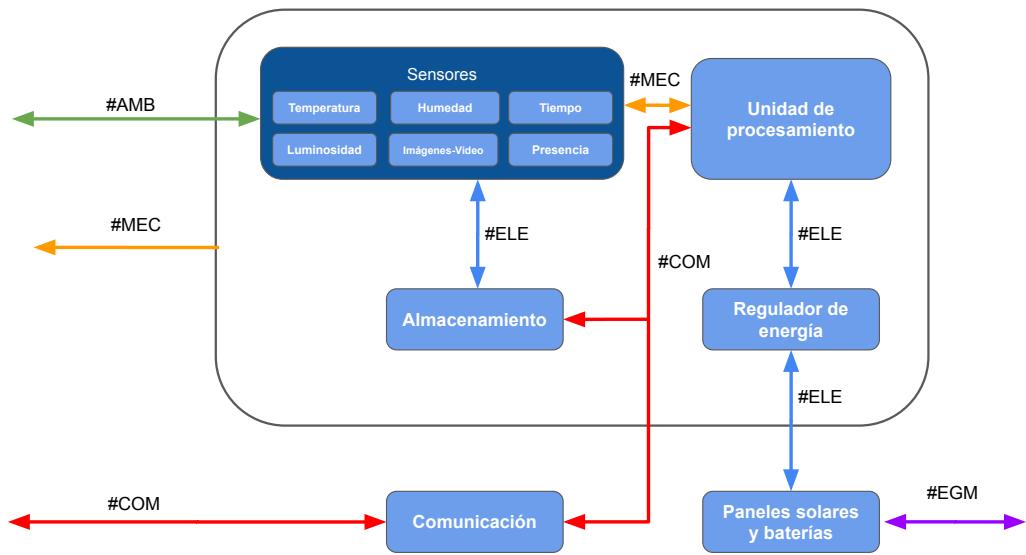


Figura 9.1.1.1: Diagrama modular del sistema.

9.1.2 Propuesta de Sensores

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

9.1.2.1 Temperatura

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

Aspectos comparativos	TC-K	PT-100	Ds18b20	DHT-22
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]	-	100	-	75
Tipo de salida	I2C	Analógica (Corriente)	Analógica (Tensión)	Analógica Digital
Aplicación	-	Necesita un amplificador de corriente	-	-
Tensión de alimentación [V]	2.4~3.6	< 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 como de video, 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 NoIR V2	RPi-ZERO C
Costo [USD]	25	25	30	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	8	5
Integración Linux	V4L2 driver	V4L2 driver	V4L2 driver	V4L2 driver
Capacidad nocturna	No	No	Si	No
Peso [g]	3	3.4	12	1.1
Sensor	OmniVision OV5647	Sony IMX219	Sony IMX219	OV5647
Temperatura de operación [°C]	-25~80	-25~80	-25~80	-25~80
Imagen				

Tabla 9.1.2.4.1: Comparación entre cámaras.

9.1.2.5 Modulo RTC

Es fundamental contar con un método para conocer la fecha y hora de manera confiable. Tanto como para saber en que momento fueron tomadas las mediciones como así también saber en que momentos habilitar el hotspot wifi. Teniendo esto en cuenta se proponen los siguientes módulos:

Aspectos comparativos	Ds3231	Ds1302	Ds1307
Costo [USD]	2.33	0.81	1.37
Temperatura de Operación	-40 ~85	-40 ~85	-40 ~85
Rango de tensiones	2.3 ~5.5	2 ~5.5	4.5~5.5
Protocolo de Comunicación	I2C	SPI	I2C
Precisión	3.5ppm	-	-
Imagen			

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	22
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 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 3B
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 9.1.4.1: Comparación entre placas Raspberry Pi.

9.1.5 Propuesta de Batería

Para la elección de las baterías, se evaluaron unidades de tecnología de gel de carga profunda.

Aspectos comparativos	Kijo Serie JDG	Ultracell UL24-12	Fenk JS12-20	Probattery BVLA-12280E-CPB
Costo [ARS]	30500 ~ X	25800	6365 ~ 8744	24300
Temperatura de operación [°C]	-20 ~ 50	0 ~ 40	-20 ~ 50	0 ~ 40
Tensión nominal [V]	12	12	12	12
Capacidad nominal [Ah]	33 ~ 250	24	13.2 ~ 20.0	28
Dimensiones (máximas) [mm]	520 x 268 x 220	166.5 x 175 x 125	181 x 77 x 167	166 x 175 x 125
Peso [kg]	10 ~ 61	7.2	5.45	11.467
Porcentaje de autodescarga (mensual a 25 °C)	3 %	- %	3 %	- %
Imagen				

Tabla 9.1.5.1: Comparación entre baterías gel de carga profunda.

9.1.6 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 9.1.6.1: Comparación entre paneles solares.

9.1.6.1 Carga MPPT batería principal

En cuanto a la carga de la batería principal a partir de los paneles solares se tuvieron en cuenta los siguientes integrados

Aspecto comparativo	DFR0580	P1698	CN3306
Costo [USD]	18	26	11
Temperatura de operación	-40°C ~ 85°C	-35°C ~ 60°C	-40°C ~ 85°C
Tensión de operación [V]	6.6 ~ 30	12 / 24	4.5 ~ 32
Tecnología de batería	Lead-Acid	Lead-Acid	Multi-Chemistry
Máxima corriente salida [A]	4	2/10	1.5
MPPT	Si	No	Si
Imagen			

9.1.7 Propuesta de Abastecimiento de Energía de UBM

Observación: hablar aca sobre el beacon

9.1.8 Elección de una Solución

9.1.8.1 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 V_{dd} . Este también provee con una salida digital, pero esta funciona como un schmitt trigger.

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

Luego para el módulo RTC se tomó un módulo que tenga I2C, y que cuyo rango de alimentación se encuentre entre 3.3 y 5 V, por lo que se opta por el DS3231. Finalmente, para la cámara que obtendrá las imágenes y el video, se valoró la relación precio-resolución de la cámara, al igual que la integración con Linux, aunque el factor que más contribuyó a la elección fue que la cámara elegida tenga la capacidad de funcionar incluso en malas condiciones de iluminación, dado que dentro del nido del carpintero hay un nivel de luz bajo. Por estos factores se optó por utilizar la RPi NoIR V2.

9.1.8.2 Almacenamiento

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

Dado que se recolectará un volumen de datos del que no se tiene una gran certeza, debido a que una parte será lo que provenga de la mochila, se estima en función de los datos del nido y del periodo de activación de los sensores, que una memoria de 16 GB es suficiente incluso si aumenta el volumen de datos.

9.1.8.3 Unidades de procesamiento

Para este módulo se opta por la Raspberry Pi 3B, ya que posee Bluetooth BLE (Bluetooth Low Energy), es el dispositivo más económico, más pequeño y cuenta con soporte para micro SD.

En cuanto las temperaturas de funcionamiento, este dispositivo se encuentra dentro del rango necesario. Además, los módulos Raspberry Pi trabajan entre 20 °C y 30 °C por encima de la temperatura ambiente debido a su autocalentamiento. También es sabido que los integrados R-Pi pueden llegar a soportar temperaturas extremas, tales como las que se dan en la Antártida [11].

Además, este dispositivo seleccionada se caracteriza por ser compatible con la cámara seleccionada sin de adaptadores.

9.1.8.4 Comunicación

En cuanto a la comunicación se utilizará BLE para la conexión con el ave, y WiFi para la comunicación con un tercero. Ambos de estos se encuentran disponibles para su uso en el módulo Raspberry Pi 3B.

9.1.8.5 Batería

La batería a emplear queda determinada en función del consumo del sistema y de la energía que se deba almacenar en caso de emergencias.

Los consumos de potencia de las partes del sistema se detallan en la Sección 10.1.3.

De esta forma, para alimentar tanto a los sensores como a la R-Pi en un día se requieren 151.2 kJ. Con una batería de 21 Ah de capacidad se consigue la especificación mencionada, por lo que se opta por la batería UL24-12 de Ultracell ya que la batería de Probattery es mucho más pesada.

Cabe notar que los 24 Ah de la batería seleccionada son nominales, por lo que se debe calcular la capacidad real (la cual será ligeramente menor debido a condiciones del entorno y calidad de esta). Para obtener la capacidad real de la batería se utiliza la información proporcionada en la hoja de datos. En la Figura (9.1.8.5.1) se puede observar como a una temperatura de trabajo de 10°C y una razón de descarga de 0.05CA (descarga total en 20 h) la capacidad efectiva restante de la batería es del 90 %. Por otro lado, en la Figura (9.1.8.5.2) se observa como teniendo en cuenta una vida útil de 540 ciclos (es decir, 2 años de uso ininterrumpido) la capacidad efectiva restante sigue siendo del 100 %.

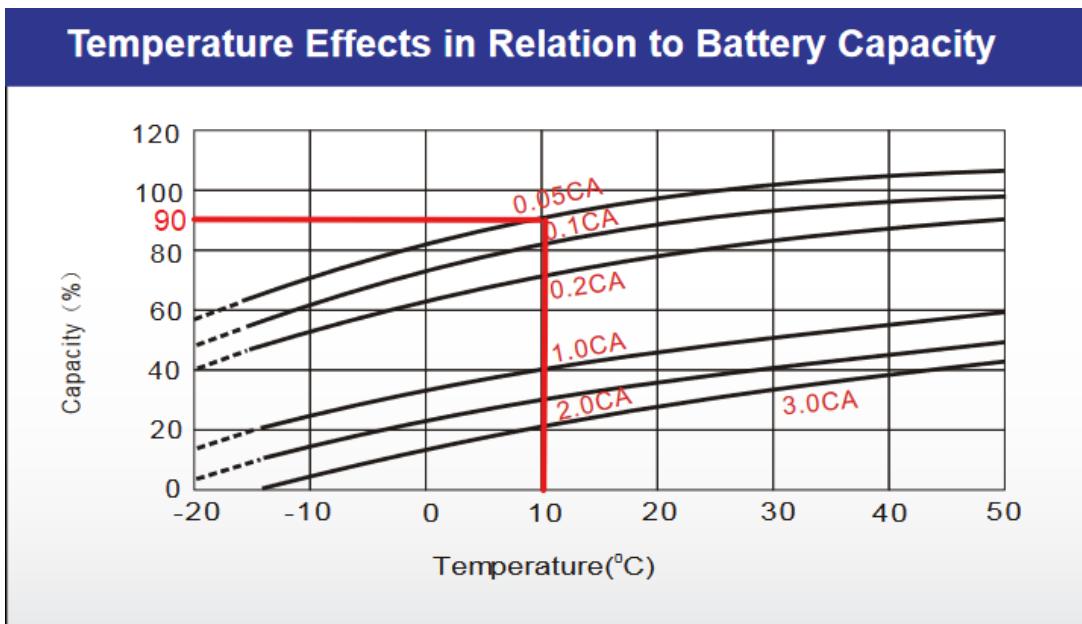


Figura 9.1.8.5.1: Efectos de la temperatura en relación a la capacidad de la batería.

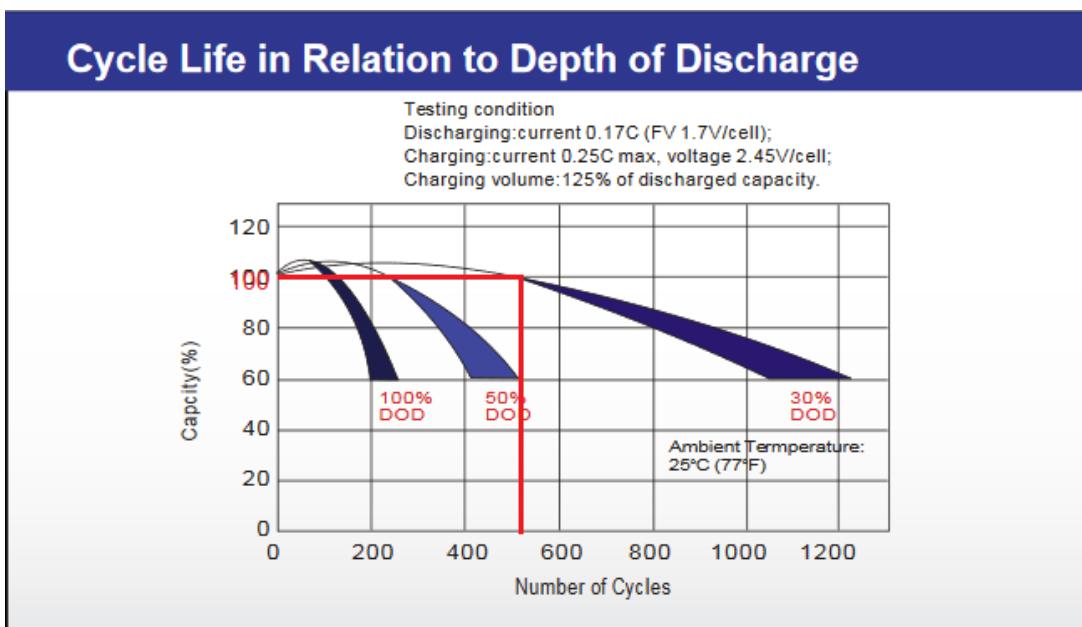


Figura 9.1.8.5.2: Ciclos de vida en relación a la profundidad de descarga.

Por ende, la capacidad efectiva, calculada como:

$$C_{ef} = C_{nom} * 0.9 * 1 = 21.6 \text{ Ah} \quad (1)$$

por lo que la batería elegida sería apta para el proyecto.

9.1.8.6 Alimentación

Para poder abastecer a la batería seleccionada, con un panel 23.1 W se puede proveer la potencia requerida.

En cuanto a la etapa de carga, para el cargador MPPT de la batería principal se optó por la DFR0580 debido al precio, la documentación clara y la tecnología de la batería a usar.

9.1.9 Propuesta de Carga Inalámbrica de UBM

La solución planteada para el análisis de la factibilidad de la transferencia de energía al dispositivo del ave es por medio de radiación electromagnética. A continuación se detallará el análisis realizado y las conclusiones tomadas.

9.1.9.1 Planteamiento del Problema

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

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

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

Como la UBM tiene un consumo diario de

$$2.5 \text{ V} \cdot 1 \text{ mA} \cdot 24 \text{ hs} = 60 \text{ mWh} \quad (2)$$

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

$$\begin{cases} \frac{60 \text{ mWh}}{11 \text{ hs}} = 5.5 \text{ mW} & \text{Mejor caso} \\ \frac{60 \text{ mWh}}{8.5 \text{ hs}} = 7 \text{ mW} & \text{Peor caso} \end{cases} \quad (3)$$

9.1.9.2 Carga por Acoplamiento Magnético

La transmisión inalámbrica de potencia por acoplamiento magnético se basa en generar un campo magnético al hacer circular corriente por un arreglo de bobinas gracias a la Ley de Ampere.

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \left(\mathbf{J} + \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \right) \quad (4)$$

Este campo magnético es captado por una o más bobinas receptoras las cuales generan a causa de este una fuerza electromotriz según la Ley de Faraday.

$$\nabla \times \mathbf{E} = - \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad (5)$$

De esta manera, se genera un sistema que actúa como transformador, utilizando como reluctancia al aire que separa ambas bobinas, con un factor de acople k definido como

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}} \quad (6)$$

donde M es el coeficiente de mutua-inductancia entre las bobinas y L_1 y L_2 las auto-inductancias de las bobinas.

La eficiencia en la transmisión de energía de este método es alta [2], pero depende en gran medida por el factor de acople entre ambas bobinas. Este factor de acople disminuye considerablemente con la distancia y la desalineación entre bobinas [3] [4].

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

9.1.9.3 Carga por Radiofrecuencia

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

$$E_\theta = -\frac{\eta}{4\pi} I \cdot \Delta L \cdot k^2 \cdot \sin\theta \cdot e^{-jkr} \left[\frac{1}{jkr} + \left(\frac{1}{jkr} \right)^2 + \left(\frac{1}{jkr} \right)^3 \right] \quad (7)$$

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

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

$$\begin{cases} 0 < d < \frac{\lambda}{2\pi} & \text{Campo cercano reactivo o inductivo} \\ \frac{\lambda}{2\pi} < d \lesssim \lambda & \text{Campo cercano radiativo o de Fresnel} \\ \lambda \lesssim d \lesssim 2\lambda & \text{Zona de transición} \\ 2\lambda \lesssim d < \infty & \text{Campo lejano o de Fraunhofer} \end{cases} \quad (8)$$

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

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

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

A una distancia entre una y dos longitudes de onda, los efectos de campo cercano comienzan a cesar, mientras que los efectos de campo lejano comienzan a aparecer. Es en esta zona por lo tanto, que ambos efectos están presentes y tienen importancia [5]. Los dispositivos RFID suelen operar en esta zona [6].

Por otro lado, el campo lejano es el utilizado para realizar todo tipo de telecomunicaciones hoy en día. En esta zona, el campo eléctrico y campo magnético son ortogonales y la razón entre ambos es la impedancia del medio. Además, el vector de Poynting, definido como $\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H}$, provee una medida de la energía electromagnética radiada [7].

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

$$\frac{P_r}{P_t} = \left(\frac{A_r A_r}{d^2 \lambda^2} \right) \quad (9)$$

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

$$P_r[dBm] = P_t[dBm] + G_t[dB] + G_r[dB] - L_{bf}[dB] - L_{cab}[dB] - L_{roe}[dB] - L_r[dB] \quad (10)$$

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

$$L_{bf} = 32.5dB + 20\log_{10}f[MHz] + 20\log_{10}R[km] \quad (11)$$

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

9.1.9.4 Banda de Frecuencia Adoptada

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

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

- La zona de transición ocurre entre 32.8 y 65.6 cm que concuerda con las distancias mínimas y máximas entre emisor y receptor. Si bien no estaremos trabajando en campo lejano, esto no acarrea problemas, ya que hay basta cantidad de antecedentes del uso de los efectos de campo cercano en dispositivos comerciales [6] [8].

- Esta frecuencia pertenece a la banda ISM, la cual está reservada para propósitos industriales, científicos o médicos, excluyendo las aplicaciones de telecomunicaciones [9], atribuidas a la Región 2 definida por la ITU como América [10].

9.1.9.5 Condiciones de Borde

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

- **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 el de un cilindro macizo chato de diámetro entre 7.9 y 9.7 cm y aproximadamente 5 cm de altura, por lo que las dimensiones de la antena emisora estarán acotadas por estos valores.
- **Directividad:** Se quiere que la potencia enviada a la antena se transforme en radiación electromagnética que llegue a la mochila del ave, por lo que radiación que no sea dirigida directamente hacia el fondo del nido será potencia desperdiciada. Es por esto que se quiere una alta directividad en la antena emisora. También hay un límite máximo en la directividad de la antena. Sin embargo, esta limitación no se alcanzará, dado que la tecnología a utilizar será de antenas del tipo planas, más cortas eléctricamente que media longitud de onda por cuestiones de limitaciones en las dimensiones.
- **Potencia Máxima:** Como las pérdidas en el circuito electromagnético son grandes, una muy baja parte de la potencia enviada a la antena transmisora formará parte de la potencia entregada a las baterías de la mochila, por lo que para recibir la potencia necesaria, se debe transmitir en el orden de los watts. Es por esto que la potencia máxima es una especificación relevante al momento de decidir entre soluciones.

Mientras que para el caso de las antenas receptoras, se tuvieron en cuenta los siguientes criterios:

- **Eficiencia:** Esta será la especificación más importante y es la que determinará la factibilidad de la solución. Se buscará la mayor eficiencia posible 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. Se buscará una ganancia menor a 2 dBi.
- **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 915 MHz y un cuarto de onda en esta frecuencia es alrededor de 8 cm, existe una relación de compromiso entre las dimensiones de la antena receptora y la eficiencia de esta.

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

9.1.9.6 Cargador

El bloque del cargador de la UBM consiste en un receptor y un transmisor de potencia. La transmisión inalámbrica consta, por el lado del transmisor, de un oscilador HM-TRPW-RS232 de 915 MHz el cual está comandado por la R-Pi y se comunica mediante UART; como así también de un amplificador de potencia de 3 W máximos alimentado por una etapa DC-DC XL6009 de 12 V a 15 V.

Por el lado del receptor, se encuentra el integrado P1110B, el cual almacena energía temporalmente en un capacitor para realizar posteriormente la carga de la UBM.

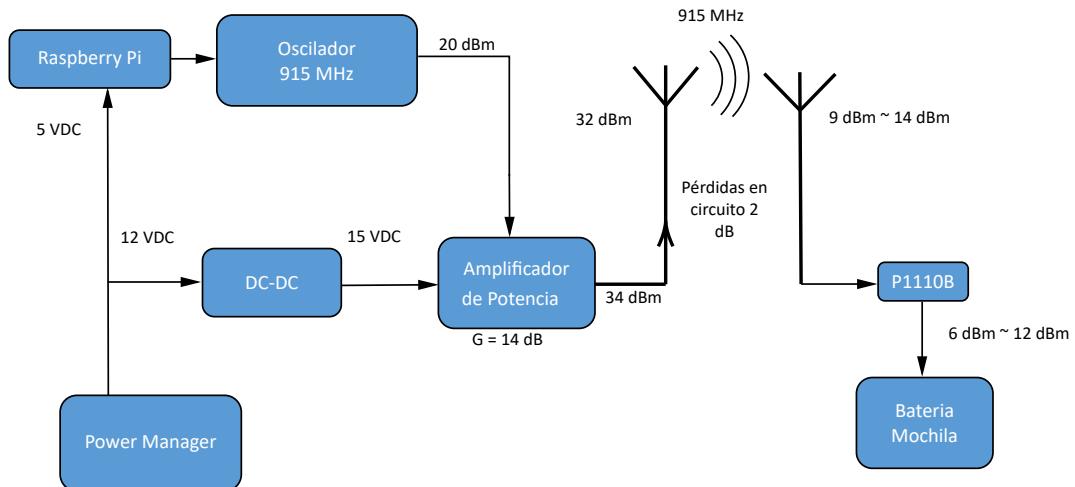


Figura 9.1.9.6.1: Diagrama en bloques cargador.

Para la transmisión de la señal de 915 MHz se utilizará cable del tipo *RG-213* el cual posee bajas pérdidas de $23.054 \text{ dB}/100m$.

Oscilador 915 MHz



Figura 9.1.9.6.2: Módulo utilizado como oscilador HM-TRPW-RS232.

Debido a la falta de stock mundial de componentes electrónicos a causa de la pandemia, se utilizó un módulo transciever FSK que opera en la banda de 915MHz. Este módulo HM-TRPW-RS232 puede generar la señal carrier de hasta 20 dBm y posee interfaz RS-232 para la comunicación UART.

- Potencia máxima de 20 dBm .
- Alimentación $100 \text{ mA} @ 20 \text{ dBm}$.
- Corriente suspendido $1 \mu\text{A}$.
- Velocidad de comunicación $1.2 \text{ kbps} - 115.2 \text{ kbps}$.
- Dimensiones $44.1 \times 30 \times 1.2 \text{ mm}$.

Amplificador de Potencia

Para el amplificador de potencia de RF, como las unidades a producir serán muy pocas, no se justifican las horas necesarias para diseñar el circuito y la placa impresa de un amplificador de RF. Por esta razón, se utilizará uno comercial.

DC-DC

(TBC)

P1110B



Figura 9.1.9.6.3: Módulo utilizado como power harvester.

Para la recepción de la radiofrecuencia se utilizará el power harvester P1110B. Este integrado toma la señal de radiofrecuencia y realiza con esta la carga de un capacitor. Cuando el capacitor llega a un valor de tensión máximo, habilita la salida mediante una etapa DC-DC hasta que el capacitor baje su tensión por debajo de un mínimo para volver a cargarse hasta el máximo.

- Eficiencia del 70 %.
- Adaptado internamente a 50Ω .
- Operación por encima de -5 dBm .
- Opción de carga para Li-ion y baterías alcalinas.

9.1.9.7 Amplificador de Potencia

Para el amplificador de potencia se tuvieron en cuenta distintos módulos armados.

Aspectos comparativos	NWDZ RF PA V2.0	Unbranded Broadband RF Amplifier	DH-RF V2017	JP-2Y560895 RF Amplifier
Costo [USD]	18.59	9.82	23	69.31
Alimentación [V]	12-15	12	15	24-28
Frecuencia [MHz]	2-700	1-930	1-1000	915 +- 25
Potencia salida máxima [dBm]	34.8	29	35	42
Potencia entrada máxima [dBm]	10	0	0	23
Ganancia de potencia [dB]	35	29	32	Ajustable
Dimensiones [cm]	7x3	5x5	3.7x5.6	4x8
Imagen				

9.1.9.8 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 9.1.9.8.1: Comparación entre cargadores.

9.1.9.9 Comparación entre Antenas

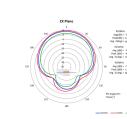
Aspectos comparativos	APAE915R2540ABDB1-T	W3215	ISPC.91A.09.0092E
Costo [USD]	3.66	12.47	20.91
Dimensiones [mm]	25 x 25 x 4	40 x 40 x 6	47 x 47 x 6.5
Frecuencia Central [MHz]	915	915	915
Impedancia [Ω]	50	50	50
Polarización	RHCP	Lineal vertical	RHCP
Ganancia [dBi]	1.5	4.5	5 (30 x 30 ground plane)
ROE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

Tabla 9.1.9.9.1: 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 9.1.9.9.2: Comparación entre antenas transmisoras (Parte 2).

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

Tabla 9.1.9.9.3: 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 9.1.9.9.4: Comparación entre antenas receptoras (Parte 2).

9.1.9.10 Conclusión Factibilidad de la Carga Inalámbrica

Para el integrado de energy harvesting se optó por el P1110 debido a su elevada eficiencia en la zona donde se transmitirá potencia.

Por un lado, para el caso de las antenas transmisoras, se descartan APAE915R2540ABDB1-T, APAES915R80C16-T y ARRK7059-S915B por su baja ganancia, además del alto costo de las últimas dos. También se descarta W3215 por ser de polarización lineal. Por lo que restan la antena **ISPC.91A.09.0092E** para la etapa de ensayo.

Por otro lado, para las antenas receptoras, se descarta ANT-915-USP410 por baja eficiencia, y FXP290.07.0100A por ser muy grande. Además, se descartan 1513156-1 y ANT1204F005R0915A por ser de polarización lineal. **ANT-915-CPA y NN01-105** pasan a la etapa de ensayo por más que NN01-105 sea de polarización lineal.

Se tomaron estas antenas y se calculó para cada par Tx-Rx la potencia recibida en la antena receptora en función de la distancia.

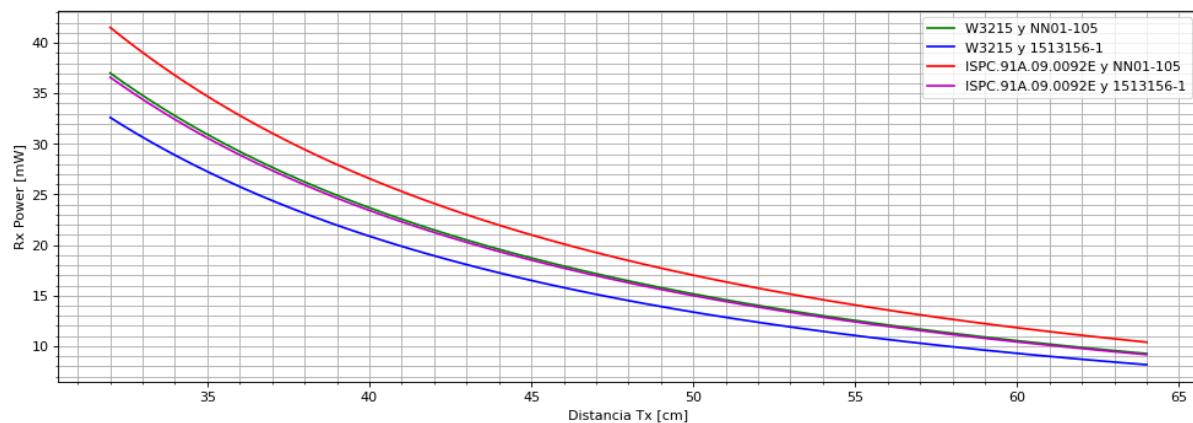


Figura 9.1.9.10.1: Potencia recibida en la antena Rx en función de la distancia entre antena Tx y antena Rx.

Se puede observar que con 4 W en la antena transmisora, todas las combinaciones de antenas cumplen con la potencia necesaria para el mejor y peor caso. Tomando el mejor par Rx-Tx, y al tener en cuenta la eficiencia de aproximadamente 70 % del P1110, la potencia a la salida de este permanece por encima del peor caso hasta la máxima distancia de transmisión.

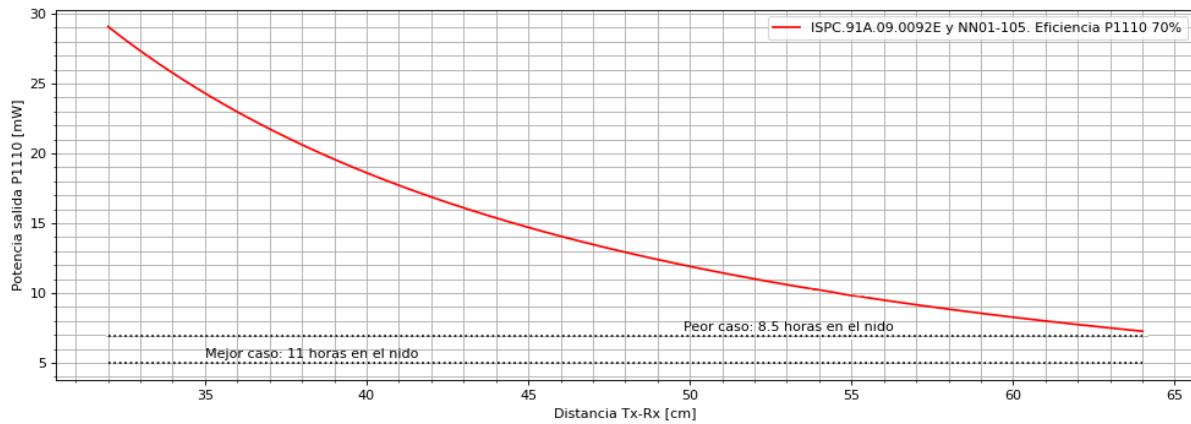


Figura 9.1.9.10.2: Potencia a la salida del P1110 en función de la distancia entre antena Tx y antena Rx.

Sin embargo, si se toma en consideración la restricción más estricta de $4.5 \frac{W}{m^2}$ impuesta en la Sección (9.4) dada por la fórmula

$$p = \frac{P_T G_T}{4\pi R^2} \quad (12)$$

se observa en la Figura (9.1.9.10.3) que para una potencia de $1.6 W$ en la antena transmisora esta restricción se cumple a treinta centímetros de la distancia mínima de transmisión.

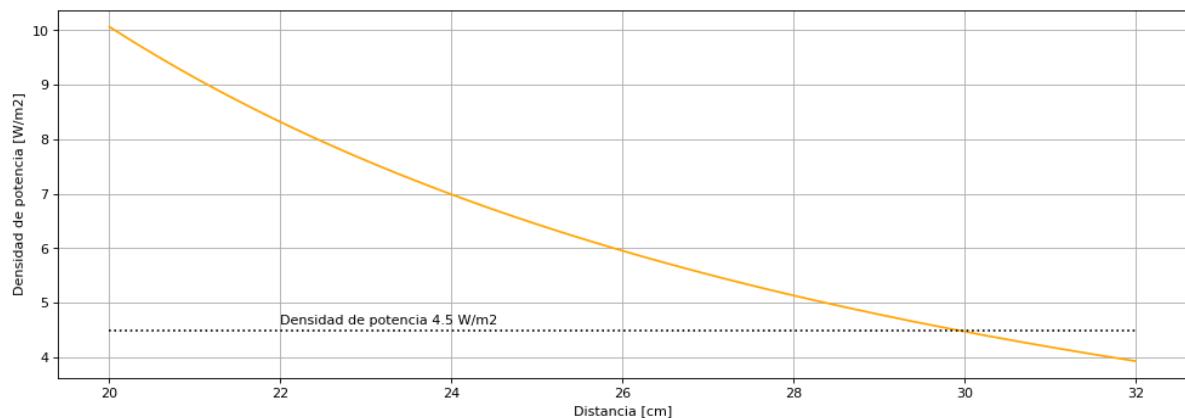


Figura 9.1.9.10.3: Densidad de potencia radiada con $1.6 W$ en la antena transmisora según la fórmula de Friis.

Teniendo esto en cuenta, y recalculando para $1.6 W$ se obtiene

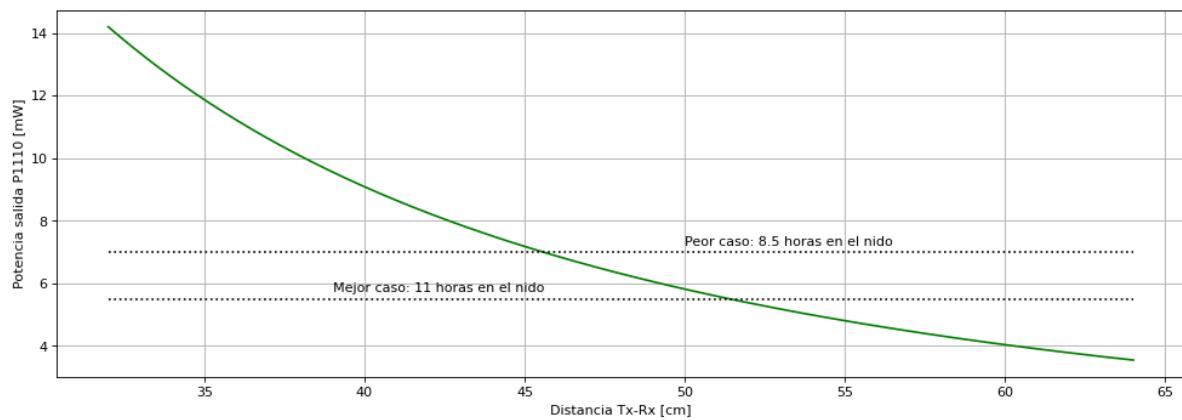


Figura 9.1.9.10.4: Potencia a la salida del P1110 en función de la distancia entre antena Tx y antena Rx para 1.6 W en la antena transmisora.

Por estas razones, se descarta la posibilidad de utilizar la carga inalámbrica para recargar la batería de la mochila del ave y se investigará una solución alternativa.

9.1.10 DFMEA

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

Tabla 9.1.10.1: DFMEA (Parte 1).

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

Tabla 9.1.10.2: 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 9.1.10.4: Nivel de IC.

Tabla 9.1.10.3: Criterio de IC.

9.2 Factibilidad de Tiempos

9.2.1 Consideraciones

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

9.2.2 Planificación

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

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

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

9.2.3 Programación

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

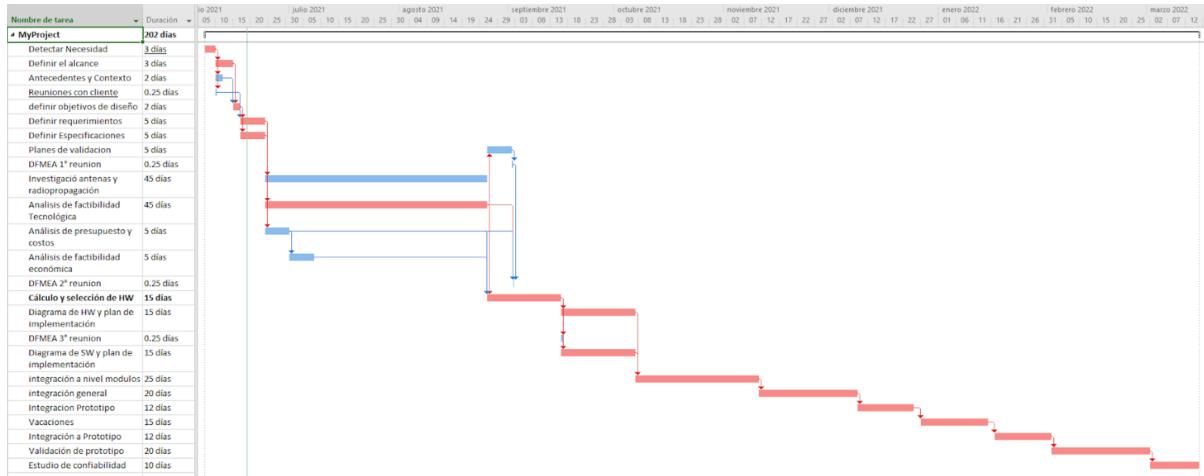


Figura 9.2.3.1: Diagrama de Gantt del proyecto.

Luego se realizó una simulación de Montecarlo utilizando la distribución β para las variables aleatorias, obteniendo como resultado el análisis plasmado en la Figura (9.2.3.2). Se tiene en cuenta que por teorema central del límite la suma de las variables aleatorias β convergen a una normal.

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

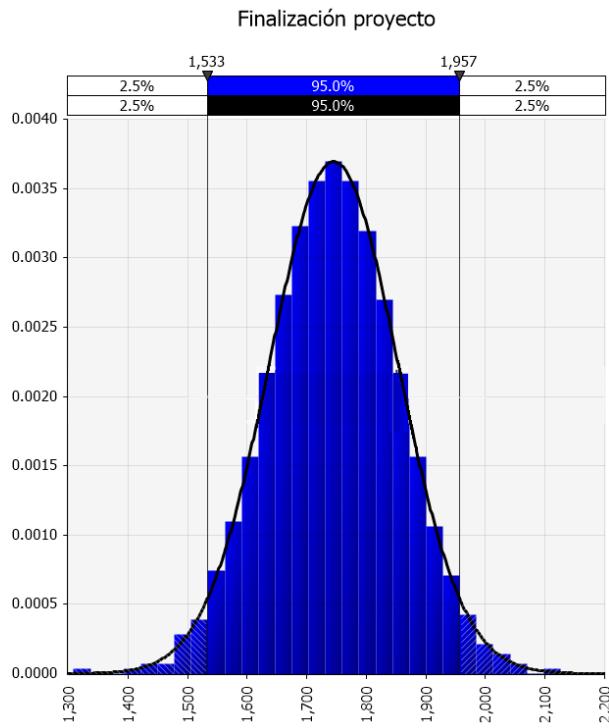


Figura 9.2.3.2: Simulación de Montecarlo.

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

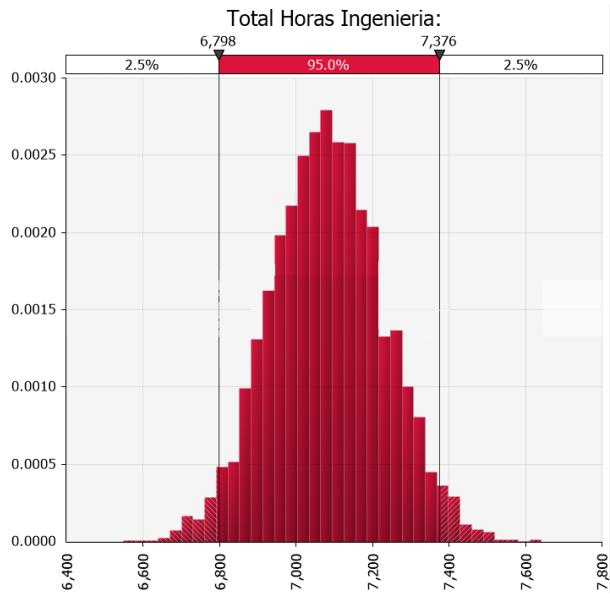


Figura 9.2.3.3: Simulación de Montecarlo para tiempo de ingeniería.

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

9.3 Factibilidad Económica

Para poder estudiar la viabilidad financiera de todo emprendimiento es necesario hacer un balance cuidado acerca de los diferentes costos en los que se va a incurrir. Se debe analizar cuales serán la fuentes de ingresos que hagan del modelo de negocio planteado un negocio sostenible en el tiempo. En este caso en particular estamos analizando el caso de un proyecto único. Sin embargo, no deseamos descartar la posibilidad de realizar más unidades en el futuro por fuera del marco del proyecto. Es por esto que presentamos aquí debajo el modelo de negocios planteado para referencia futura.

9.3.1 Modelo de Negocios

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

Para dar una visión global se planteo el siguiente modelo de Canvas.

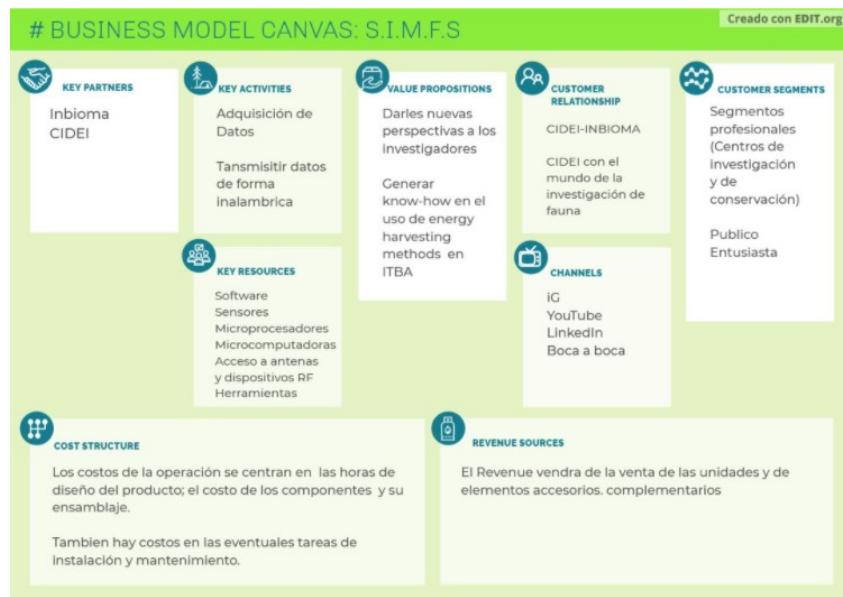


Figura 9.3.1.1: Modelo de negocio.

9.3.2 Investigación y Desarrollo

Este proyecto contiene un gran componente de diseño. Según que lo establecido en la programación del proyecto el tiempo invertido en horas de diseño esta estimado en (TBD). Una vez completada la etapa de diseño el equipo se abocara a la implementación del primer prototipo, es decir a la integración del hardware a utilizar y el desarrollo del software que controlara al nido que permitirá la interacción con el mismo.

Realizando la estimación sobre un sueldo de $30 \frac{USD}{hora}$ y multiplicándolo por la cantidad de horas de ingeniería esperada por persona se obtiene un total de:

$$Costo mano de obra = 7100 hora \cdot 30 \frac{USD}{hora} = 213.000,00 USD$$

9.3.3 Gastos fijos por unidad

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

Se presenta el valor de los insumos de hardware y de montaje:

Item	Precio [USD]
Sensor humedad-temperatura	4.9
Sensor luminosidad	1.54
Módulo RTC	2.33
Cámara	20
SDI 16GBy	16
R-Pi Zero W	25.5
Batería	(TBD)
Panel solar	(TBD)
P1110B	32
Antena RX	(TBD)
Antena TX	(TBD)
MPPT	33
Encapsulado	16
Montaje	31

Tabla 9.3.3.1: Valores de insumos.

9.3.4 Reserva de Contingencia

Dado que este proyecto cuenta con un alto grado de investigación es necesario contar con un cierto margen de seguridad en caso de que ocurra un cambio de planes necesario para alcanzar el objetivo del proyecto. Es por eso que se decidió incluir en nuestro análisis un adicional del 5 % sobre el costo total del proyecto. Esta suma sera devuelta al cliente en caso de no necesitarla.

La reserva de contingencia se ubicara en USD 11.000

9.3.5 Escenario de escala

Se contempla que en el caso de que la producción sea de (TBD) unidades sera posible conseguir los insumos necesarios para el ensamblado de las unidades a precio de venta al por mayor.

9.4 Factibilidad Legal y Responsabilidad Civil

Normas y regulaciones a considerar

- Resolución 202/95 (Estándar Nacional de Seguridad para la Exposición a radiofrecuencias comprendidas entre 100 KHz y 300 GHz).
- Resolución 530/2000 (Estándar Nacional de Seguridad de aplicación obligatoria a todos los sistemas de telecomunicaciones que irradian en determinadas frecuencias).
- Resolución 1994/2015 (Regulación SAR).
- Guidelines de la FCC en exposición máxima recomendada. Una densidad de potencia de $580 \mu W/cm^2$ @ 850 MHz.
- Ministerio de Salud y Accion Social admite como máxima una densidad de potencia de $450 \mu W/cm^2$ @ 850 MHz.
- The Worldwide Approval Status for 900 MHz and 2.4 GHz Spread Spectrum Radio Products. Establece un límite de 4W para la potencia de la antena transmisora.

10. Ingeniería de Detalle

10.1 Hardware

10.1.1 Diagrama de bloques (Hardware)

A continuación se muestra el diagrama en bloques de hardware y los delimitadores de las distintas secciones, siendo estas:

- Potencia.
- Sensado.

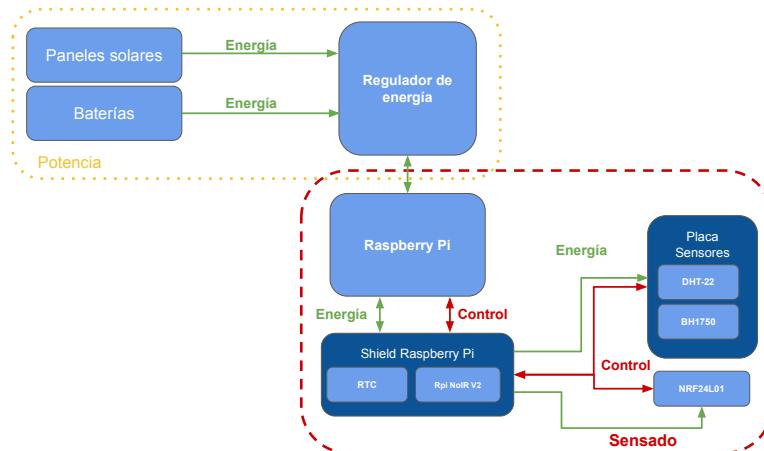


Figura 10.1.1.1: Diagrama en bloques del sistema de hardware.

La etapa de potencia es el conjunto de elementos necesarios para proveer de energía a toda la electrónica del proyecto, es decir a aquellos componentes y elementos que se encuentran en el nido.

Por otro lado, la de sensado es aquella que se encarga de la medición de las variables físicas y de su correcto almacenamiento, teniendo en cuenta que esto implica un conocimiento preciso de la hora.

10.1.2 Descripción detallada de cada bloque

10.1.2.1 Potencia

Para la unidad de potencia se utilizarán paneles solares y una batería de gel de ciclo profundo conectados a la placa DFR0580, la cual se ocupa de cargar la batería. De esta se obtienen 4 salidas de tensión:

- Dos salidas de 5 V y 2.5 A [USB].
- Una salida de 5 V y 5 A.
- Una salida de 12 V y 8 A.

Con estas salidas se alimentarán todos los módulos, a excepción del oscilador de potencia, ya que esta necesita una etapa DC-DC para así la cual eleva la tensión. Para ello se emplea una fuente switching de topología Boost.

10.1.2.2 Sensado

En esta sección, ademas del conexionado de los sensores, se hace detalle en los pines de la R-Pi que serán utilizados.

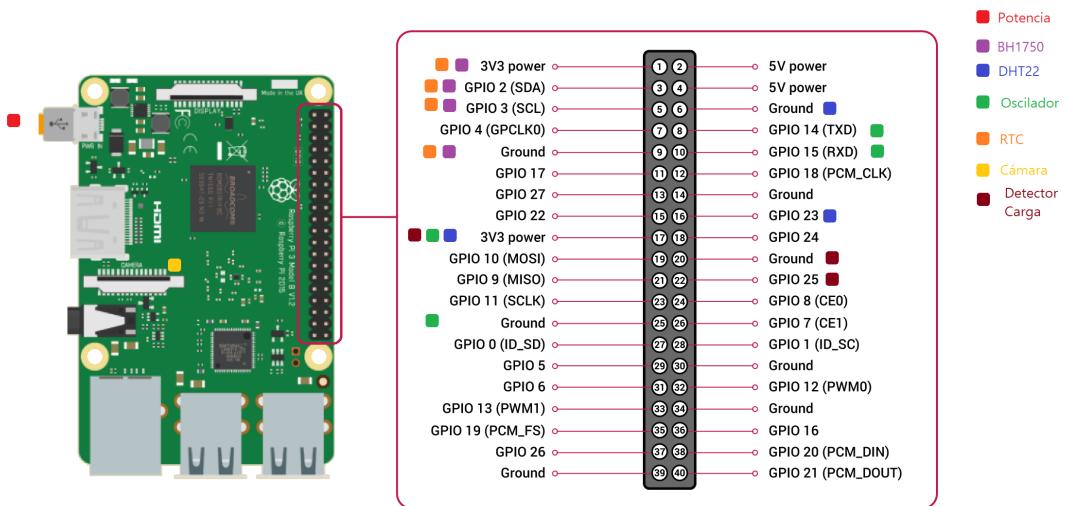


Figura 10.1.2.2.1: Conexionado Raspberry Pi.

El sensor de humedad y temperatura (DHT-22) se comunica de manera serial a través de un pin de GPIO. Para que esto sea posible, el sensor necesita alimentación de 3.3 V, tierra y el pin de GPIO por donde se realiza la comunicación, teniendo en cuenta que es necesario una resistencia de pull-up entre la linea de datos y 3.3 V.

El oscilador necesita de una señal de alimentación, tierra y su comunicación utilizará el protocolo UART. Por otro lado, la cámara simplemente se conecta al zócalo destinado para este propósito en la placa. Para el conexionado con el sensor de luminosidad y RTC se utilizará el protocolo de comunicación I^2C en modo multi-slave.

Finalmente, se cuenta con un pin de GPIO el cual indicará el momento de prendido del cargador.

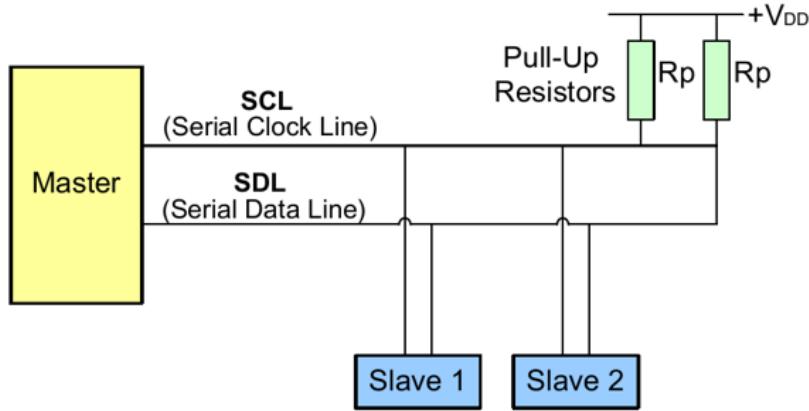


Figura 10.1.2.2.2: Conexiónado I^2C Multi-slave.

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

10.1.3.1 Cálculo potencias

Se asumen las siguientes variables para los cálculos de potencias, obtenidas de estadísticas propias de la zona donde se realiza el estudio [14]

1. Duración noche = 12.8 horas.
2. Duración día = 11.2 horas.
3. Horas de sol efectivas = 8 horas.

Para el caso de la R-Pi, se tiene que su consumo mínimo normal es de $P_{rpi_{min}} = 1.2 W$. Sin embargo, para reducir este consumo, se desactivan los puertos de ethernet y HDMI ya que no se utilizará un entorno gráfico. Esto permite reducir aún más el consumo mínimo. Se estima que la R-Pi consumirá como máximo alrededor de $P_{rpi_{est}} = 1.75 W$ en su funcionamiento normal[12]. Luego, se tiene que el consumo energético por día será de

$$E_{sist} = P_{rpi_{est}} \cdot 24 \text{ hs} = 151.2 \text{ kJ} \quad (13)$$

Teniendo en cuenta que la batería de $V_{bat} = 12 V$ debe tener una capacidad de almacenamiento equivalente a $T_{reserva} = 4$ días sin recarga [14] y utilizando un coeficiente de seguridad de $\gamma_{bat} = 1.5$, se obtiene

$$\text{Capacidad}_{bat} = \frac{E_{sist} \cdot T_{reserva} \cdot 1000}{V_{bat} \cdot 3600} \cdot \gamma_{bat} = 21 \text{ Ah} \quad (14)$$

Por otro lado, para los cálculos del panel solar, teniendo en cuenta que se quiere que en un día de sol promedio se logre abastecer al sistema de su consumo energético normal diario y recargar un $\rho = 0.2$ de la capacidad total de la batería, y además teniendo en cuenta un coeficiente de seguridad de $\gamma_{panel} = 2$, se tiene que

$$Pot_{panel} = \left(E_{sist} + \frac{\text{Capacidad}_{bat} \cdot V_{bat} \cdot 3600 \cdot \rho}{1000} \right) \cdot \gamma_{panel} \cdot \frac{1000}{60 \cdot 60 \cdot 8 \text{ hs}} = 23.1 \text{ W} \quad (15)$$

10.1.3.2 Cálculo resistencias

Tanto para el Bus de I^2C como para el DHT22, se calcularon las resistencias de pull-up de la siguiente manera:

$$R_p = \frac{V_{dd}}{I_{R_p}} = \frac{3.3 \text{ V}}{1 \text{ mA}} = 3.3 \text{ k}\Omega \quad (16)$$

10.1.3.3 Cálculo de memoria

Se definen los siguientes valores para cada medición:

- Medición temperatura y humedad: 16 Bytes (fecha y hora) + 4 Bytes (humedad) + 4 Bytes (temperatura) = 24 Bytes.

- Medición luminosidad: 16 Bytes (fecha y hora) + 4 Bytes (luminosidad) = 20 Bytes.
- Medición cámara: cada imagen pesa 2.4 MBytes [13].
- Información BT: aproximadamente 2 KByte. item Sistema operativo: 2 GBytes.

De esta forma se tiene el tamaño de las mediciones durante un período de 14 días:

$$3 \text{ medición/hora} \cdot 24 \text{ hora/día} \cdot 14 \text{ día} \cdot (24 \text{ Bytes/medición} + 16 \text{ Bytes/medición}) \\ + 2 \text{ medición/hora} \cdot 24 \text{ hora/día} \cdot 14 \text{ día} \cdot 2.4 \text{ MBytes} + 2 \text{ KByte/día} \cdot 14 \text{ día} = 1.61 \text{ GBy}$$

Si a esto se le suma el espacio dedicado al sistema operativo, se obtiene que el tamaño total de memoria necesaria es de aproximadamente 4 GBy.

Ademas de lo mencionado en las cuentas, se tiene en cuenta el espacio utilizado por el overhead de la base de datos, los diversos paquetes necesarios para el sensado de las variables físicas, así también como un espacio por si no se visita al nido en el tiempo pactado. Es así que con una memoria de 16 GBy basta para el proyecto.

10.1.4 Plan de pruebas de cada modulo

En cuanto al plan de pruebas, se comparan los resultados de los sensores del sistema contra unos previamente calibrados.

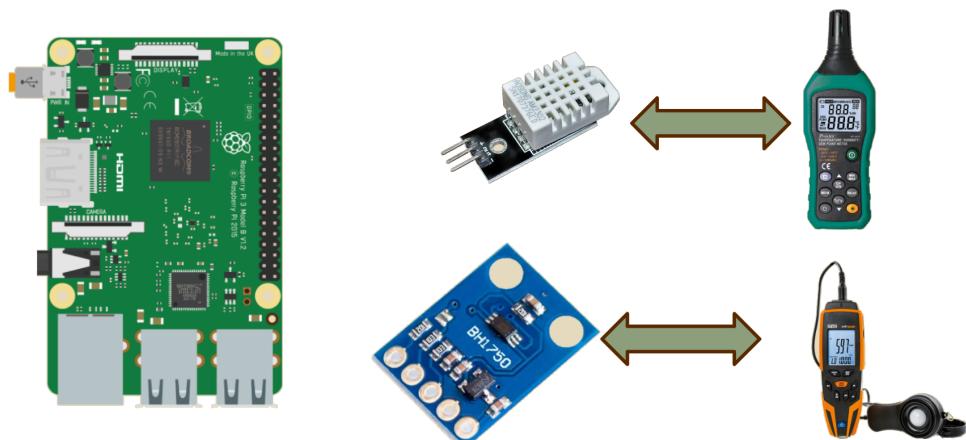


Figura 10.1.4.1: Plan de pruebas sensores.

10.2 Software

10.2.1 Central de Control

El centro de control, compuesto por una Raspberry-Pi, utiliza una distribución de Linux Server. Esto se debe a que no es de interés contar con una interfaz gráfica y es importante reservar espacio para almacenar los datos obtenidos desde los sensores y la cámara. Prescindir de la interfaz gráfica también permite ahorrar potencia dado que se apaga el puerto HDMI.

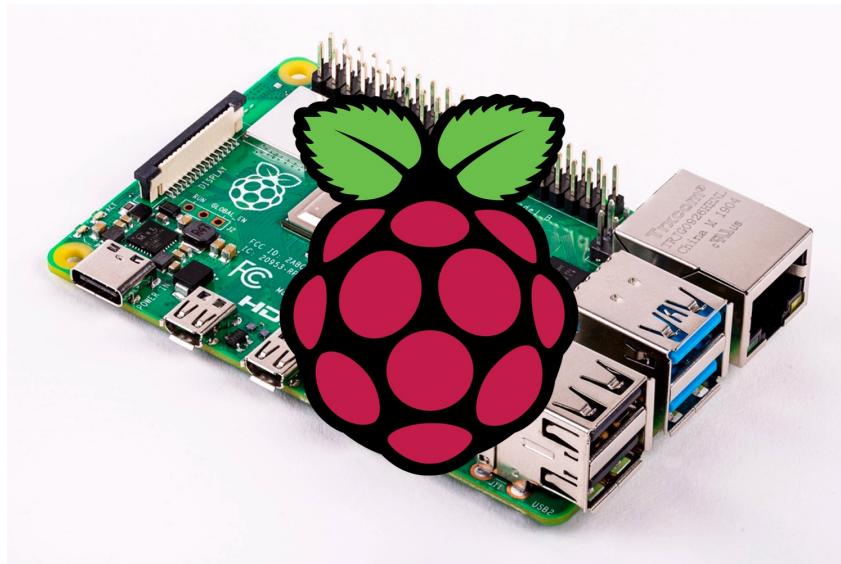


Figura 10.2.1.1: Placa de desarrollo empleada.

Se desarrolló la lógica de control utilizando el lenguaje de programación Python. Su rico ecosistema de paquetes nos permiten utilizar los diversos sensores y manejar las bases de datos.



Figura 10.2.1.2: Lenguaje empleado para el control del proyecto.

10.2.2 Configuración Remota

La configuración de la RPI se realiza de forma remota mediante SSH (secure shell). Dado que el proyecto apunta a ser escalable, tener más de un nido operativo, se buscó una forma de configurar la RPI manera automática y replicable. Para ello utilizaremos la herramienta de automatización llamada Ansible. Esta nos permite de volcar sobre archivos de texto las configuraciones que necesita la RPI.

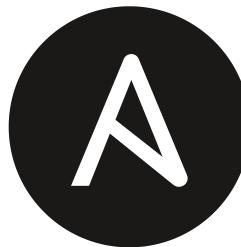


Figura 10.2.2.1: Tecnología de automatización Ansible.

Se desarrolló la lógica de control utilizando el lenguaje de programación Python. Su rico ecosistema de paquetes nos permiten utilizar los diversos sensores y manejar las bases de datos.

10.2.3 Eventos Periodicos

Para realizar la medición de las magnitudes de interés se optó por utilizar la utilidad nativa de Linux, los cron-jobs. Los cronjobs son tareas programables que el propio OS se encarga de ejecutar según un cronograma pre-

establecido en la llamada crontab. Esta una opción mucho más segura ante la alternativa de realizar un polleo continuo mediante un cronograma de sensado programado por nosotros.

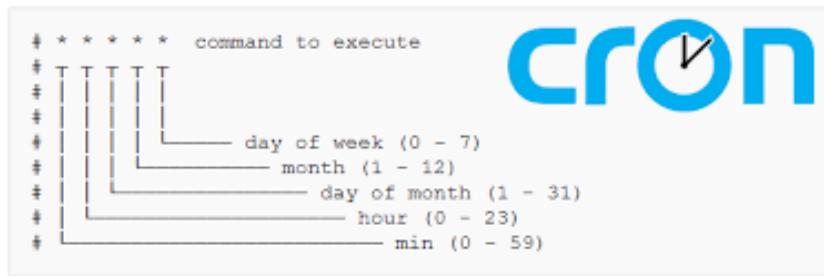


Figura 10.2.3.1: Estructura de un cronjob.

Por lo tanto, según los intervalos pre-establecidos se ejecutaran diferentes tareas.

Además se utilizará esta metodología para activar y desactivar los diferentes modos de ahorro de energía como así el borrado periódico de archivos.

A continuación se detallan las acciones que se ejecutaran de forma periódica

- Medición de Temperatura y Humedad
- Medición del nivel de luminosidad
- Toma de fotografías
- Borrado de datos ante posibilidad de disco lleno
- Apagado de node-red durante la noche
- Apagado de la antena wifi durante la noche
- Apagado de la antena BLE durante la noche
- Encendido de node-red durante el día
- Encendido de la antena wifi durante el día
- Encendido de la antena BLE durante el día

10.2.4 Diagrama de estados y flujogramas

En este pasaje se muestran los diagramas de estados del sistema. Es así que se puede notar que el conjunto cuenta con 4 estados distintivos, siendo estos los llamados *Initial*, *Idle*, *Charging* y *Communicating*.

Vale la pena mencionar que en cualquiera de los estados, a excepción de *Initial*, el sistema está realizando mediciones del ambiente mientras cuenta también con la posibilidad de comunicarse por Bluetooth con la electrónica de la mochila. Esto se cumple excluyendo el caso en que el nivel de carga de la UBM no sea suficiente.

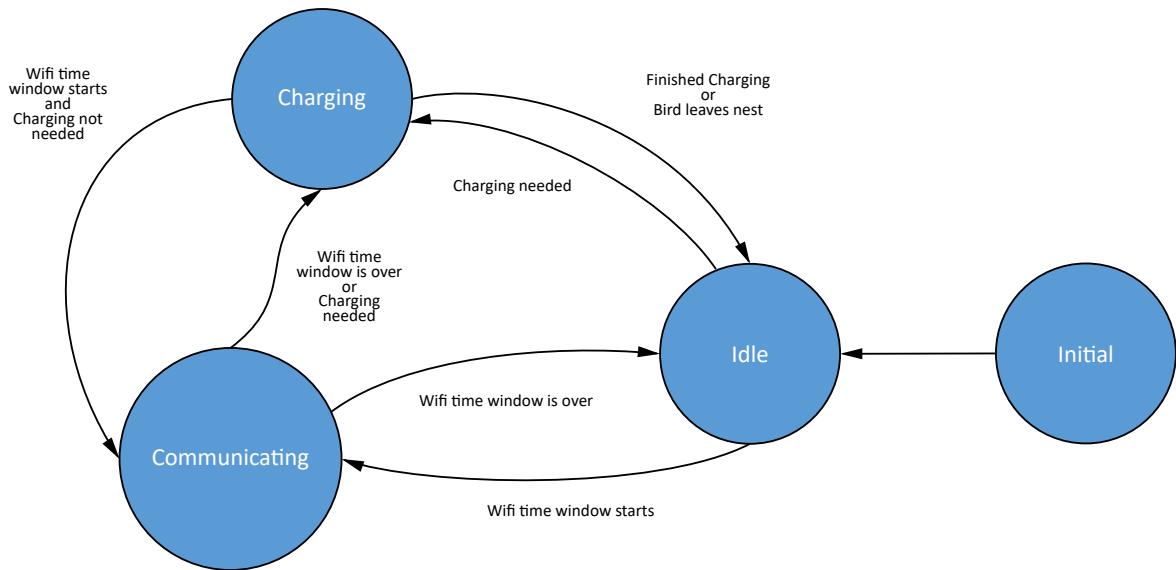


Figura 10.2.4.1: Diagrama de estados.

En el estado *Initial* es aquel donde se inicializan todos los drivers, estructuras de datos y configuraciones que se encuentren por defecto. No se vuelve a este estado una vez que este haya sido abandonado.

Initialize State

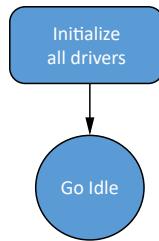


Figura 10.2.4.2: Diagrama de flujo: Estado Initial.

Luego se encuentra el estado *Idle*. En este se sensan las variables físicas con el periodo de muestreo acorde a la especificaciones 10, 11, 12 y 13 de la Tabla (7.3.1.2). Luego se fija si es momento de prender el hotspot wifi. En caso afirmativo se irá al estado *Communicating*. En caso contrario se analiza si hay que cargar la batería. Si se debe realizar dicha acción se irá a estado *Charging*, mientras que en el caso opuesto, si hay transmisión Bluetooth, actúa acorde y comienza el ciclo nuevamente.

Idle State

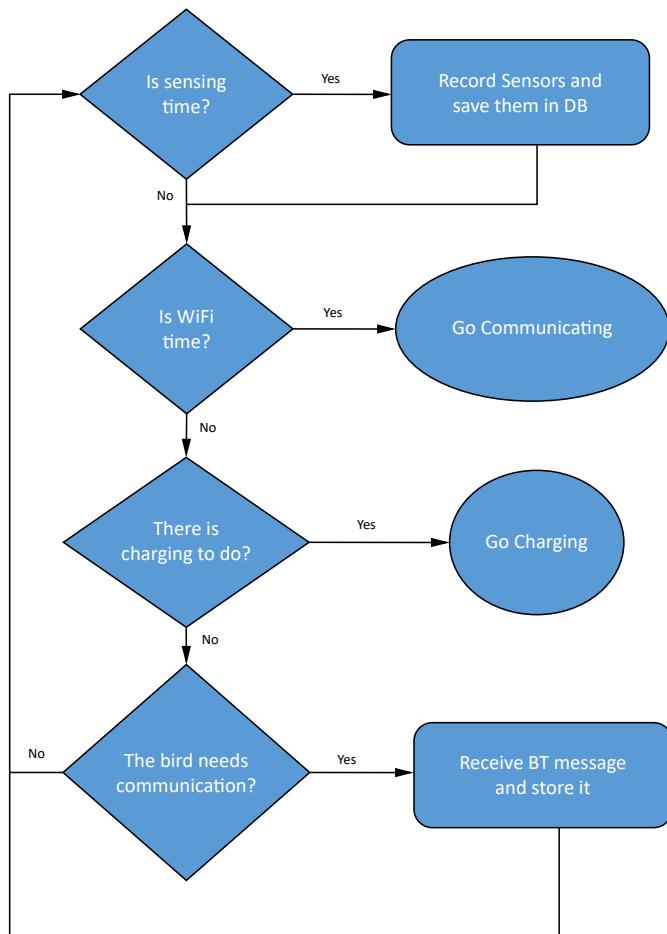


Figura 10.2.4.3: Diagrama de flujo: Estado *Idle*.

La función principal del estado *Charging* es la de cargar la UBM. Lo primero se hace en este estado es habilitar el cargador, luego, en caso de que haya un mensaje Bluetooth, se comienza la comunicación. Posteriormente se encarga del sensado, se verifica si la carga se terminó, para que cuando esto ocurra se desactive el cargador. Dependiendo si es momento de habilitar el hotspot o no se irá al estado *Communicating* o *Idle*.

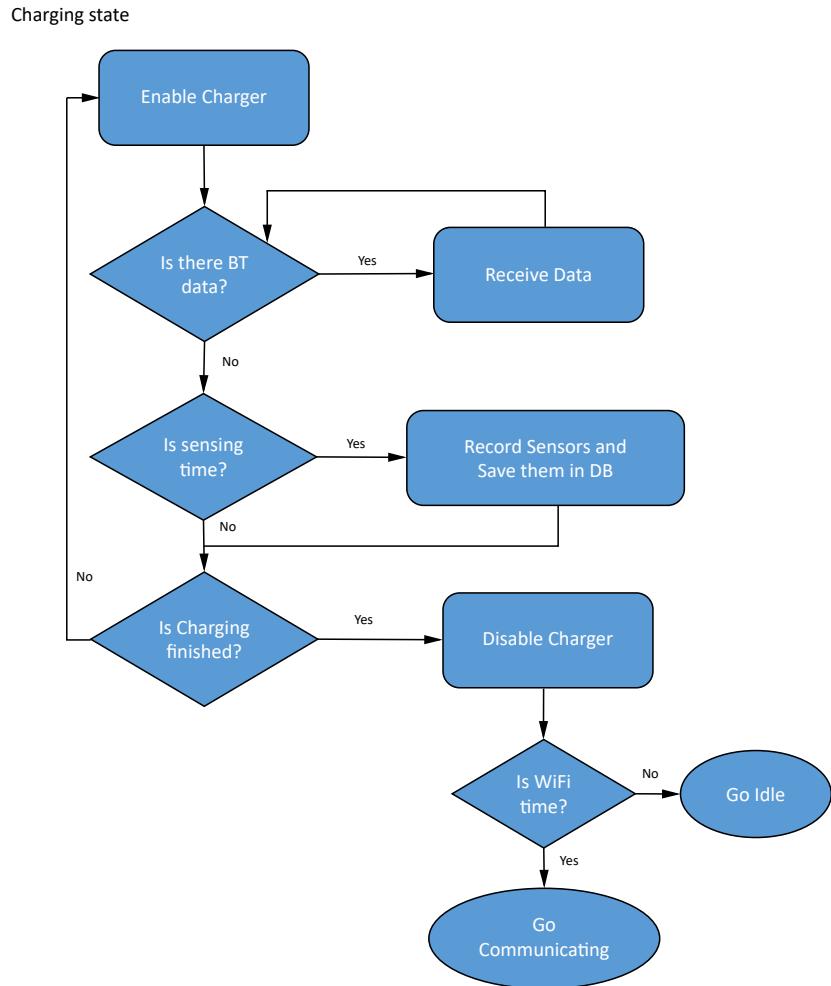


Figura 10.2.4.4: Diagrama de flujo: Estado *Charging*.

Finalmente en el estado *Communicating* es aquel en el que se habilita el hotspot y se levanta el servidor de Node-Red. Aquí se realiza la comunicación entre el nido y una computadora en al base del árbol. Esto se mantendrá hasta que haya pasado el tiempo especificado en la especificación INT-COM2-03 de la tabla (7.3.2.2). Además, se continua sensando las variables físicas.

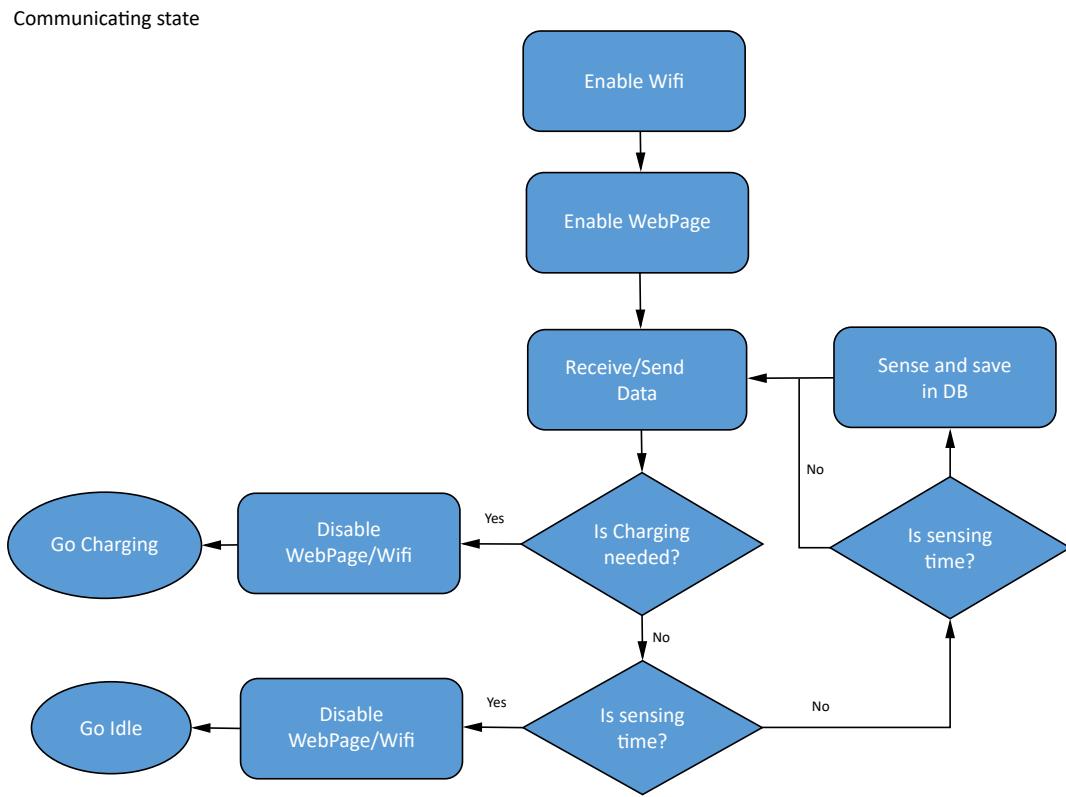


Figura 10.2.4.5: Diagrama de flujo: Estado *Communicating*.

10.2.5 Descripción de subrutinas

- Medición de Temperatura y Humedad Se comunica con el sensor DHT22, obtiene el valor de temperatura y humedad, abre la base de datos y guarda los valores junto con la hora.
- Medición del nivel de luminosidad Se comunica con el sensor BH1750, obtiene el valor de luminosidad, abre la base de datos y guarda los valores junto con la hora.
- Toma de fotografías Se toma una fotografía y se la guarda en el directorio correcto acorde a la fecha.
- Borrado de datos ante posibilidad de disco lleno (**(TBD)**)
- Apagado de node-red durante la noche
Llama al comando que desactiva el servidor de node-red.
- Apagado de la antena wifi durante la noche
Llama al comando que desactiva el hotspot WiFi.
- Apagado de la antena BLE durante la noche
Llama al comando que desactiva el módulo Bluetooth.
- Encendido de node-red durante el día
Llama al comando que activa el servidor de node-red.
- Encendido de la antena wifi durante el día
Llama al comando que activa el hotspot WiFi.
- Encendido de la antena BLE durante el día
Llama al comando que activa el módulo Bluetooth.

10.2.6 Listado de elementos del código

(TBD)

10.2.7 Plan de prueba de módulos y de depuración de Software

(TBD)

10.2.8 Interfaz gráfica de usuario

Para el desarrollo de la GUI, se valió del uso de **Node-RED**, software que permite el desarrollo de servicios online. Node-Red, mediante un sistema de nodos y sumado a la programación en JavaScript, permite generar una página web en una red local, lo cual cumple la función de interfaz con el usuario.

El sistema de edición y desarrollo de la GUI puede ser accedido a través de un navegador, de la misma manera que la interfaz del usuario. Para evitar que el usuario o alguna persona no deseada acceda a esta sección, se emplea un link privado, el cual es confidencial y no es publicado. También se vale de un sistema de autenticación que emplea la interfaz gráfica, creando un usuario de administrador.

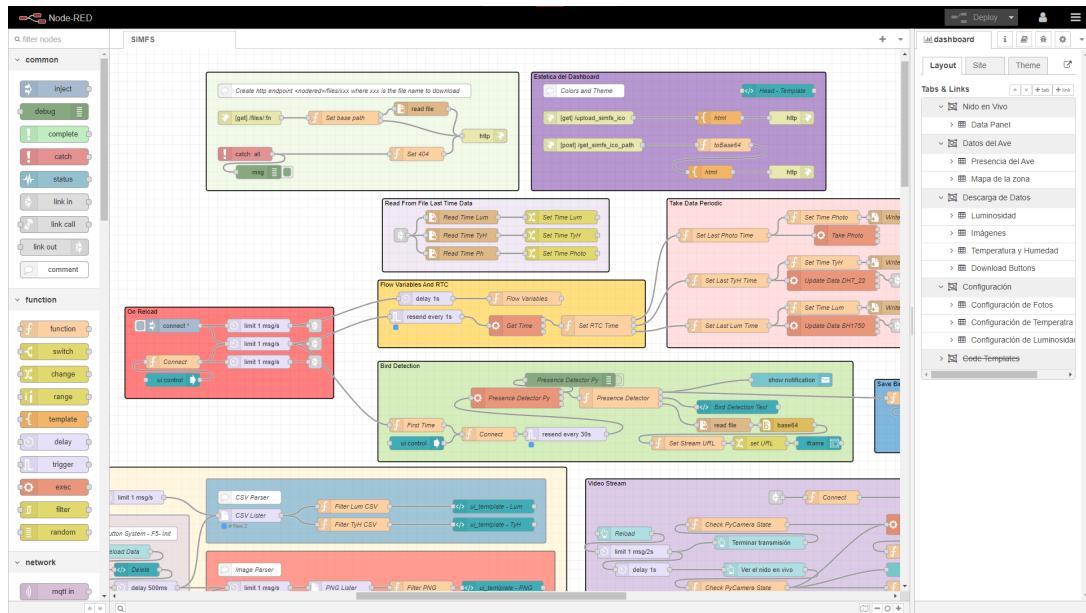


Figura 10.2.8.1: Flujo de nodos del servidor.

Dado que este servidor se encuentra corriendo en la R-Pi, al conectarse a la red de esta, se puede acceder a la página mencionada, donde se brindaran varias funcionalidades adicionales a las descargas básicas de los datos requeridos.

La interfaz gráfica a la cual el usuario tiene acceso posee distintas pestañas, donde cada una brinda un parámetro diferente. En la primer pestaña es posible ver las mediciones realizadas de luminosidad, temperatura y humedad en tiempo real. Además como el sistema detecta la presencia del ave, se muestra si este se encuentra dentro del nido o no. Por último se brinda al usuario la posibilidad de ver la una transmisión en tiempo real del nido por dentro.



Figura 10.2.8.2: Interfaz con usuario versión oscura.



Figura 10.2.8.3: Interfaz con usuario versión clara.

Figura 10.2.8.4: Página del servidor a la cual accede el usuario.

En la segunda pestaña, es posible ver datos propios del ave, referidos a su posición. El primero muestra en un gráfico si el ave se ha encontrado dentro o fuera del nido durante un lapso de 24 horas, siendo posible seleccionar el día del cual se quiere ver los datos. Las zonas verdes denotan su estadía en el nido, mientras que las rajas su ausencia. Se muestra también cuanto tiempo duró cada intervalo. El segundo gráfico muestra el recorrido que ha realizado el ave en el entorno del nido en tiempo real.



Figura 10.2.8.5: Datos de presencia y posición del ave.

La tercer pestaña es la más importante en cuanto a los requisitos del proyecto. En esta se presentan links de descarga para los datos obtenidos del nido y aquellos provistos por la unidad del pájaro. El usuario puede seleccionar el intervalo de tiempo en el cual desea obtener los datos.

Es posible descargar archivos del formato “csv” para los datos de luminosidad, temperatura y humedad, “png” si se desea descargar imágenes de forma individual o “zip” para el todo el conjunto de fotos mostradas.



Figura 10.2.8.6: Descarga de datos almacenados.

La cuarta y última pestaña le brinda al usuario cierto margen de configuración de la toma de datos. Estas opciones le permiten modificar el intervalo de cada medición, es decir cada cuanto tiempo se desea tomar una medición de las variables de interés o cada cuanto se desea tomar una foto.

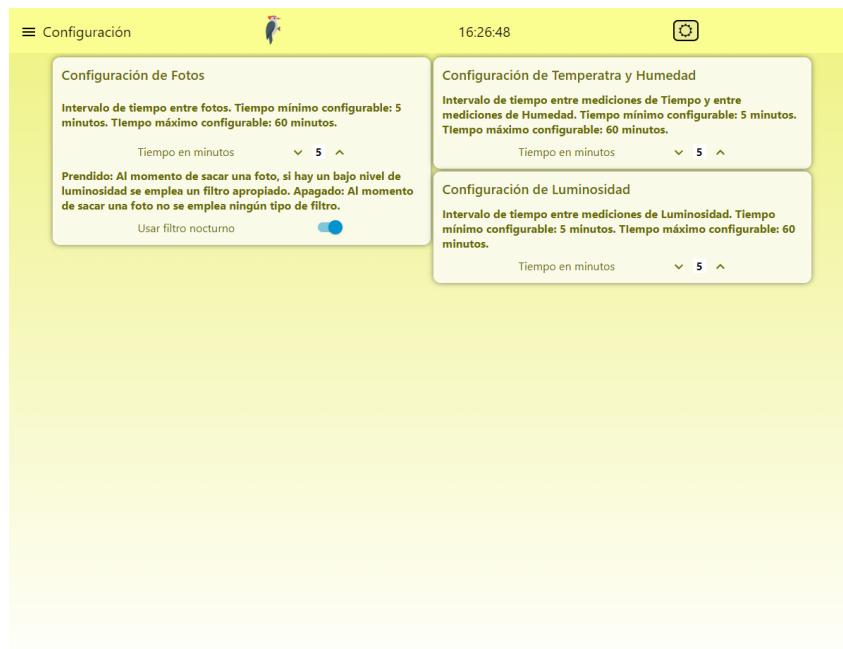


Figura 10.2.8.7: Configuración de la interfaz gráfica.

También es posible determinar si se desea o no emplear un filtro en la cámara al momento tomar fotos, considerando el nivel luminosidad. En caso de que dicha variable posea un valor bajo se emplea el filtro mejorando así la luminosidad de la foto.

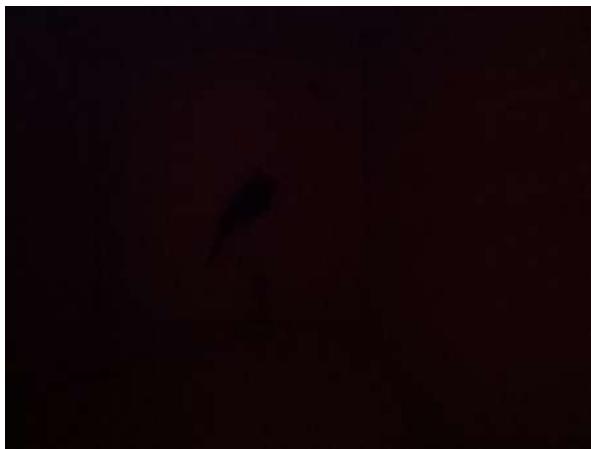


Figura 10.2.8.8: Foto tomada sin filtro de luminosidad.



Figura 10.2.8.9: Foto tomada con filtro de luminosidad.

Figura 10.2.8.10: Comparación entre el uso del filtro de luminosidad.

Cabe destacar que de la misma forma que se considera un usuario de administrador, la GUI cuenta con una cuenta con contraseña para brindarle acceso al usuario y así evitar el uso de cualquier persona que consiga conexión a la red.

11. Construcción del Prototipo

11.1 Prototipo Nido- Carga Batería

Al momento de comenzar la construcción del prototipo de nido, en el cual se validará la carga inalámbrica se propusieron 4 requerimientos que debía cubrir.

1. Condiciones análogas a las del nido real: Para este ítem el enfoque que se toma es una visión electromagnética. Un parámetro fundamental a definir es el ancho que tienen las paredes del nido prototipo. Se sabe que el menor valor que tiene la cavidad real es de 65mm [1].

Mediante el uso de la Equación (17) se calcula la profundidad de penetración de la onda electromagnética.

$$\delta = \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu \sigma}} \quad (17)$$

Este valor simboliza la distancia que penetra la onda electromagnética hasta ser atenuada en un 63 %. Para ello se sabe que los valores de las constantes son los siguientes:

- Frecuencia $f = 915 \text{ MHz}$.
- Permeabilidad magnética de la madera [15]: $\mu_{\text{Madera}} = 1.25663760 \mu \frac{\text{H}}{\text{m}}$.
- Conductividad de la madera [16]: $\sigma \approx 1 \text{ m} \frac{\text{S}}{\text{m}}$.

Con los valores mencionados, reemplazando en la Ecuación (17) se obtiene que $\delta = 526 \text{ mm}$. De este resultado se concluye que independientemente del espesor del prototipo, siempre que sea menor al real. La onda electromagnética no es atenuada a un 63 % de su amplitud. Por lo que atraviesa tanto el arbol como el prototipo sin problemas.(Pensando en las paredes.)

Luego se procede a calcular el coeficiente de reflexión de la onda electromagnética. Para ello se sabe también que las permitividades de la madera y aire son:

- $\epsilon_{\text{Madera}} = 17.710^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}}$ [17].
- $\epsilon_{\text{Aire}} = 8.859500310^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}}$
- $\mu_{\text{Aire}} = 1.25663753 \mu \frac{\text{H}}{\text{m}}$

También se calcula la impedancia de la madera como:

$$\eta_{\text{Madera}} = \sqrt{\frac{\mu_{\text{Madera}}}{\epsilon_{\text{Madera}}}} \quad (18)$$

Es así que el coeficiente de reflexión se calcula de la siguiente forma:

$$\Gamma = \frac{\eta_2 - \eta_1}{\eta_2 + \eta_1} = -0.1714 \quad (19)$$

Se observa en la Ecuación (19) que el resultado presenta un valor negativo. Lo que esto implica es una inversión de fase en la onda electromagnética reflejada respecto de la incidente. Esto implica una interferencia destructiva, para determinar las implicancias de esta interferencia se calcula la potencia de la onda reflejada, siendo esta $P_{ref} = |\Gamma|^2 = 0.029$. Es así que se nota que menos de un 3 % de la potencia será reflejada. De esta forma se puede afirmar que no habrá una interferencia significativa con la transmisión original. Finalmente cabe notar que el resultado del coeficiente de reflexión no depende del espesor. Únicamente de la impedancia de los medios. Por lo que de aquí se concluye que el espesor de la madera no juega un papel significativo en el prototipo de nido.

2. Altura regulable: La altura entre el receptor de potencia y el transmisor debe ser variable entre 30 y 64 cm debido a que no todos los nidos tienen la misma altura y así se podrá simular eso.
3. Sujeción instrumental: El prototipo debe brindar alguna manera de asegurar la electrónica al prototipo.
4. Conocimiento de la distancia entre el receptor y el transmisor de potencia: Para ello utilizamos un sensor ultrasónico que estará montado en la parte interior de la tapa, con un display en la parte exterior. las mediciones y control del display se hará con un pequeño microcontrolador.(Cabe mencionar que este módulo de ultrasonido será utilizada únicamente en el prototipo, no con un ave real, debido a que se sabe que las aves son alteradas por dichas ondas de ultrasonido)

Con estos requerimientos cumplidos se diseña el prototipo de nido, con los planos especificados en (16.1.2) (16.1.3) (16.1.4) y (16.1.5)

11.2 Prototipo Mochila - Carga

Para este prototipo se utiliza la placa de desarrollo P1110 de energy harvesting. (TBC)

11.3 Prototipo Mochila - Comunicación

Para esto se utilizará un módulo BLE para transmitir un set de datos GPS de aproximadamente un peso de 2KBy y un pin lógico que permita activar la recepción de datos del lado del nido.

12. Validación del Prototipo

12.1 Validación del hardware

12.1.1 Plan y protocolos especiales de medición

12.1.2 Medidas

12.1.3 Evaluación

12.1.4 Resultados

12.2 Validación de software

13. Estudios de Confidabilidad de Hardware y de Software

14. Conclusiones

14.1 Excelencias. Objetivos alcanzados

14.2 Fallos. Recomendaciones para futuros diseños

15. 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] Large.stanford.edu. n.d. Wireless Power Efficiency. [online] Disponible en: <http://large.stanford.edu/courses/2016/ph240/surakitbovorn1/> [Accedido 26 Jun 2021].
- [3] Palmberg, E., Lundmark, S., Alatalo, M., Thiringer, T. and Karlsson, R., 2012. Wireless Charging - some key elements. [online] Publications.lib.chalmers.se. Disponible en: <https://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/175567/175567.pdf> [Accedido 26 Jun 2021].
- [4] Abatti, P., Pichorim, S. and de Miranda, C., 2015. Maximum Power Transfer versus Efficiency in Mid-Range Wireless Power Transfer Systems. *Journal of Microwaves, Optoelectronics and Electromagnetic Applications*, 14(1), pp.97-109.
- [5] Occupational Safety and Health Administration, Cincinnati Technical Center (May 20, 1990). "Electromagnetic Radiation and How It Affects Your Instruments. Near field vs. Far field" Disponible en: <https://www.osha.gov/radiofrequency-and-microwave-radiation/electromagnetic-field-memo> [Accedido 25 Jun 2021].
- [6] V. Nikitin, P., Rao, K. and Lazar, S., n.d. An Overview of Near Field UHF RFID.
- [7] Vistnes, A., 2018. Physics of Oscillations and Waves. Oslo, Norway: Springer, Chapter 9.
- [8] Humavox. n.d. Our Technology – Humavox. [online] Available at: <http://www.humavox.com/our-technology/> [Accedido 27 June 2021].
- [9] Life.itu.int. n.d. Terms and definitions. [online] Disponible en: <https://life.itu.int/radioclub/rr/art1.pdf> [Accedido 26 Jun 2021].
- [10] Sma.gov.jm. n.d. ITU Radio Regulations, CHAPTER II – Frequencies, ARTICLE 5 Frequency allocations, Section IV – Table of Frequency Allocations. [online] Disponible en: https://www.sma.gov.jm/sites/default/files/publication_files/ITU-R_Radio_Regulations_2012_%202015_%20Article_5_Table%20of%20Frequencies.pdf [Accedido 26 Jun 2021].
- [11] L. Upton, 2014. Penguin Lifelines. [Blog] Raspberry Pi Blog, Disponible en: <https://www.raspberrypi.org/blog/penguin-lifelines/> [Accedido 24 May 2021].
- [12] Raspberry Projects [Blog] www.projects-raspberry.com [online]. Disponible en: <https://projects-raspberry.com/how-much-power-does-raspberry-pi-3b-use-power-measurements/> [Accedido 25 May 2021].
- [13] "Raspberry Pi Documentation - Camera", Raspberrypi.org, 2021. [online]. Disponible en: <https://www.raspberrypi.org/documentation/accessories/camera.html>. [Accedido 05 Oct 2021].
- [14] "El tiempo en San Carlos de Bariloche en la primavera, temperatura promedio (Argentina) - Weather Spark", Es.weatherspark.com, 2021. [online]. Disponible en: <https://es.weatherspark.com/s/25786/0/Tiempo-promedio-en-la-primavera-en-San-Carlos-de-Bariloche-Argentina.> [Accedido 05 Oct 2021].
- [15] Engineeringtoolbox.com. 2021. Permeability. [online] Disponible en: https://www.engineeringtoolbox.com/permeability-d_1923.html [Accedido 19 Octubre 2021].
- [16] ThoughtCo. 2021. A Table of Electrical Conductivity and Resistivity of Common Materials. [online] Disponible en: <https://www.thoughtco.com/table-of-electrical-resistivity-conductivity-608499> [Accedido 19 Octubre 2021].
- [17] Engineeringtoolbox.com. 2021. Relative Permittivity - the Dielectric Constant. [online] Disponible en: https://www.engineeringtoolbox.com/relative-permittivity-d_1660.html [Accedido 19 Octubre 2021].

16. Anexos Técnicos

16.1 Esquemáticos

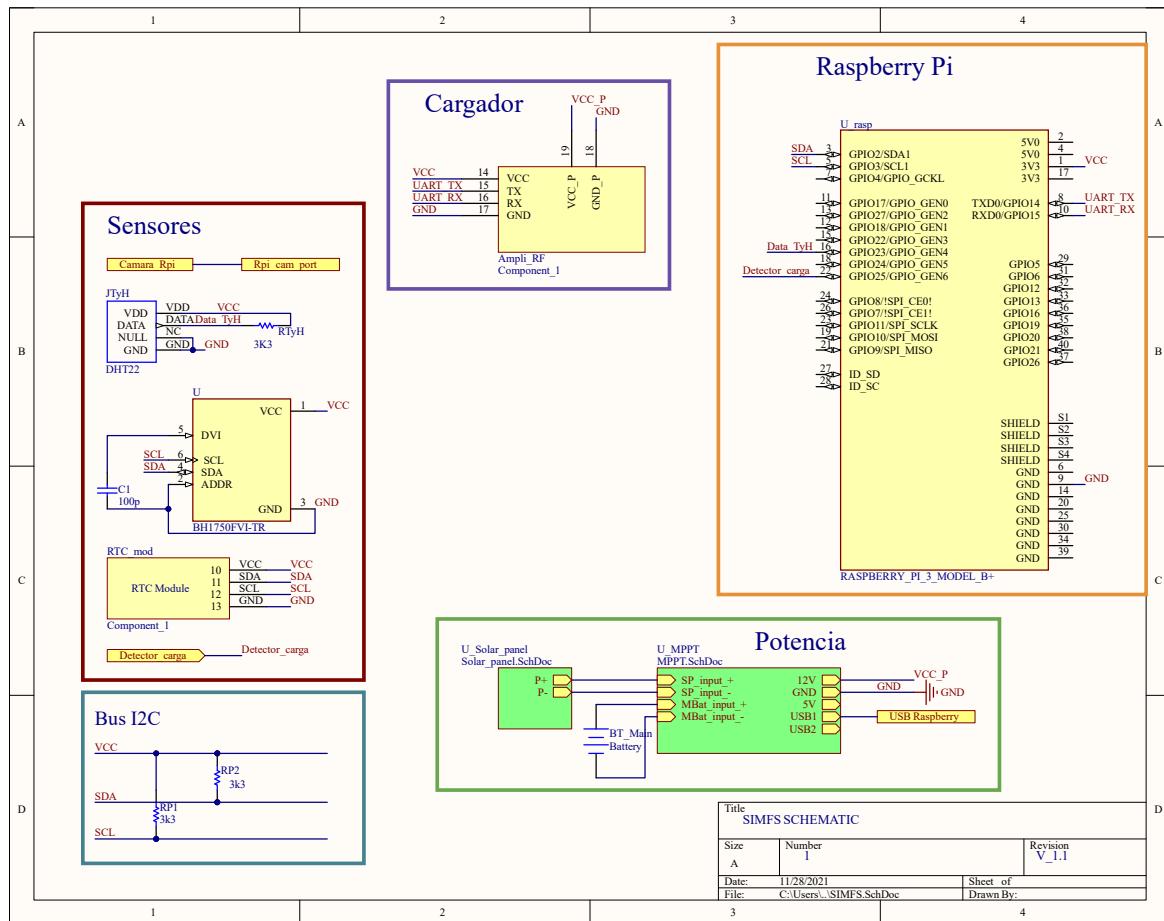


Figura 16.1.1: Esquemático de conexionado.

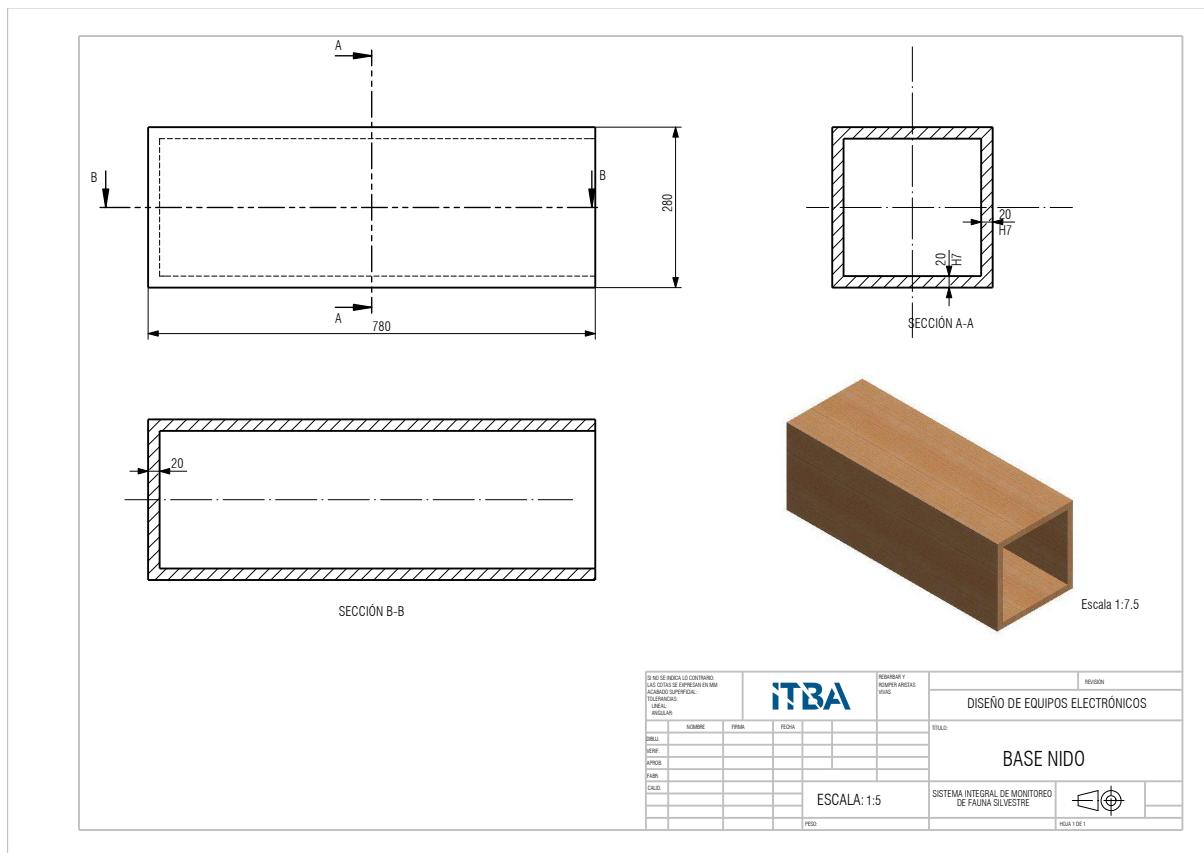


Figura 16.1.2: Plano de la base del nido prototipo.

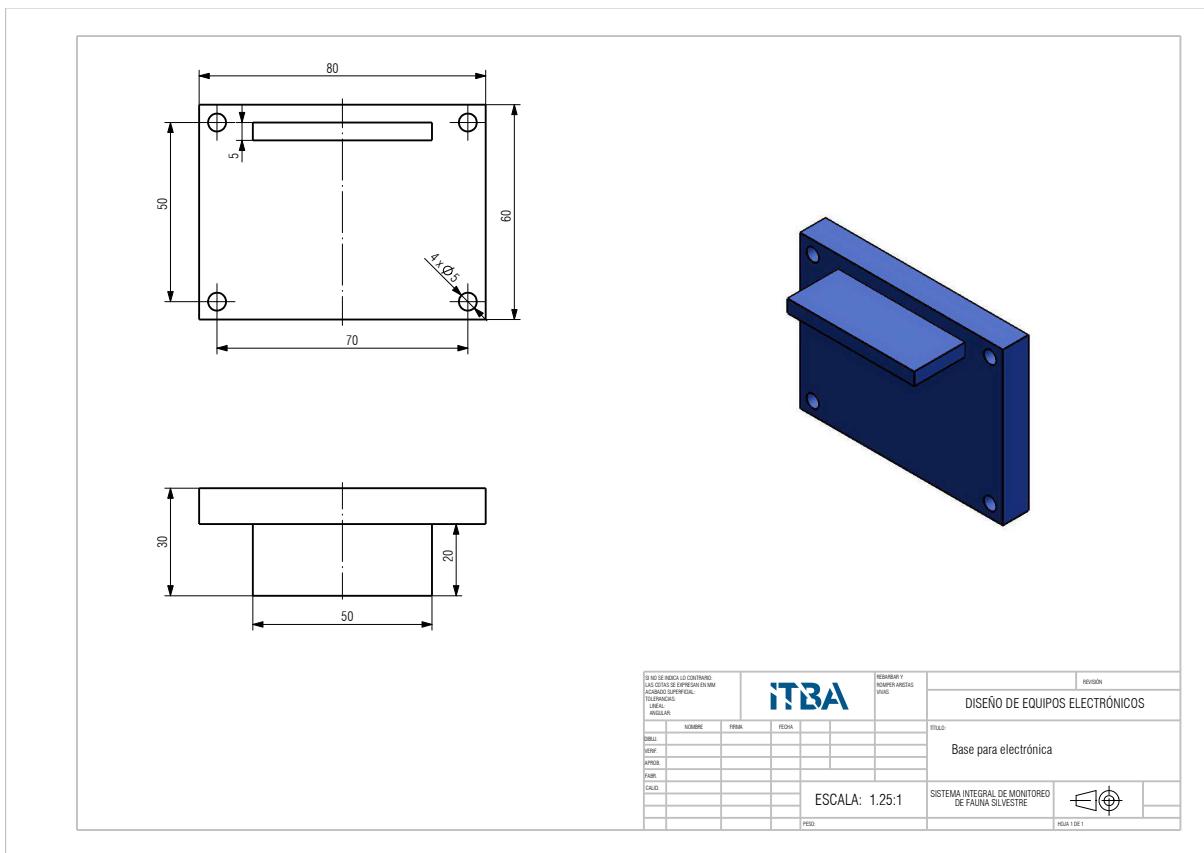


Figura 16.1.3: Plano de la base para la electrónica prototipo.

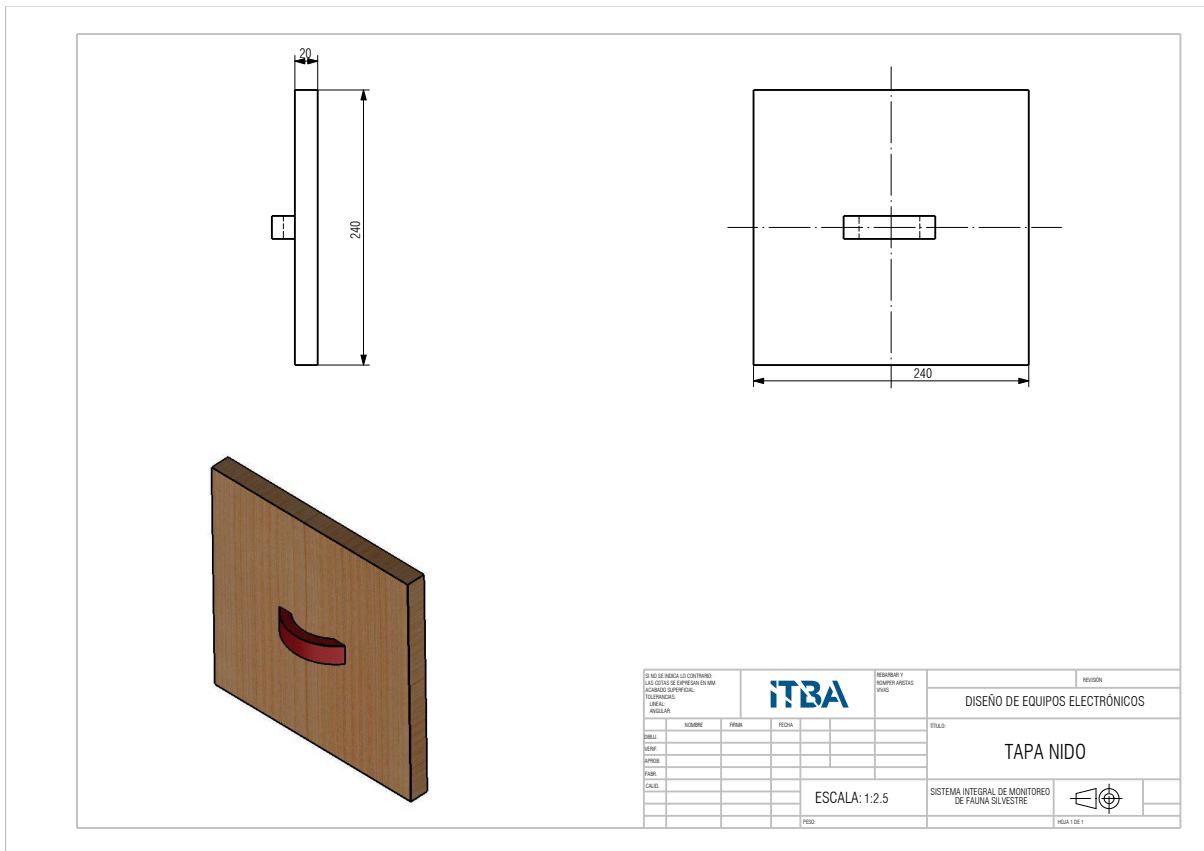


Figura 16.1.4: Plano de la tapa del nido prototipo.

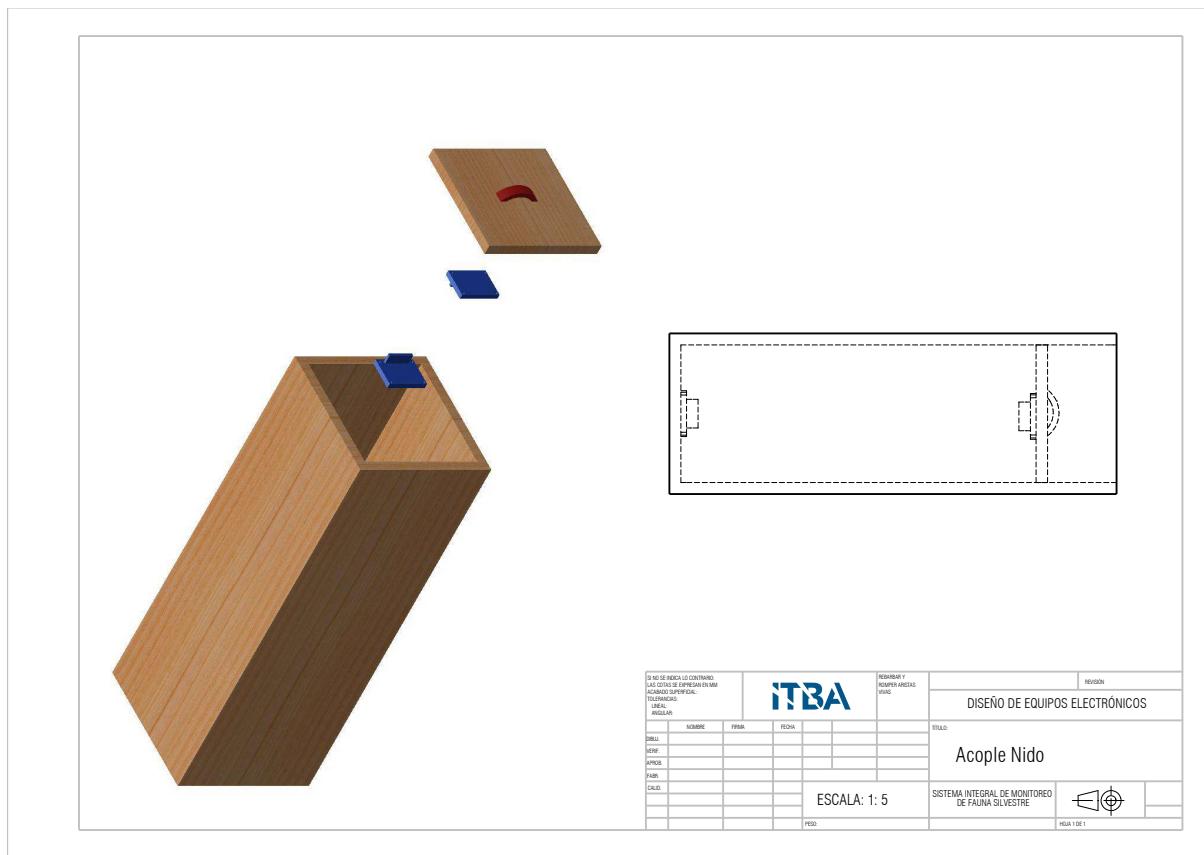


Figura 16.1.5: Plano explotado del nido prototipo.

16.2 Planos de PCB

(TBD)

16.3 Lista de materiales

Para la lista de materiales se separó en 6 grupos,

16.3.1 Potencia

- Panel Solar (TBD)
- Regulador MPPT DFR0580
- Batería de gel de ciclo profundo (TBD)

16.3.2 Sensores

- DHT-22
- BH-1750
- RPi-CMOD-V2
- DS-3231
- 5 Resistencias de $4k7\ \Omega$
- 5 Capacitores de 100pF

16.3.3 Unidad de procesamiento

- RPi-3B
- SDSDQAF3-XI 16GBy

16.3.4 Cargador

- P1110B (Energy Harvester)
- Amplificador de Potencia (TBD)
- HM-TRPW-RS232 (Oscilador)
- DC-DC (TBD)
- Antena Transmisora (TBD)
- Antena Receptora (TBD)

16.3.5 Prototipo para pruebas

- Placa de desarrollo P1110
- Caja de madera correspondiente a los planos (16.1.2) (16.1.3) (16.1.4) y (16.1.5)
- Arduino mini pro
- Sensor ultrasónico SR04
- Display Oled 0.96 I2c 128x64
- Batería 9V
- Conector Clip de batería
- Llave selectora
- Caja plástica 50mmx90mmx60mm

16.3.6 Misceláneo

- 5m cable rojo 2mm
- 5m cable negro 2mm
- 3m cable amarillo 2mm
- 3m cable verde 2mm
- Pines macho
- Termocontraíble 3mm
- 3m Estaño

16.4 Código de software

(TBD)

16.5 Hojas de datos

(TBD)

16.6 Hojas de Aplicación

(TBC)

16.7 Otra documentación técnica

(TBD)