

0.1 Factibilidad Tecnológica

0.1.1 Esquema Modular

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

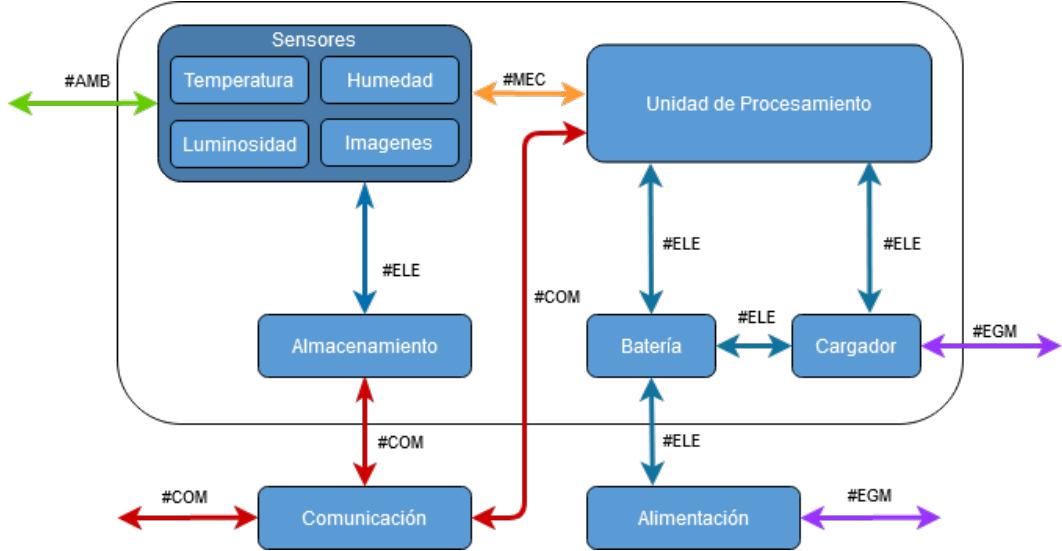


Figura 0.1.1.1: Diagrama modular del sistema.

0.1.2 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.

0.1.2.1 Temperatura

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

Aspectos comparativos	TC-K	PT-100	Ds18b20	DHT-22
Costo [USD]	4.6	5.2	1.4	4.9
Tipo de salida	Analógico	Analógico	Digital	Digital
Temperatura de operación [°C]	-40 ~ 1200	-50 ~ 200	-10 ~ 85	-40 ~ 80
Interfaz de conexionado	Se debe proporcionar un circuito amplificador	Se debe proporcionar un circuito convertidor de resistencia a tensión	-	-
Presición [°C]	± 1.5	± 0.1	± 0.5	± 0.5
Estabilidad	Tienden a envejecer	-	-	-
Autocalentamiento	-	Depende de la corriente de medición.	Bajo	Bajo
Imagen	2pt 2pt	2pt 2pt	2pt 2pt	2pt 2pt

Tabla 0.1.2.1.1: Comparación entre sensores de temperatura.

0.1.2.2 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	2pt 2pt	2pt 2pt	2pt 2pt	2pt 2pt

Tabla 0.1.2.2.1: Comparación de sensores de humedad.

0.1.2.3 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	2pt 2pt 	2pt 2pt 	2pt 2pt 	2pt 2pt 

Tabla 0.1.2.3.1: Comparación de sensores de luminosidad.

0.1.2.4 Imágenes

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

Aspectos comparativos	RPi-CMOD-V1	RPi-CMOD-V2	RPi-HQC	RPi-ZEROC
Costo [USD]	25	25	50	20
Tamaño [mm]	25 x 24 x 9	25 x 24 x 9	38 x 38 x 18.4	8.6 x 8.6 x 5.2
Resolución de la cámara [MP]	5	8	12.3	5
Integración Linux	V4L2 driver	V4L2 driver	V4L2 driver	V4L2 driver
C API	OpenMAX IL y otras	OpenMAX IL y otras	-	-
Peso [g]	3	3.4	53	1.1
Sensor	OmniVision OV5647	Sony IMX219	Sony IMX477	OV5647
Temperatura de operación [°C]	-25~80	-25~80	-25~80	-25~80
Imagen	2pt 2pt 	2pt 2pt 	2pt 2pt 	2pt 2pt 

Tabla 0.1.2.4.1: Comparación entre cámaras.

0.1.2.5 Modulo RTC

Es fundamental contar con un método para conocer la fecha y hora de manera confiable. Tanto como para saber en qué momento fueron tomadas las mediciones como así también saber en qué 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	Imagen_ds3231	Imagen_ds1302	Imagen_ds1307

0.1.3 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	2pt 2pt 	2pt 2pt 	2pt 2pt 

Tabla 0.1.3.1: Comparación entre memorias SD.

0.1.4 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 Compute Module 4
Costo [USD]	55	25.5	100
Temperatura de operación [°C]	0 ~ 50	-20 ~ 85	-20 ~ 85
Memoria	1 [GB] ~ 8 [GB]	512 [MB]	1 [GB] ~ 8 [GB]
Conexiones	Wireless LAN, Bluetooth 5.0, Ethernet, USB	Wireless LAN, Bluetooth 4.1 (BLE), Micro USB, mini HDMI	Wireless LAN, Bluetooth 5.0 (BLE), Ethernet, USB, antena externa
Sonido y video	Micro HDMI, MIPI DSI y CSI	Mini HDMI, HDMI, CSI, PAL/NTSC pads	HDMI, MIPI DSI y CSI, SDIO
Soporte SD	Almacenamiento y carga de SO	Micro SD	Entrada SD para tarjeta o eMMC externo
Dimensiones [mm]	85.6 x 56.5	65 x 30	40 x 55
Alimentación	5 V (3 A)	5 (1.2 A)	5 V (1.4 A)
Imagen	2pt 2pt 	2pt 2pt 	2pt 2pt 

Tabla 0.1.4.1: Comparación entre placas Raspberry Pi.

0.1.5 Propuesta de Batería

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

Aspectos comparativos	Kijo Serie JDG	Kijo Serie JLG	Fenk JS12-20	Fenk Serie JM12
Costo [ARS]	30500 ~ X	-	6365 ~ 8744	20332 ~ 76110
Temperatura de operación [°C]	-20 ~ 50	-20 ~ 50	-20 ~ 50	-20 ~ 50
Tensión nominal [V]	12	12	12	12
Capacidad [Ah]	33 ~ 250	100 ~ 200	13.2 ~ 20.0	32.7 ~ 200.0
Dimensiones (máximas) [mm]	52 x 268 x 220	499 x 259 x 219	181 x 77 x 167	522 x 240 x 219
Peso [kg]	10 ~ 61	30 ~ 74	5.45	15.5 ~ 57.0
Porcentaje de autodescarga (mensual a 25 °C)	3 %	3 %	3 %	3 %
Imagen	2pt 2pt 	2pt 2pt 	2pt 2pt 	2pt 2pt 

Tabla 0.1.5.1: Comparación entre baterías gel de carga profunda.

0.1.6 Propuesta de Cargador

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

0.1.6.1 Integrado de Energy Harvesting

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

Debido a que la aplicación es de una distancia que cae en el rango del campo lejano, se optó por la radiofrecuencia. Es así que surgieron los integrados IC-P2110 y IC-P1110 de PowerCast, los cuales

permiten la recolección de energía de radio frecuencia almacenando esta en capacitores o con la opción de directamente cargar una batería (P1110). A continuación se comparan los dos IC.

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

Tabla 0.1.6.1.1: Comparación entre cargadores.

0.1.7 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 0.1.7.1: Comparación entre paneles solares.

0.1.7.1 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	CN3767	CN3791	CN3306
Costo [USD]	33	48	11
Temperatura de operación	-40°C ~ 85°C	-40°C ~ 85°C	-40°C ~ 85°C
Tensión de operación [V]	6.6 ~ 30	4.5 ~ 28	4.5 ~ 32
Tecnología de batería	LA	Li-ion	Multi-Chemistry
Máxima corriente salida [A]	4	4	1.5
MPPT	Si	Si	Si
Imagen	2pt 2pt 	2pt 2pt 	2pt 2pt 

0.1.8 Propuesta de Carga de UBM

0.1.8.1 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 [?].

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

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

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

$$\begin{cases} \frac{60 \text{ mWh}}{11 \text{ hs}} = 5.5 \text{ mW} & \text{Mejor caso} \\ \frac{60 \text{ mWh}}{8.5 \text{ hs}} = 7 \text{ mW} & \text{Peor caso} \end{cases} \quad (2)$$

0.1.8.2 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.

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \left(\mathbf{J} + \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \right) \quad (3)$$

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.

$$\nabla \times \mathbf{E} = - \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad (4)$$

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

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}} \quad (5)$$

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 [?], 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 [?] [?].

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.

0.1.8.3 Carga por Radiofrecuencia

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

$$E_\theta = -\frac{\eta}{4\pi} I \cdot \Delta L \cdot k^2 \cdot \sin\theta \cdot e^{-jkr} \left[\frac{1}{jkr} + \left(\frac{1}{jkr} \right)^2 + \left(\frac{1}{jkr} \right)^3 \right] \quad (6)$$

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

$$\begin{cases} 0 < d < \frac{\lambda}{2\pi} & \text{Campo cercano reactivo o inductivo} \\ \frac{\lambda}{2\pi} < d \lesssim \lambda & \text{Campo cercano radiativo o de Fresnel} \\ \lambda \lesssim d \lesssim 2\lambda & \text{Zona de transición} \\ 2\lambda \lesssim d < \infty & \text{Campo lejano o de Fraunhofer} \end{cases} \quad (7)$$

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 [?]. Los dispositivos RFID suelen operar en esta zona [?].

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 [?].

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

$$\frac{P_r}{P_t} = \left(\frac{A_r A_r}{d^2 \lambda^2} \right) \quad (8)$$

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

$$P_r[dBm] = P_t[dBm] + Gt[dB] + Gr[dB] - L_{bf}[dB] - L_{cab}[dB] - L_{roe}[dB] - L_r[dB] \quad (9)$$

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

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

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 las líneas de transmisión que conectan con las antenas.

0.1.8.4 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 [?] [?].
- Esta frecuencia pertenece a la banda ISM, la cual está reservada para propósitos industriales, científicos o médicos, excluyendo las aplicaciones de telecomunicaciones [?], atribuidas a la Región 2 definida por la ITU como América [?].

0.1.8.5 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.

0.1.8.6 Comparación entre Antenas

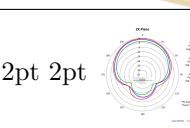
Aspectos comparativos	APAE915R2540ABDB1-T	W3215	ISPC.91A.09.0092E
Costo [USD]	3.66	12.47	20.91
Dimensiones [mm]	25 x 25 x 4	40 x 40 x 6	47 x 47 x 6.5
Frecuencia Central [MHz]	915	915	915
Impedancia [Ω]	50	50	50
Polarización	RHCP	Lineal vertical	RHCP
Ganancia [dBi]	1.5	4.5	5 (30 x 30 ground plane)
ROE	1.5	1.23	1.28
Imagen	2pt 2pt 	2pt 2pt 	2pt 2pt 
Lóbulo	2pt 2pt 	2pt 2pt 	2pt 2pt 

Tabla 0.1.8.6.1: Comparación entre antenas transmisoras (Parte 1).

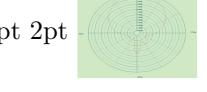
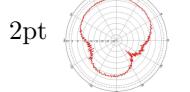
Aspectos comparativos	APAES915R80C16-T	ARRKP7059-S915B
Costo [USD]	34.28	50.73
Dimensiones [mm]	80 x 80 x 6	70 x 70 x 5.9
Frecuencia Central [MHz]	915	915
Impedancia [Ω]	50	50
Polarización	RHCP	RHCP
Ganancia [dBi]	2 (120 x 120 ground plane)	2.8 (70 x 70 ground plane)
ROE	1.3	≤ 2
Imagen	2pt 2pt 	2pt 2pt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

Tabla 0.1.8.6.2: Comparación entre antenas transmisoras (Parte 2).

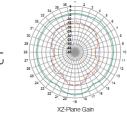
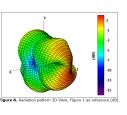
Aspectos comparativos	ANT-915-CPA	FXP290.07.0100A	NN01-105
Costo [USD]	3.9	15.39	3.53
Dimensiones [mm]	25 x 25 x 4	70 x 45 x 0.1	18 x 7.3 x 0.8
Frecuencia Central [MHz]	915	915	915
Impedancia [Ω]	50	50	50
Polarización	RHCP	Lineal	Lineal
Ganancia [dBi]	1.5	0.5	1.7
Eficiencia [%]	38	43	85
ROE	≤ 1.2	1.5	1.4
Peso [gr]	13.2	1.5	0.2
Imagen	2pt 2pt 	2pt 2pt 	2pt 2pt 
Lóbulo	2pt 2pt 	2pt 2pt 	“Omnidireccional”

Tabla 0.1.8.6.3: Comparación entre antenas receptoras (Parte 1).

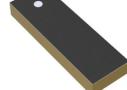
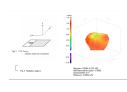
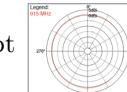
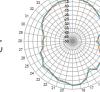
Aspectos comparativos	ANT1204F005R0915A	1513156-1	ANT-915-USP410
Costo [USD]	1.52	2.8	1.45
Dimensiones [mm]	12.20 x 4 x 1.6	38.1 x 6.6 x 1.57	13.2 x 9.1 x 2.9
Frecuencia Central [MHz]	915	915	915
Impedancia [Ω]	50	50	50
Polarización	Lineal	Lineal	Lineal
Ganancia [dBi]	1.59	1	0
Eficiencia [%]	-	88	27
ROE	-	1.85	1.5
Peso [gr]	-	< 0.9	0.6
Imagen	2pt 2pt 	2pt 2pt 	2pt 2pt 
Lóbulo	2pt 2pt 	2pt 2pt 	2pt 2pt 

Tabla 0.1.8.6.4: Comparación entre antenas receptoras (Parte 2).

0.1.9 Elección de una Solución

0.1.9.1 Sensores

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

Una desventaja de la TC es que tiende a envejecer rápidamente. Si bien el dispositivo no se usará más de 3 meses seguidos, este podrá ser reutilizado, dándole mayor peso al factor del envejecimiento.

El autocalentamiento también es contraproyectivo en la medición de temperatura debido a que este puede alterar la misma si no es tenido en cuenta. Las TC no cuentan con este inconveniente debido a su principio de funcionamiento, mientras que con las otras opciones si lo es. Con la RTD este efecto depende directamente con la corriente que se suministra para la medición, y con los IC es un aspecto que es considerado por los diseñadores de los mismos.

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

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

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

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

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

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

Finalmente, para la cámara que obtendrá las imágenes, se tuvo en cuenta fundamentalmente la relación precio-resolución de la cámara, al igual que la integración con Linux y el factor de contar con una API para el lenguaje C. Por lo que la RPi-ZeroC fue la cámara seleccionada.

0.1.9.2 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 32 GBy es suficiente incluso si aumenta el volumen de datos.

0.1.9.3 Unidades de procesamiento

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

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

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

0.1.9.4 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 Zero W.

0.1.9.5 Cargador

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

0.1.9.6 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 corresponden a:

- Sensor temperatura y humedad: 1.5 mW .
- Sensor luminosidad: 5 mW .
- R-pi zero W + Camara: 1.5 W .
- Transmisor de potencia: **(TBD)** W.

De esta forma, para alimentar tanto a los sensores como a la R-Pi se requieren **(TBD)** W. Con la batería **(TBD)** se consigue la especificación mencionada.

0.1.9.7 Alimentación

Para poder abastecer a la batería seleccionada, con un panel **(TBD)** 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 CN3767 debido a la tecnología de la batería a usar.

0.1.9.8 Antenas

Por un lado, para el caso de las antenas transmisoras, se descartan APAE915R2540ABDB1-T, APAES915R80C16-T y ARRKP7059-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.

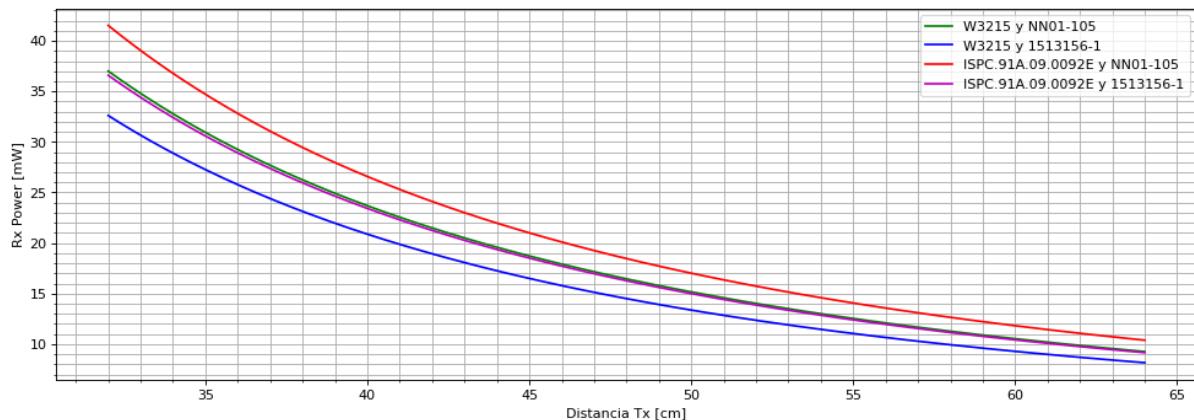


Figura 0.1.9.8.1: Potencia recibida en la antena Rx en función de la distancia entre antena Tx y antena Rx.

Se puede observar que casi todas las combinaciones de antenas cumplen con la potencia necesaria para el mejor y peor caso. Sin embargo, y tomando el mejor par Rx-Tx, al tener en cuenta la eficiencia de aproximadamente 70 % del P1110, la potencia a la salida de este cae por debajo del peor caso para distancias mayores a 55 cm aproximadamente.

A una distancia de 64 cm, la carga inalámbrica puede satisfacer la demanda energética de la mochila solamente si el ave permanece dentro del nido por aproximadamente 8 hs.

Por estas razones, se deberá complementar la recarga de la UBM utilizando un panel solar.

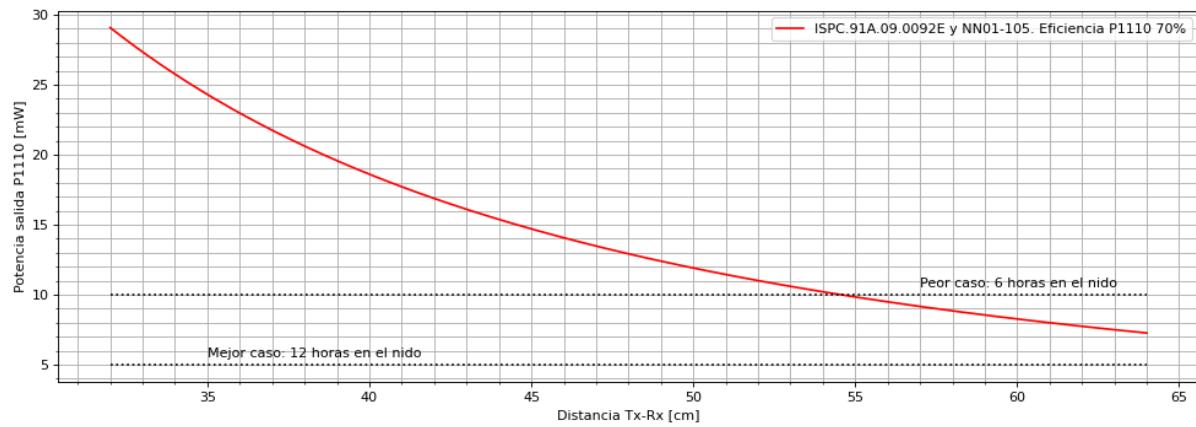


Figura 0.1.9.8.2: Potencia a la salida del P1110 en función de la distancia entre antena Tx y antena Rx.

(TBD) Aguardando compras para los ensayos prácticos de antenas y elección final

0.1.10 DFMEA

ANÁLISIS DE RIESGOS														
Nº	Efectos de falla	Modo de la falla	Causas de la falla	Aceptabilidad			Acción de reducción			NS	PO	DE	IC	Aceptabilidad
				NS	PO	DE	IC	NS	PO					
1	No se pueden realizar mediciones	Los sensores dejan de funcionar	Los sensores son dañados por el ave	4	4	2	32	Ocultar los sensores en la bóveda	4	2	2	2	16	
2	No se pueden realizar mediciones	Los sensores dejan de funcionar	El conexionado es dañado por el ave	4	4	2	32	Hacer más robusto el cableado	4	2	2	2	16	
3	Falta de energía solar	Falla en los paneles solares	Los paneles se encuentran dañados	5	3	2	30	Colocar protección para los paneles	5	2	2	2	20	
4	Falta de energía solar	La electrónica no funciona correctamente	Fue colocado en un lugar con obstrucciones	5	3	3	45	Instalar el panel solar sobre un tronco, donde no haya ramas u objetos que puedan obstruir	5	1	3	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	Seleccionar una batería más grande de la necesaria para almacenar un excedente	5	1	3	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	4	20	

Tabla 0.1.10.1: 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	PO	Aceptabilidad	Acción de reducción	NS	PO	Aceptabilidad
7	La electrónica deja de funcionar	La UP deja de funcionar	La UP se encuentra a una temperatura baja	5	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 0.1.10.2: 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 0.1.10.3: Criterio de IC.

Tabla 0.1.10.4: Nivel de IC.

0.2 Factibilidad de Tiempos

0.2.1 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.

0.2.2 Planificación

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

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

Tabla 0.2.2.1: Actividades a realizar en el proyecto en días de 8 horas cada uno.

0.2.3 Programación

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

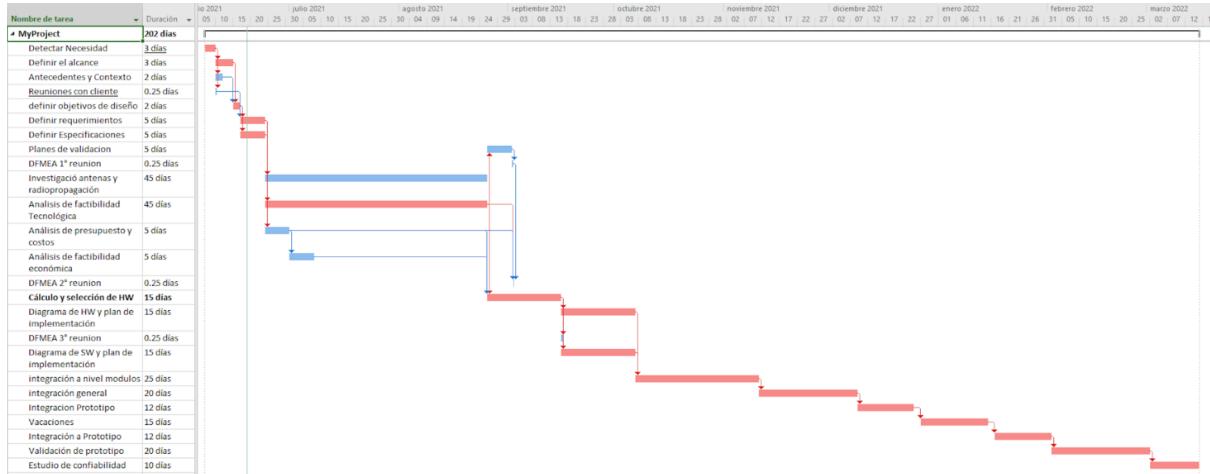


Figura 0.2.3.1: Diagrama de Gantt del proyecto.

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

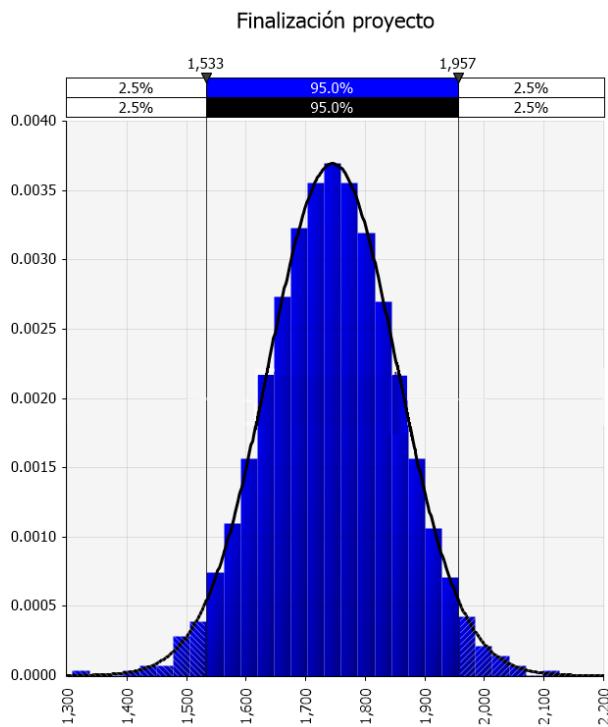


Figura 0.2.3.2: Simulación de Montecarlo.

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

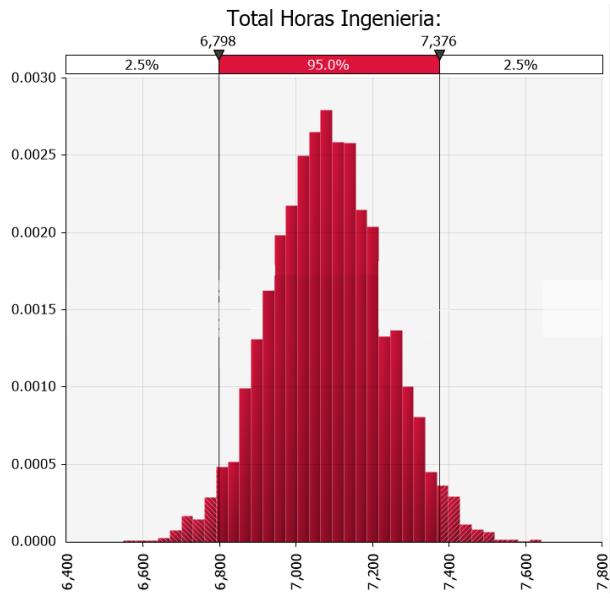


Figura 0.2.3.3: Simulación de Montecarlo para tiempo de ingeniería.

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.

0.3 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 las 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.

0.3.1 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.

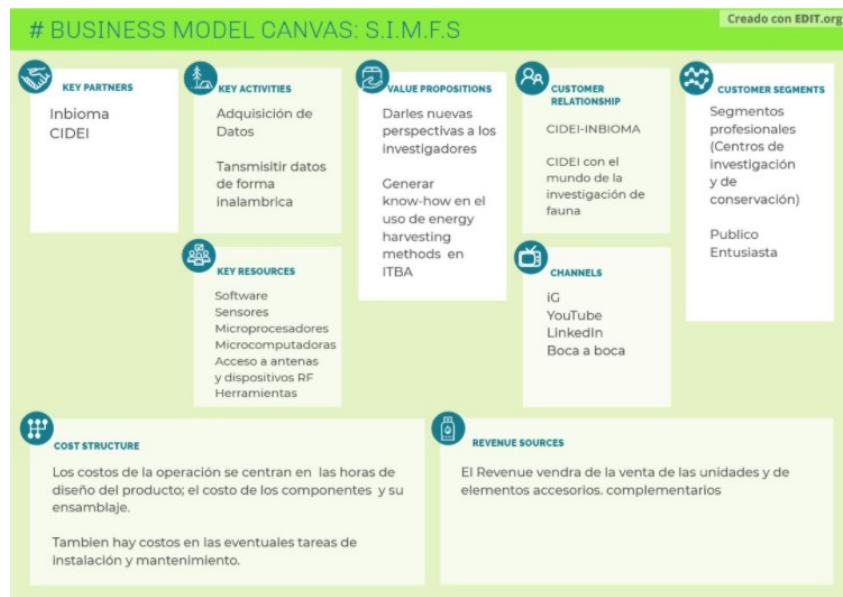


Figura 0.3.1.1: Modelo de negocio.

0.3.2 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:

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

0.3.3 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
Cámara	20
SDI 32GBy	32
R-Pi Zero W	25.5
Batería	(TBD)
Panel solar	(TBD)
P2110	32
Antena RX	(TBD)
Antena TX	(TBD)
MPPT	33
Encapsulado	16
Montaje	31

Tabla 0.3.3.1: Valores de insumos.

0.3.4 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

0.3.5 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.

0.4 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.
- 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.