



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**

**UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA DE  
INGENIERÍA CAMPUS ZACATECAS  
UPIIZ**

**TRABAJO TERMINAL  
“SISTEMA DE RADIOSONDA  
METEOROLÓGICA”**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO MECATRÓNICO**

**PRESENTA**

**ISRAEL DÁVILA MARTÍNEZ**

**ASESOR**

**M. EN C. ADÁN ORENDAY DELGADO**



Zacatecas, Zac., Diciembre del 2020



**Folio**  
UPIIZ/ESA/031/2021

**Asunto**  
DESIGNACIÓN  
ISRAEL DÁVILA MARTÍNEZ  
INGENIERÍA MECATRÓNICA  
BOLETA: 2012670014  
GENERACIÓN: 2012-2016

Zacatecas, Zac., a 02 de febrero de 2021

**C. ISRAEL DÁVILA MARTÍNEZ  
PRESENTE**

Mediante el presente se hace de su conocimiento que este Departamento acepta que el **Ing. Adán Orenday Delgado**, sea **Asesor** en el tema que propone usted a desarrollar como prueba escrita de la opción de Curricular, con el título y contenido siguiente:

**"Sistema de radiosonda meteorológica"**

Se concede un plazo de máximo de un año, a partir de esta fecha, para presentarlo a revisión por el jurado asignado.

M. EN C. JULIA JANETH ROSALES MARES  
Jefa del Departamento de Evaluación y  
Seguimiento Académico



MARIO CÉSAR ORDOÑEZ GUTIÉRREZ  
Subdirector Académico  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA  
INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL  
UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA  
DE INGENIERÍA CAMPUS ZACATECAS  
DIRECCIÓN





# INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA DE  
INGENIERÍA CAMPUS ZACATECAS  
UPIIZ

Trabajo Terminal II

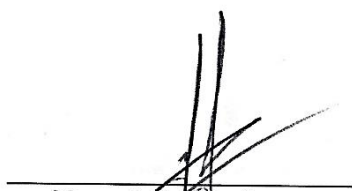
“Sistema de radiosonda meteorológica”

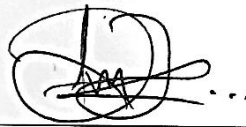
Que como trabajo terminal de  
Ingeniería Mecatrónica

Presenta:

  
Israel Dávila Martínez

  
M. en C. Adán Oreñday Delgado  
Asesor

  
M. en A. Mario Cesar  
Ordoñez Gutiérrez  
Presidente del jurado

  
M. en C. Flabio Dario  
Mirelez Delgado  
Secretario del jurado



Zacatecas, Zac., Junio del 2019

Autorización de uso de obra

**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**

Presente

Bajo protesta de decir verdad el que suscribe Israel Dávila Martínez, estudiante del programa de Ingeniería Mecatrónica, con numero de boleta 2012670014, adscrito a la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería campus Zacatecas; manifiesto ser autor y titular de los derechos morales y patrimoniales de la obra titulada **“Sistema de radiosonda meteorológica”**, en adelante “El Trabajo de Titulación” y de la cual se adjunta copia, por lo que por medio del presente y con fundamento en el artículo 27 fracción II, inciso b) de la Ley Federal del Derecho de Autor, otorgo al Instituto Politécnico Nacional, en adelante el “IPN”, autorización no exclusiva para comunicar y exhibir públicamente total o parcialmente en medios digitales “El Trabajo de Titulación” por un periodo indefinido contado a partir de la fecha de la presente autorización, dicho periodo se renovará automáticamente en caso de no dar aviso expreso al “IPN” de su terminación.

En virtud de lo anterior, el “IPN” deberá reconocer en todo momento mi calidad de autor de “El Trabajo de Titulación”.

Adicionalmente, y en mi calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales de “El Trabajo de Titulación”, manifiesto que la misma es original y que la presente autorización no contraviene a ninguna otra otorgada por el suscrito respecto de “El Trabajo de Titulación”, por lo que deslindo de toda responsabilidad al “IPN” en caso de que el contenido de “El Trabajo de Titulación” o la autorización concedida afecte o viole derechos autorales, industriales, secretos industriales, convenios o contratos de confidencialidad o en general cualquier derecho de propiedad intelectual de terceros y asumo las consecuencias legales y económicas de cualquier demanda o reclamación que puedan derivarse del caso.

Zacatecas, Zac., a 4 de febrero del 2021.

Atentamente



---

Israel Dávila Martínez

## ***Dedicatoria***

A mis padres,  
a quienes amo con toda mi vida.

A mi hermano y amigos,  
con quienes he compartido grandes vivencias.

A mi tío Jorge,  
que ha sabido aconsejarme y motivarme.

## ***Agradecimientos***

Agradezco a mis padres por brindarme todo lo que he necesitado para cumplir todas y cada una de mis metas. Por su inmensurable cariño, apoyo, confianza, paciencia, y motivación para concluir este ciclo de mi vida. Son mi mejor ejemplo a seguir.

A la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería Campus Zacatecas del Instituto Politécnico Nacional, que ha sido mi segundo hogar. Es un honor formar parte de tan distinguida institución, de la cual siempre llevare presentes sus valores, aplicando la técnica al servicio de la patria.

A mis amigos, maestros, compañeros y en general de toda la comunidad politécnica que de una forma u otra han contribuido en mi formación profesional y con quienes he compartido grandes vivencias.

## Índice de figuras

FIGURA 1.1.- COMPONENTES PRINCIPALES DE UNA RADIOSONDA. ....	3
FIGURA 1.2.- COMPONENTES PRINCIPALES DE LA ESTACIÓN RECEPTORA.....	4
FIGURA 2.1.- ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO DE FRECUENCIAS. ....	10
FIGURA 2.2.- EFECTOS DEL RUIDO SOBRE UNA SEÑAL: (A) SEÑAL SIN RUIDO; (B) SEÑAL CON RUIDO. ....	12
FIGURA 2.3.- COMPONENTES DE UN MICROCONTROLADOR. ....	14
FIGURA 2.4.- DISTINTOS FLUJOS DEL PROCESO DE SOFTWARE.....	19
FIGURA 2.5.- EJEMPLO DE DIAGRAMA DE CASOS DE USO. ....	21
FIGURA 2.6.- EJEMPLO DE DIAGRAMA DE ESTADOS. ....	21
FIGURA 3.1.- DESCRIPCIÓN DE LOS PINES DEL MICROCONTROLADOR STM32F051C4.....	26
FIGURA 3.2.- ESQUEMÁTICO DE LA ALIMENTACIÓN DEL MICROCONTROLADOR. ....	27
FIGURA 3.3.- DIAGRAMA ELÉCTRICO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA ALIMENTACIÓN.....	28
FIGURA 3.4.- DIAGRAMA ELÉCTRICO DE LA RADIOSONDA. ....	28
FIGURA 3.5.- PLANOS DE TIERRA EN LAS DOS CAPAS DE LA PCB PARA LA RADIOSONDA. ....	29
FIGURA 3.6.- VISTA SUPERIOR (IZQUIERDA) E INFERIOR (DERECHA) DE LA PCB PARA LA RADIOSONDA.....	29
FIGURA 3.7.- ETAPA DE ALIMENTACIÓN Y REGULACIÓN DE VOLTAJE.....	30
FIGURA 3.8.- CIRCUITO “SOFT START” PARA LA ENUMERACIÓN DE DISPOSITIVOS. ....	31
FIGURA 3.9.- ESQUEMÁTICO DE LA ESTACIÓN RECEPTORA. ....	32
FIGURA 3.10.- VISTA SUPERIOR DE LA PCB PARA LA ESTACIÓN RECEPTORA.....	33
FIGURA 3.11.- DIMENSIONES DE LA PCB PARA LA RADIOSONDA.....	34
FIGURA 3.12.- BATERÍA DE 9V. ....	34
FIGURA 3.13.- VISTA TRIDIMENSIONAL Y PLANO DE LA BASE INFERIOR. ....	35
FIGURA 3.14.- VISTA TRIDIMENSIONAL Y PLANO DE LA PLACA INTERMEDIA. ....	35
FIGURA 3.15.- .- PLANO Y DIMENSIONES DE LA BASE SUPERIOR. ....	36
FIGURA 3.16.- VISTA EXPLOSIONADA DEL ENSAMBLE DE LA RADIOSONDA. ....	36
FIGURA 3.17.- VISTA RENDERIZADA DE LA VISTA EXPLOSIONADA DEL ENSAMBLE DE LA RADIOSONDA. ....	37
FIGURA 3.18.- DIMENSIONES DE LA PCB PARA LA ESTACIÓN RECEPTORA. ....	37
FIGURA 3.19.- VISTA TRIDIMENSIONAL Y PLANO DE LA BASE PARA LA ESTACIÓN RECEPTORA.....	38
FIGURA 3.20.- VISTA TRIDIMENSIONAL Y PLANO DE LA TAPA PARA LA ESTACIÓN RECEPTORA. ....	38
FIGURA 3.21.- VISTA EXPLOSIONADA DEL ENSAMBLE DE LA ESTACIÓN RECEPTORA. ....	39
FIGURA 3.22.- VISTA RENDERIZADA DE LA VISTA EXPLOSIONADA DE LA ESTACIÓN RECEPTORA.....	39
FIGURA 3.23.- MODELO CONCEPTUAL DEL SOFTWARE PARA EL SISTEMA DE RADIOSONDA METEOROLÓGICA. ....	41
FIGURA 3.24.- DIAGRAMA GENERAL DE CASOS DE USO. ....	49
FIGURA 3.25.- DIAGRAMA DE CASOS DE USO DE REQF_01. ....	50
FIGURA 3.26.- DIAGRAMA DE CASOS DE USO DE REQF_02. ....	51
FIGURA 3.27.- DIAGRAMA DE CASOS DE USO DE REQF_03. ....	52
FIGURA 3.28.- DIAGRAMA DE CASOS DE USO DE REQF_04. ....	53
FIGURA 3.29.- DIAGRAMA DE CASOS DE USO DE REQF_05. ....	54
FIGURA 3.30.- DIAGRAMA DE CASOS DE USO DE REQF_06. ....	55
FIGURA 3.31.- DIAGRAMA DE CASOS DE USO DE REQF_07. ....	56
FIGURA 3.32.- DIAGRAMA DE CASOS DE USO DE REQF_08. ....	57
FIGURA 3.33.- DIAGRAMA DE CASOS DE USO DE REQF_09. ....	58
FIGURA 3.34.- DIAGRAMA DE CASOS DE USO DE REQF_10. ....	59
FIGURA 3.35.- DIAGRAMA DE ESTADOS DE LA APLICACIÓN PARA EL SONDEO. ....	60

FIGURA 4.1.- ESQUEMÁTICO DE LA PRIMERA VERSIÓN DE LA RADIOSONDA. ....	62
FIGURA 4.2.- PRIMERA VERSIÓN DEL DISEÑO DE LA PCB PARA LA RADIOSONDA Y LA ESTACIÓN RECEPTORA (VISTA SUPERIOR E INFERIOR).....	63
FIGURA 4.3.- PLANOS DE TIERRA EN LAS DOS CAPAS DE LA PCB PARA LA RADIOSONDA. ....	64
FIGURA 4.4.- SEGUNDA VERSIÓN DEL DISEÑO DE LA PCB PARA LA RADIOSONDA Y LA ESTACIÓN RECEPTORA (VISTA SUPERIOR E INFERIOR).....	64
FIGURA 4.5.- VERSIÓN FINAL DEL DISEÑO DEL ESQUEMÁTICO DE LA ESTACIÓN RECEPTORA. ....	65
FIGURA 4.6.- VERSIÓN FINAL DEL DISEÑO DE LA PCB DE LA ESTACIÓN RECEPTORA. ....	66
FIGURA 4.7.- CURVAS CARACTERÍSTICAS DE DESCARGA DE LA BATERÍA DE 9V. ....	69
FIGURA 4.8.- RANGO DE TRANSMISIÓN Y RECEPCIÓN DEL MÓDULO DE RADIOFRECUENCIA. ....	70
FIGURA 4.9.- PANORAMA DE LA PRIMERA PRUEBA A 800 METROS DE DISTANCIA LÍNEA DE VISTA. ....	71
FIGURA 4.10.- UBICACIÓN DE LA ESTACIÓN RECEPTORA Y LA RADIOSONDA EN LA PRIMERA PRUEBA MEDIANTE LA HERRAMIENTA DE GOOGLE MAPS. ....	72
FIGURA 4.11.- UBICACIÓN DE LA ESTACIÓN RECEPTORA Y LA RADIOSONDA EN LA SEGUNDA PRUEBA MEDIANTE LA HERRAMIENTA DE GOOGLE MAPS. ....	73



## Índice de tablas

TABLA 2.1.- REQUISITOS DE EXACTITUD.....	8
TABLA 2.2.- FACTORES A CONSIDERAR EN LA ELECCIÓN DE UN SENSOR.....	9
TABLA 2.3.- BANDAS DE FRECUENCIA DETERMINADO POR LA ITU.....	10
TABLA 2.4.- BANDAS DE FRECUENCIAS PARA LA METEOROLOGÍA.....	11
TABLA 2.5.- CLASIFICACIÓN DEL RUIDO ELÉCTRICO.....	13
TABLA 3.1.- TABLA COMPARATIVA DE MICROCONTROLADORES.....	22
TABLA 3.2.- TABLA DE VALORES PONDERADOS PARA LA SELECCIÓN DEL MICROCONTROLADOR.....	22
TABLA 3.3.- TABLA COMPARATIVA DE SENSORES DE TEMPERATURA.....	23
TABLA 3.4.- TABLA DE VALORES PONDERADOS PARA LA SELECCIÓN DEL SENSOR DE TEMPERATURA.....	23
TABLA 3.5.- TABLA COMPARATIVA DE SENSORES DE HUMEDAD.....	24
TABLA 3.6.- TABLA DE VALORES PONDERADOS PARA LA SELECCIÓN DEL SENSOR DE HUMEDAD.....	24
TABLA 3.7.- TABLA COMPARATIVA DE SENSORES DE PRESIÓN.....	24
TABLA 3.8.- TABLA DE VALORES PONDERADOS PARA LA SELECCIÓN DEL SENSOR DE PRESIÓN.....	25
TABLA 3.9.- TABLA COMPARATIVA DE MÓDULOS DE RADIOFRECUENCIA.....	25
TABLA 3.10.- TABLA DE VALORES PONDERADOS PARA LA SELECCIÓN DEL MÓDULO DE RADIOFRECUENCIA.....	25
TABLA 3.11.- REQUERIMIENTOS FUNCIONALES.....	42
TABLA 3.12.- REQUERIMIENTOS NO FUNCIONALES.....	43
TABLA 3.13.- REQF_01.....	43
TABLA 3.14.- REQF_02.....	44
TABLA 3.15.- REQF_03.....	44
TABLA 3.16.- REQF_04.....	44
TABLA 3.17.- REQF_05.....	45
TABLA 3.18.- REQF_06.....	45
TABLA 3.19.- REQF_07.....	45
TABLA 3.20.- REQF_08.....	46
TABLA 3.21.- REQF_09.....	46
TABLA 3.22.- REQF_10.....	47
TABLA 3.23.- REQNF_01.....	47
TABLA 3.24.- REQNF_02.....	47
TABLA 3.25.- DIAGRAMAS UML IMPLEMENTADOS.....	48
TABLA 3.26.- CASOS DE USO.....	49
TABLA 3.27.- TABLA DE ESPECIFICACIONES DE REQUERIMIENTOS REQF_01.....	50
TABLA 3.28.- TABLA DE ESPECIFICACIONES DE REQUERIMIENTOS REQF_02.....	51
TABLA 3.29.- TABLA DE ESPECIFICACIONES DE REQUERIMIENTOS REQF_03.....	52
TABLA 3.30.- TABLA DE ESPECIFICACIONES DE REQUERIMIENTOS REQF_04.....	53
TABLA 3.31.- TABLA DE ESPECIFICACIONES DE REQUERIMIENTOS REQF_05.....	54
TABLA 3.32.- TABLA DE ESPECIFICACIONES DE REQUERIMIENTOS REQF_06.....	55
TABLA 3.33.- TABLA DE ESPECIFICACIONES DE REQUERIMIENTOS REQF_07.....	56
TABLA 3.34.- TABLA DE ESPECIFICACIONES DE REQUERIMIENTOS REQF_08.....	57
TABLA 3.35.- TABLA DE ESPECIFICACIONES DE REQUERIMIENTOS REQF_09.....	58
TABLA 3.36.- TABLA DE ESPECIFICACIONES DE REQUERIMIENTOS REQF_10.....	59
TABLA 4.1.- ANÁLISIS DE COSTOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA RADIOSONDA.....	67
TABLA 4.2.- COMPARACIÓN DE COSTOS ENTRE RADIOSONDAS COMERCIALES.....	67
TABLA 4.3.- CONSUMO ENERGÉTICO APROXIMADO DE LA RADIOSONDA.....	69

# Contenido

Dedicatoria .....	i
Agradecimientos.....	ii
Índice de figuras .....	iii
Índice de tablas.....	v
Resumen .....	1
Palabras clave .....	1
Abstract .....	2
Keywords .....	2
<b>CAPÍTULO 1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....</b>	<b>3</b>
<b>1.1 Introducción.....</b>	<b>3</b>
<b>1.2 Antecedentes.....</b>	<b>5</b>
<b>1.3 Descripción del proyecto.....</b>	<b>5</b>
1.3.1    Objetivo general.....	6
1.3.2    Objetivos específicos.....	6
<b>1.4 Justificación .....</b>	<b>7</b>
<b>CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>8</b>
<b>2.1 Radiosonda y estación receptora .....</b>	<b>8</b>
2.1.1    Sistema de medida.....	9
2.1.2    Sistema electrónico de comunicaciones .....	9
2.1.3    Electrónica para procesar los datos .....	13
<b>2.2 Interfaz Gráfica de Usuario .....</b>	<b>18</b>
2.2.1    Diseño de Software .....	18
2.2.2    Estructura del proceso de software .....	18
2.2.3    Modelo de flujo de trabajo .....	19
2.2.4    Modelo Incremental .....	20
2.2.5    UML.....	20
2.2.6    Diagramas de casos de uso .....	21
2.2.7    Diagrama de estados.....	21
<b>CAPÍTULO 3 DISEÑO DETALLADO .....</b>	<b>22</b>
<b>3.1 Selección de componentes.....</b>	<b>22</b>

3.1.1	Microcontrolador .....	22
3.1.2	Sensor de temperatura .....	23
3.1.3	Sensor de humedad .....	24
3.1.4	Sensor de presión.....	24
3.1.5	Módulo de radiofrecuencia.....	25
<b>3.2</b>	<b>Diseño electrónico de la radiosonda .....</b>	<b>26</b>
3.2.1	Descripción de los pines del microcontrolador STM32F051C4.....	26
3.2.2	Alimentación del microcontrolador .....	26
3.2.3	Esquemático de la radiosonda .....	28
3.2.4	Tarjeta de circuito impreso de la radiosonda .....	29
<b>3.3</b>	<b>Diseño electrónico de la estación receptora.....</b>	<b>30</b>
3.3.1	Enumeración de dispositivos USB en el ordenador .....	31
3.3.2	Diseño con módulo de radiofrecuencia intercambiable .....	32
3.3.3	Tarjeta de circuito impreso de la estación receptora .....	33
<b>3.4</b>	<b>Diseño estructural de la radiosonda.....</b>	<b>33</b>
3.4.1	Base inferior .....	34
3.4.2	Placa intermedia .....	35
3.4.3	Base superior .....	35
3.4.4	Ensamble del empaquetado para la radiosonda.....	36
<b>3.5</b>	<b>Diseño estructural de la estación receptora .....</b>	<b>37</b>
3.5.1	Base.....	38
3.5.2	Tapa.....	38
3.5.3	Ensamble de la estación receptora .....	39
<b>3.6</b>	<b>Desarrollo del software.....</b>	<b>40</b>
3.6.1	Requerimientos.....	41
3.6.2	Requerimientos funcionales .....	43
3.6.3	Requerimientos no funcionales .....	47
3.6.4	Diseño de la aplicación.....	48
3.6.5	Programación del microcontrolador para la radiosonda y la estación receptora .....	61
3.6.6	Programación para la aplicación de sondeo .....	61
<b>CAPÍTULO 4 ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>		<b>62</b>
<b>4.1</b>	<b>Primera versión de la radiosonda y la estación receptora .....</b>	<b>62</b>
<b>4.2</b>	<b>Segunda versión de la radiosonda y la estación receptora .....</b>	<b>63</b>
<b>4.3</b>	<b>Versión final de la radiosonda y la estación receptora .....</b>	<b>65</b>
<b>4.4</b>	<b>Resultados .....</b>	<b>67</b>
4.4.1	Análisis de costos .....	67
4.4.2	Ensayo de calidad en las mediciones de la radiosonda.....	67

4.4.3	Tiempo de operación de la radiosonda.....	68
4.4.4	Alcance de comunicación de la radiosonda con la estación receptora .....	70
<b>4.5</b>	<b>Manuales .....</b>	<b>73</b>
<b>4.6</b>	<b>Conclusiones y trabajo a futuro.....</b>	<b>74</b>
<b>ANEXOS .....</b>		<b>78</b>
<b>Anexo 1. Certificado de calidad .....</b>		<b>78</b>
<b>Anexo 2. Manual de Usuario .....</b>		<b>79</b>

## **Resumen**

El presente trabajo muestra el diseño y construcción de una radiosonda para la medición de tres variables meteorológicas (temperatura, humedad relativa y presión atmosférica) y la transmisión de estos datos hasta el receptor, el cual a su vez está enlazado a un ordenador para visualizar y almacenar los datos. Dado que la principal característica de la radiosonda es su construcción minimizando los costos, se realizó una selección de todos los componentes electrónicos indispensables para su operación, tomando en cuenta los parámetros de rango y tolerancia mínimos de operación. Mediante herramientas de diseño asistido por computadora se diseñaron los circuitos electrónicos y el empaquetado. La transmisión de los datos desde la radiosonda hasta el receptor se hace a través de un módulo de radiofrecuencia que trabaja sobre la banda de los 433 MHz. El diseño del software para la interfaz gráfica para obtener, almacenar y operar los datos obtenidos por la radiosonda se desarrolló utilizando Java y JavaFX, partiendo de la estructura del proceso de desarrollo de software y basándose en el modelo de flujo de trabajo iterativo. Los microcontroladores tanto de la estación receptora como de la radiosonda se programaron utilizando el lenguaje de programación C. El sistema de radiosonda meteorológica desarrollado en este proyecto cumple con los requisitos de exactitud y rangos de operación adecuados para su uso en sondeos de baja altura mediante un globo cautivo.

## **Palabras clave**

Interfaz gráfica, JavaFX, radiofrecuencia, radiosonda meteorológica.

## **Abstract**

The present work shows the design and construction of a radiosonde to measure the meteorology variables (temperature, relative humidity and atmospheric pressure) and the transmission of this data to the receiver, which in turn is linked to a computer to visualize and store the data. Since the main characteristic of the radiosonde is its construction minimizing the costs, a selection of all the electronic components essential for its operation was made, taking into consideration the parameters of minimum range and tolerance of operation were considered. Through computer-aided design tools, electronic circuits and packaging were designed. The transmission of the data from the radiosonde to the receiver is done through a radiofrequency module that works on the 433MHz band. The software design of the receiver to obtain, store and operate the data obtained by the radiosonde is developed using Java and JavaFX, starting from the structure of the software development process and based on the iterative workflow model. The microcontrollers of both the receiving station and the radiosonde were programmed using the C programming language. The meteorological radiosonde system developed in this project complies with the requirements of accuracy and operating ranges suitable for use in low altitude sounding using a captive globe.

## **Keywords**

Graphical user interface, JavaFX, meteorological radiosonde, radiofrequency.

# Capítulo 1 *Definición del problema*

## 1.1 *Introducción*

Los sistemas de radiosondas meteorológicas son la principal fuente de mediciones atmosféricas *in situ* para proporcionar perfiles atmosféricos en tiempo real, los cuales son y seguirán siendo esenciales para la meteorología operativa especialmente para los avisos, las predicciones y los análisis meteorológicos, así como para la vigilancia del clima [1].

Las partes principales que conforman un sistema de radiosonda meteorológica son: el globo, la radiosonda, el receptor (estación de trabajo) y el software para interpretar los datos (interfaz gráfica).

La radiosonda es el dispositivo que tiene integrados los instrumentos de medición, el módulo de radiofrecuencia, la batería y el microcontrolador; los cuales trabajan en forma conjunta para medir las variables meteorológicas y enviar esta información a la estación en tierra. La radiosonda está contenida en una caja que protege los dispositivos electrónicos. En la Figura 1.1, se muestran las partes principales de una radiosonda.

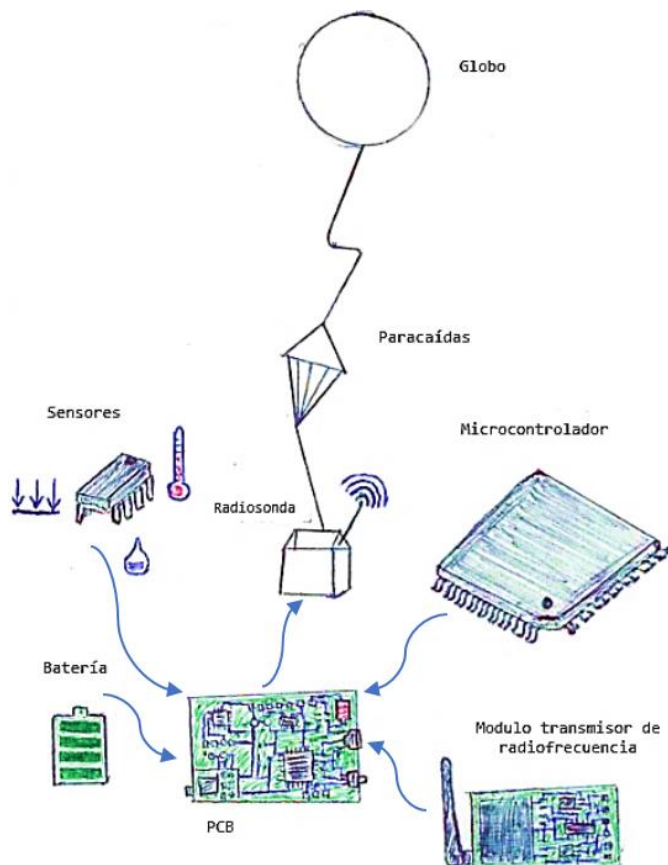


Figura 1.1.- Componentes principales de una radiosonda.

El receptor o estación de trabajo, es el dispositivo electrónico encargado de recibir la información enviada por la radiosonda. El receptor debe estar sintonizado a la misma frecuencia que el transmisor. Además de recibir los datos de la radiosonda, el receptor cuenta con un sistema de comunicación con el ordenador para transmitir los datos recibidos.

El software para el sistema de radiosonda está dividido en tres distintos programas: la programación del microcontrolador de la radiosonda para controlar el módulo de radiofrecuencia y los sensores, la programación del microcontrolador en la estación receptora para controlar el módulo de radiofrecuencia y la comunicación con el ordenador y una interfaz gráfica dentro del ordenador que permite visualizar las mediciones realizadas por la radiosonda, de manera que sea fácil su análisis y estudio.

En la Figura 1.2, se muestran las partes principales de una estación receptora o estación de trabajo y la comunicación con un ordenador el cual tiene instalado el software que permite la observación e interpretación de los datos.

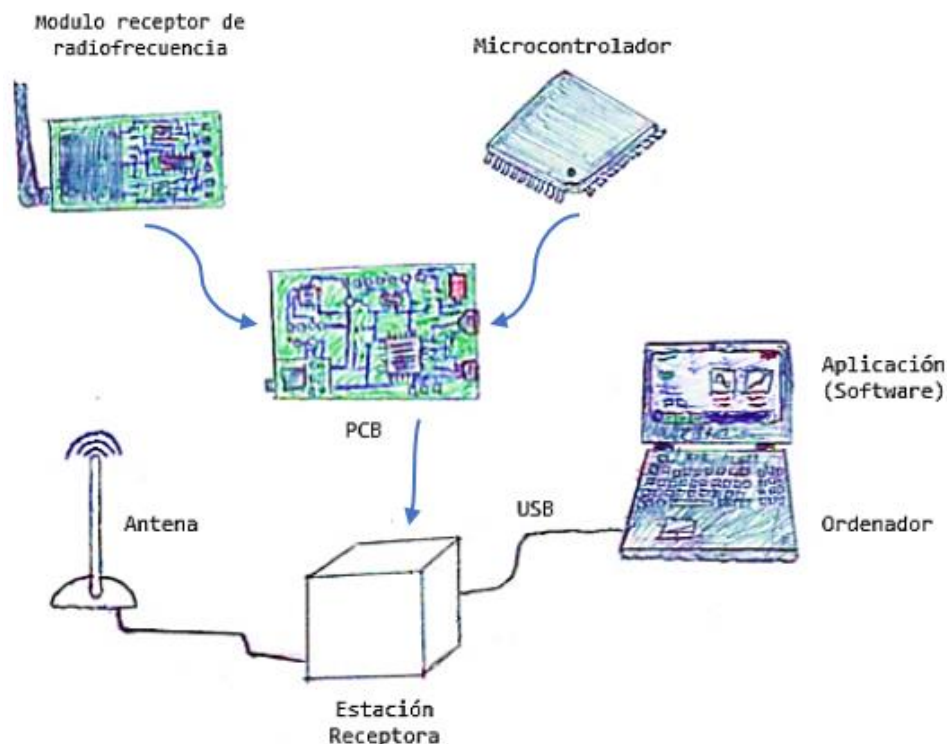


Figura 1.2.- Componentes principales de la estación receptora



## **1.2 Antecedentes**

En México el primer radiosondeo que se envió a la atmosfera, sucedió el 30 de enero de 1930, alcanzó una altura de 9 km, e incluyó un paquete de instrumentos que se elevaron mediante un globo y un sistema de transmisión de datos.

A partir de 1935 la red meteorológica se extendió y en 1948 los primeros radiosondeos se registran en la ciudad de México, Mérida y Mazatlán, utilizando equipos de teodolito de rastreo manual. Actualmente México cuenta con una red de radiosondeo compuesta por 16 estaciones de radiosondeo las cuales realizan dos lanzamientos al día [2].

La adquisición de estos equipos de radiosondeo se realiza mediante concesiones. La Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional de la Comisión Nacional del Agua se encarga de adquirir y distribuir el equipo meteorológico. De acuerdo con el Instituto Nacional de Transparencia, Acceso a la Información y Protección de Datos Personales (INAI) a través de la Plataforma Nacional de Transparencia, el Ing. Alberto Hernández Unzón, Coordinador General del Servicio Meteorológico informó que el costo aproximado por radiosonda es de aproximadamente 200 dólares [3].

## **1.3 Descripción del proyecto**

Según la Organización Meteorológica Mundial (OMM) los informes periódicos realizados sobre el funcionamiento de las estaciones indican que muchas de ellas, sobre todo las situadas en los países en desarrollo y en los países menos adelantados, no transmiten los datos de observación deseados. Hay varios motivos que explican el bajo rendimiento de estas estaciones, como: los fallos en la comunicación de datos al centro correspondiente, la falta de fondos para reparar, mantener o mejorar el equipo básico o adquirir bienes fungibles como radiosondas, suministro de gas, globos, o la falta de personal o la formación profesional inadecuada para hacer funcionar los equipos [4].

Para resolver estos problemas, este proyecto desarrolla un sistema de radiosonda meteorológica fácil de operar y de menor costo, lo más apegado a los estándares de desempeño que se han establecido por la OMM.

### **1.3.1 Objetivo general**

- Diseñar y construir una radiosonda para la medición de tres variables meteorológicas (temperatura, humedad relativa y presión) que transmita inalámbricamente estas mediciones hasta una estación receptora, así como programar una interfaz gráfica para mostrar y almacenar las mediciones de las tres variables meteorológicas.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Seleccionar el microcontrolador, el módulo de radiofrecuencia y los sensores, con base en los requerimientos mínimos de operación y de bajo costo, a través de tablas comparativas.
- Diseñar los circuitos electrónicos de la radiosonda y el receptor, utilizando componentes de montaje superficial para reducir el peso y las dimensiones, especialmente de la radiosonda, pues, no deberá sobrepasar los 300 gramos.
- Diseñar y programar una aplicación en un ordenador, para almacenar y visualizar los datos de las tres variables meteorológicas.
- Evaluar la funcionalidad del prototipo mediante una simulación de lanzamiento, en la cual, la radiosonda deberá transmitir las mediciones de temperatura, humedad relativa y presión, al receptor de manera continua durante un periodo de 60 minutos y estas mediciones deberán almacenarse y observarse en la interfaz gráfica programada en el ordenador.

## **1.4 Justificación**

Los múltiples eventos de sequía e inundación que se registran en diversas partes de México impulsan a desarrollar esquemas de información que hagan al país menos vulnerable a condiciones extremas del clima. Los organismos internacionales señalan que, entre las estrategias de adaptación frente al cambio climático, es necesario contar con información meteorológica y climática de la mejor calidad para la toma de decisiones.

La importancia de las radiosondas meteorológicas radica en que permiten conocer la dinámica de la troposfera, pues, se mueve dependiendo de la variación de temperaturas y en estos tiempos donde el calentamiento global está presente es fundamental ubicar la variación de la altura de la capa de mezclado y hacer perfiles verticales de la atmósfera [5].

La limitación principal de la observación con radiosonda es su coste. En los países de la Organización de Cooperación y de Desarrollo Económicos (OCDE) una observación con radiosonda cuesta alrededor de 500 dólares, y aproximadamente la tercera parte del coste total corresponde a la radiosonda [6].

Actualmente en México todo el equipo de meteorología como las radiosondas tienen precios elevados ya que son importados, por ejemplo, tan solo en Zacatecas, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) realiza dos lanzamientos de radiosondas al día, donde el costo de cada radiosonda es de aproximadamente 200 dólares.

## Capítulo 2 *Marco Teórico*

### 2.1 *Radiosonda y estación receptora*

La radiosonda es una unidad electrónica que comprende tres secciones principales: una serie de sofisticados sensores meteorológicos; electrónica de procesamiento de señales; y un transmisor de radio para transmitir las mediciones a un receptor en la estación de lanzamiento de la radiosonda. Por otro lado, la estación receptora se compone de dos secciones principales: un receptor de radio para recibir y decodificar las mediciones transmitidas por la radiosonda; electrónica de procesamiento de señales, para procesar los datos y enviarlos a un ordenador. Las mediciones meteorológicas se realizan a intervalos que varían de 1 a 6 s, dependiendo del fabricante de la radiosonda [6]. Las radiosondas se alimentan mediante baterías que suelen ser de Litio y fabricadas específicamente para su utilización en radiosondas, ya que las baterías alcalinas existentes en el mercado no pueden funcionar a temperaturas ambiente inferiores a  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  [7].

Todas las radiosondas están obligadas a cumplir con ciertos estándares de desempeño (ver Tabla 2.1) que se han establecido por la Organización Meteorológica Mundial “WMO” (por su acrónimo en inglés World Meteorological Organization).

Tabla 2.1.- *Requisitos de exactitud.*

<b>Variable</b>	<b>Exactitud requerida</b>
Presión	$\pm 1\text{ hPa}$
Temperatura	$\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$
Humedad relativa	$\pm 5\%$

Además de la exactitud, las principales características que se exigen a las radiosondas es que sean fiables, livianas, pequeñas y que consuman poca energía. Como una radiosonda se utiliza una sola vez, debe ser diseñada para que pueda ser producida a bajo costo. También es importante que la calibración pueda ser realizada de manera simple y estable. Una radiosonda debe ser capaz de funcionar dentro del rango de temperaturas de  $-90$  a  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ , del rango de presión de 5 a 1,050 hPa y del rango de humedad relativa de 1 a 100% [1].

El periodo ascensional completo de una radiosonda dura aproximadamente 60 min y el descenso dura aproximadamente la mitad del ascenso si se utiliza un paracaídas. Habitualmente la radiosonda sigue transmitiendo al descender [8].

### 2.1.1 Sistema de medida

Se denomina sistema a la combinación de dos o más elementos para realizar una o varias funciones. En los sistemas de medida, esta función es la asignación objetiva y empírica de un número a una propiedad o cualidad de un objeto o evento, de tal forma que la describa. La realización de una medida implica, la adquisición de la información realizada por un sensor, el procesamiento de dicha información y la presentación de resultados.

Un sensor es un dispositivo que, a partir de la energía del medio donde se mide, da una señal de salida transducible que es función de la variable medida. Los sensores ofrecen la capacidad de medir magnitudes físicas para su conocimiento o control. El número de sensores disponibles para las distintas magnitudes físicas o químicas es muy elevado, en la Tabla 2.2 se recogen diversos factores para tener en cuenta en la elección de un sensor [9].

Tabla 2.2.- Factores a considerar en la elección de un sensor.

<b>Magnitud a medir</b>	<b>Características de salida</b>
- Margen de medida	- Sensibilidad
- Resolución	- Tipo: tensión, corriente, frecuencia
- Exactitud deseada	- Forma de señal: unipolar, flotante, diferencial
- Estabilidad	- Impedancia
- Tiempo de respuesta	
<b>Características de alimentación</b>	<b>Características ambientales</b>
- Tensión	- Margen de temperaturas
- Corriente	- Humedad
- Potencia disponible	- Vibraciones
- Estabilidad	- Agentes químicos
	- Entorno electromagnético
<b>Otros factores</b>	
- Peso	- Tipo de conector
- Dimensión	- Disponibilidad
- Vida media	- Coste

### 2.1.2 Sistema electrónico de comunicaciones

El objetivo de un sistema electrónico de comunicaciones es transferir información entre dos o más lugares. Por consiguiente, se puede decir que las comunicaciones electrónicas son la transmisión, recepción y procesamiento de información entre dos o más lugares, mediante circuitos electrónicos. Esto se logra convirtiendo la información original a energía electromagnética, para transmitirla a continuación a una o más estaciones receptoras, donde se reconvierte a su forma original.

La energía electromagnética se puede propagar como ondas de radio emitidas hacia el espacio libre (ver Figura 2.1).

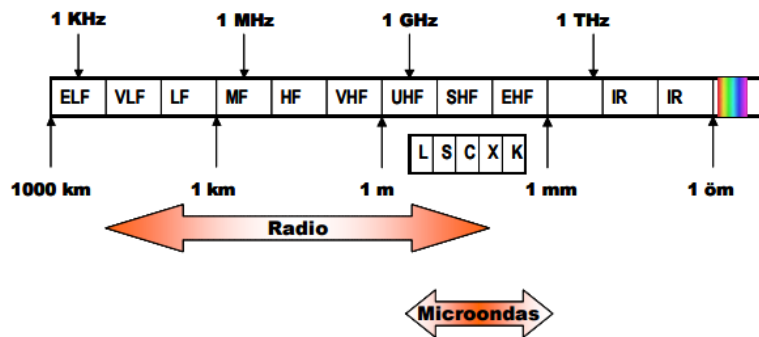


Figura 2.1.- Espectro electromagnético de frecuencias.

La frecuencia no es más que la cantidad de veces que sucede un movimiento periódico como puede ser una onda senoidal de voltaje o de corriente, durante determinado periodo. Cada inversión completa de la onda se llama ciclo. La unidad básica de frecuencia es el hertz “Hz”, y 1 Hz es igual a un ciclo por segundo. En electrónica se acostumbra a usar prefijos métricos para representar las grandes frecuencias. Por ejemplo, se usa el kilohertz “kHz” para indicar miles de Hz [10].

El espectro de frecuencias se subdivide en bandas de frecuencia, las cuales son intervalos de frecuencias del espectro electromagnético asignados a diferentes usos dentro de las radiocomunicaciones y su uso está regulado por la Unión Internacional de Telecomunicaciones “ITU” (por acrónimo en inglés International Telecommunication Union) como se muestra en la Tabla 2.3 [11].

Tabla 2.3.- Bandas de frecuencia determinado por la ITU.

<b>Banda</b>	<b>Denominación</b>	<b>Rango de frecuencias</b>	<b>Rango de <math>\lambda</math></b>
ELF	<b>E</b> xtrêmementy <b>L</b> ow <b>F</b> requency	3 – 30 Hz	100,000 – 10,000Km
SLF	<b>S</b> uper <b>L</b> ow <b>F</b> requency	30 – 300 Hz	10,000 – 1,000 Km
ULF	<b>U</b> ltra <b>L</b> ow <b>F</b> requency	300 – 3,000 Hz	1,000 – 100 Km
VLF	<b>V</b> ery <b>L</b> ow <b>F</b> requency	3 – 30 KHz	100 – 10 Km
LF	<b>L</b> ow <b>F</b> requency	30 – 300 KHz	10 – 1 Km
MF	<b>M</b> edium <b>F</b> requency	300 – 3,000 KHz	1,000 – 100 m
HF	<b>H</b> igh <b>F</b> requency	3 – 30 MHz	100 – 10 m
VHF	<b>V</b> ery <b>H</b> igh <b>F</b> requency	30 – 300 MHz	10 – 1 m
UHF	<b>U</b> ltra <b>H</b> igh <b>F</b> requency	300 – 3,000 MHz	100 – 10 cm
SHF	<b>S</b> uper <b>H</b> igh <b>F</b> requency	3 – 30 GHz	10 – 1 cm
EHF	<b>E</b> xtrêmementy <b>H</b> igh <b>F</b> requency	30 – 300 GHz	10 – 1 mm

Las bandas de frecuencia actualmente especificadas por la ITU para las transmisiones de meteorología (radiosondas) se muestran en la Tabla 2.4.

*Tabla 2.4.- Bandas de frecuencias para la meteorología.*

<b><i>Banda de radiofrecuencia (MHz)</i></b>
400.15 - 406
1 668.4 - 1 700

La radiofrecuencia elegida para las operaciones de radiosonda en un lugar determinado dependerá de varios factores. En los sitios donde los vientos fuertes son comunes, los rangos inclinados a la radiosonda son generalmente grandes y las elevaciones del globo son a menudo muy bajas. En estas circunstancias, el enlace de comunicación desde la radiosonda hasta el sistema receptor en tierra se consigue más fácilmente a 400 MHz que a 1680 MHz [8].

### ***Módulos de radiofrecuencia***

Los módulos de radiofrecuencia consisten básicamente en un elemento emisor (transmisor) y un elemento receptor. El transmisor, es el elemento que se encarga de transmitir la información que llega a este elemento. Esta transmisión viaja a través de un medio o canal de transmisión. Es frecuente encontrar que los medios de transmisión estén clasificados en guiados y no guiados, los primeros establecen comunicación punto a punto entre emisor y receptor, mientras que los otros permiten enviar información de modo difundido o broadcast [13].

### ***Modos de transmisión***

Los sistemas electrónicos de comunicaciones se pueden diseñar para manejar la transmisión sólo en una dirección, en ambas direcciones, sólo en una a la vez, o en ambas direcciones al mismo tiempo.

A éstos se les llama modos de transmisión. Hay cuatro modos de transmisión posibles: simplex, semidúplex, dúplex y dúplex/dúplex.

**Simplex "SX"**. Con el funcionamiento simplex, las transmisiones sólo se hacen en una dirección. A veces, a los sistemas simplex se les llama sólo en un sentido, sólo recibir o sólo transmitir. Una estación puede ser un transmisor o un receptor, pero no ambos a la vez. Como ejemplo de transmisión simplex está la emisión comercial de radio o televisión: la estación de radio sólo transmite a uno, y uno siempre recibe.

Semidúplex "HDX" (por su acrónimo en inglés half duplex). En el funcionamiento semidúplex, las transmisiones se pueden hacer en ambas direcciones, pero no al mismo tiempo. A veces, a los sistemas semidúplex se les llama de alternar en ambos sentidos, en uno de los sentidos, o de cambio y fuera. Una estación puede ser transmisora y receptora, pero no al mismo tiempo. Los sistemas de radio en dos sentidos que usan botones para hablar son ejemplos de transmisión en semidúplex.

Dúplex total "FDX" (por su acrónimo en inglés full duplex). Con el funcionamiento dúplex total, o simplemente dúplex, puede haber transmisiones en ambas direcciones al mismo tiempo. A veces, a los sistemas dúplex se les llama simultáneos de dos direcciones, dúplex completos o líneas bilaterales o en ambos sentidos. Una estación puede transmitir y recibir en forma simultánea. Un sistema telefónico normal es un ejemplo de funcionamiento dúplex [10].

### **Análisis de ruido**

Se define al ruido eléctrico como cualquier energía eléctrica indeseable que queda entre la banda de paso de la señal. La Figura 2.2 muestra el efecto que tiene el ruido sobre una señal eléctrica [10].

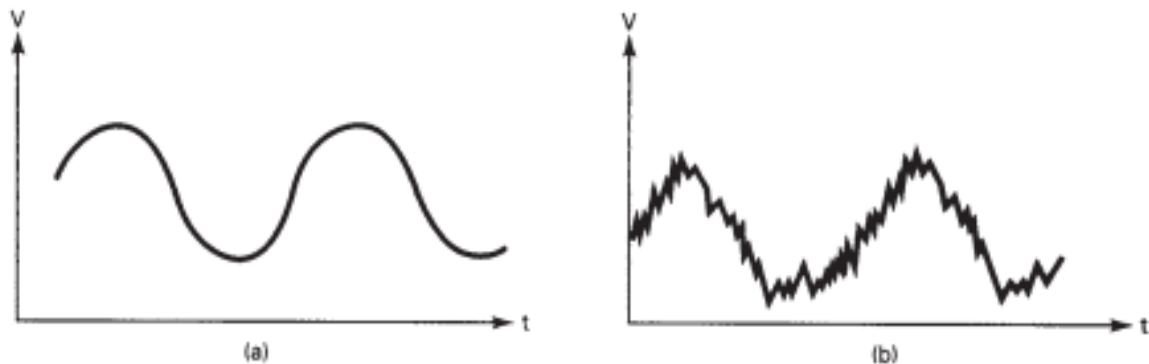


Figura 2.2.- Efectos del ruido sobre una señal: (a) señal sin ruido; (b) señal con ruido.

En la Tabla 2.5 se muestra la clasificación de los tipos de ruido eléctrico.



Tabla 2.5.- Clasificación del ruido eléctrico.

---

<b>Fuentes de ruido eléctrico</b>
Ruido correlacionado (interno).
• Distorsión no lineal.
- Distorsión armónica.
- Distorsión por intermodulación.
Ruido no correlacionado.
• Externo.
- Atmosférico.
- Extraterrestre.
- Causado por el hombre.
- Interferencia.
• Interno.
- Térmico.
- Disparo.
- Tiempo de tránsito.

---

El diseño detallado de la estación receptora de radiosonda dependerá del tipo de radiosonda que se use. Sin embargo, la estación receptora incluirá siempre lo siguiente: Un módulo de radiofrecuencia para recibir y decodificar la modulación de las señales de la radiosonda; Electrónica para procesar y convertir los datos en unidades meteorológicas; Electrónica de comunicación entre la estación receptora y un ordenador para presentar las mediciones meteorológicas.

### **2.1.3 Electrónica para procesar los datos**

#### **Microcontrolador**

Un microcontrolador es un circuito integrado que en su interior contiene una unidad central de procesamiento "CPU" (por su acrónimo en inglés Central Processing Unit), unidades de memoria "RAM" (por su acrónimo en inglés Random Access Memory) y "ROM" (por su acrónimo en inglés Read Only Memory), puertos de entrada y salida "E/S" y periféricos. Estas partes están interconectadas dentro del microcontrolador (ver Figura 2.3).

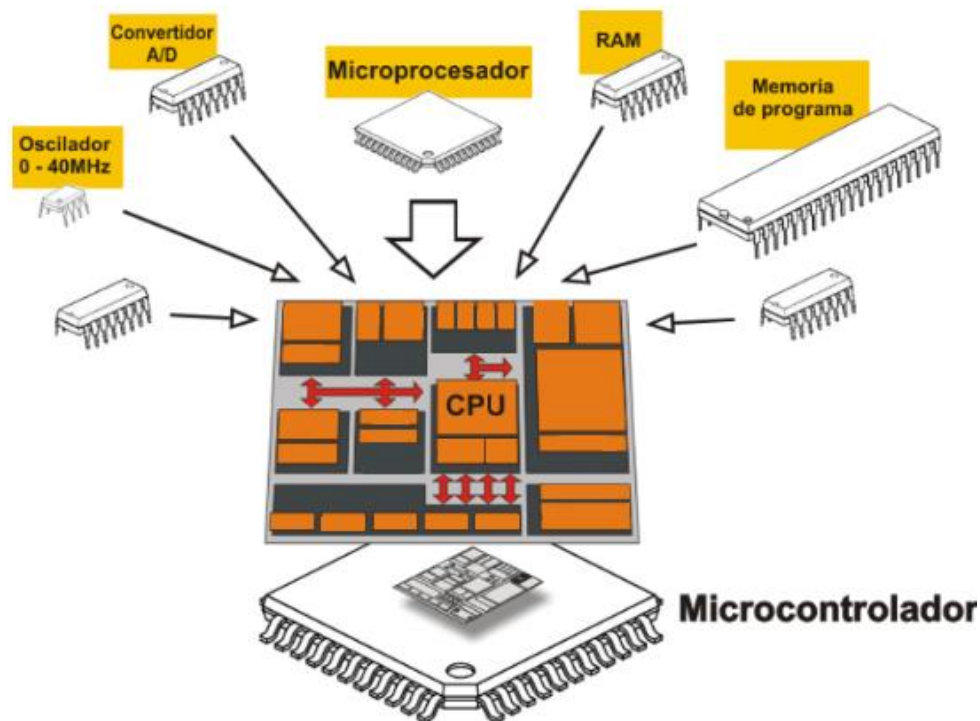


Figura 2.3.- Componentes de un microcontrolador.

El propósito fundamental de los microcontroladores es el de leer y ejecutar los programas que el usuario le escribe, por lo que la programación es una actividad básica e indispensable cuando se diseñan circuitos y sistemas que los incluyan. El carácter programable de los microcontroladores simplifica el diseño de circuitos electrónicos. Permiten modularidad y flexibilidad, ya que un mismo circuito se puede utilizar para que realice diferentes funciones con solo cambiar el programa del microcontrolador [14].

### **Microprocesador**

El microprocesador ejecuta instrucciones almacenadas como números binarios organizados secuencialmente en la memoria principal. Además, es un sistema abierto con el que puede construirse un computador con las características que se desee, acoplándole módulos necesarios.

Set de instrucciones. Estas definen las operaciones básicas que puede realizar el procesador. El conjunto de instrucciones forma el elemento básico del lenguaje, para la programación del microcontrolador. Existen tres tipos de repertorios de instrucciones:

- a) “CISC” (por su acrónimo en inglés Complex Instrucción Set Computer). Dispone de más de 80 instrucciones máquina en su repertorio, algunas de las cuales son muy sofisticadas y potentes, requiriendo muchos ciclos para su ejecución.

- b) “*RISC*” (por su acrónimo en inglés Reduced Instruction Set Computer). En repertorio de instrucciones máquina es muy reducido y las instrucciones son simples y generalmente se ejecutan en un ciclo. La sencillez y rapidez de las instrucciones permiten optimizar el hardware y el software del procesador.
- c) “*SISC*” (por su acrónimo en inglés Specific Instruction Set Computer). En los microcontroladores destinados a aplicaciones muy concretas, el juego de instrucciones, además de ser reducido, es específico, en otras palabras, las instrucciones se adaptan a las necesidades de la aplicación prevista [14].

### ***Puertos E/S***

Se refiere a los pines que tiene el microcontrolador para leer o escribir algún valor. En otras palabras, es el enlace con el exterior.

### ***Memoria***

En un microcontrolador existen dos tipos de memoria.

- a) *Memoria no volátil para contener el programa.* El microcontrolador está diseñado para que en su memoria de programa se almacenen todas las instrucciones del programa de control. No hay posibilidad de utilizar memorias externas de ampliación. Este tipo de memoria puede ser:
  - Memoria de solo lectura ROM.
  - Memoria programable borrable “EPROM” (por su acrónimo en inglés Erasable Programmable Read Only Memory).
  - Memoria programable una vez “OTP” (por su acrónimo en inglés One Time Programmable).
  - Memoria instantánea no volátil “Flash”.
- b) *Memoria de lectura y escritura para guardar los datos.* Los datos que manejan los programas varían continuamente, y eso exige que la memoria que les contiene debe ser de lectura y escritura por lo que la memoria RAM estática “SRAM” (por su acrónimo en inglés Static Random Access Memory) es la más adecuada, aunque sea volátil. Hay microcontroladores que disponen como memoria de datos una lectura y escritura no volátil del tipo EPROM. De esta forma, un corte en el suministro de la alimentación no ocasiona la pérdida de la información, que está disponible al reiniciarse el programa [14].

## **Protocolos de Comunicación**

Hoy en día, la mayoría de los microcontroladores llevan incorporados varios sistemas diferentes para la comunicación serial. Uno de los puntos más importantes en cuanto a la comunicación serial es el protocolo de comunicación. El protocolo de comunicación es un conjunto de reglas que se aplican obligatoriamente para que los dispositivos puedan interpretar correctamente los datos que intercambian mutuamente. Los sistemas de comunicación serial más utilizados son:

- a) **“UART”** (por su acrónimo en inglés Universal Asynchronous Receiver Transmitter). Este tipo de conexión es asíncrona, lo que significa que no se utiliza una línea especial para transmitir la señal de reloj. Puesto que se utiliza solo una línea de comunicación, tanto el receptor como el transmisor reciben y envían datos a velocidad misma que ha sido predefinida para mantener la sincronización. La velocidad de transmisión no es alta, es hasta 1 Mb/s.
- b) **“SPI”** (por su acrónimo en inglés Serial Peripheral Interface Bus). Un bus serial de interfaz de periféricos es un sistema para la comunicación serial que utiliza hasta cuatro líneas para recibir los datos, para transmitir los datos, para sincronizar y (opcional) para seleccionar el dispositivo con el que se comunica. Esto es la conexión full dúplex, lo que significa que los datos se envían y se reciben simultáneamente. La velocidad de transmisión máxima es mayor que en el sistema de conexión I<sup>2</sup>C.
- c) **“I<sup>2</sup>C”** (por su acrónimo en inglés Inter Integrated Circuit). Es un sistema para el intercambio de datos serial entre los microcontroladores y los circuitos integrados especializados de generación. Se utiliza cuando la distancia entre ellos es corta (el receptor y el transmisor están normalmente en la misma placa de circuito impreso). La conexión se establece por medio de dos líneas, una se utiliza para transmitir los datos, mientras que la otra se utiliza para la sincronización. Un dispositivo es siempre el principal (Maestro), el que realiza el direccionamiento de un chip subordinado (Esclavo) antes de que se inicie la comunicación. De esta manera un microcontrolador puede comunicarse con múltiples dispositivos diferentes. La velocidad de transmisión serial es normalmente 100 Kb/s (el modo estándar) o 10 Kb/s (modo de velocidad de transmisión baja). Recientemente han aparecido los sistemas con la velocidad de transmisión serial 3.4 Mb/s. La distancia entre los dispositivos que se comunican por el bus I<sup>2</sup>C está limitada a unos metros [14].

## ***Recursos auxiliares***

Son complementos que refuerzan la potencia y la flexibilidad del microcontrolador. Entre los recursos más comunes se encuentran:

- Osciladores. Encargados de generar los impulsos que sincronizan el funcionamiento de todo el sistema. La frecuencia de trabajo del microcontrolador es un parámetro fundamental a la hora de establecer la velocidad en la ejecución de instrucciones y el consumo de energía.
- Temporizadores. Tienen como función determinar intervalos concretos de tiempo.
- Convertidor ADC y “DAC” (por su acrónimo en inglés Digital to Analog Converter). Como es muy frecuente el trabajo con señales analógicas, estas deben ser convertidas a digital y por ello muchos microcontroladores incorporan un conversor ADC. De manera contraria si se necesita una salida analógica a partir de una entrada digital, también se cuenta con un conversor DAC.
- Módulos “CCP” (Captura/Comparación/PWM). El módulo CCP es un periférico que le permite medir y controlar diferentes eventos. El modo de captura proporciona el acceso al estado actual de un registro que cambia su valor constantemente. El modo de comparación compara constantemente valores de dos registros. Este circuito también le permite al usuario activar un evento externo después de que haya expirado una cantidad de tiempo predeterminada. Modulación por ancho de pulsos “PWM” (por su acrónimo en inglés Pulse Width Modulation) puede generar señales de frecuencia y de ciclo de trabajo variados por uno o más pines de salida [14].

## **2.2 Interfaz Gráfica de Usuario**

Una interfaz gráfica de usuario “GUI” (por su acrónimo en inglés Graphic User Interface) presenta un mecanismo amigable al usuario para interactuar con una aplicación. Una GUI proporciona una apariencia visual única. Los componentes de la interfaz de usuario son consistentes e intuitivos y los usuarios pueden familiarizarse en cierto modo con una aplicación, de manera que pueden aprender a utilizarla en menor tiempo y con mayor productividad [15].

Las GUIs se crean a partir de componentes llamados controles o widgets. Un componente de la GUI es un objeto con el cual interactúa el usuario mediante el ratón, el teclado u otra forma de entrada, como el reconocimiento de voz [16].

### **2.2.1 Diseño de Software**

El diseño de software agrupa el conjunto de principios, conceptos y prácticas que llevan al desarrollo de un sistema. Los principios de diseño establecen una filosofía general que guía el trabajo de diseño que debe ejecutarse. El diseño crea una representación o modelo del software la cual proporciona detalles sobre arquitectura del software, estructuras de datos, interfaces y componentes que se necesitan para implementar el sistema. Este modelo se evalúa y se mejora antes de generar código [17].

### **2.2.2 Estructura del proceso de software**

Según el ingeniero en software Roger S. Pressman, una estructura de proceso general para la ingeniería de software consta de cinco actividades:

Comunicación. Se busca reunir los requerimientos que ayuden a definir las características y funciones del software y las restricciones sobre su operación.

Planeación. El plan del proyecto de software define el trabajo de ingeniería de software al describir las tareas técnicas por realizar, los probables riesgos, los recursos que se requieren, los productos del trabajo que se obtendrán y una programación de las actividades.

Modelado. Un ingeniero de software crea modelos a fin de entender mejor los requerimientos del software y el diseño que los satisfará.

Construcción. Esta actividad combina la generación de código y las pruebas que se requieren para descubrir errores en éste.

Despliegue. El software se entrega al consumidor que lo evalúa y que le da retroalimentación, misma que se basa en dicha evaluación.

Estas cinco actividades estructurales genéricas se usan durante el desarrollo de programas pequeños y sencillos, en la creación de aplicaciones web grandes y en la ingeniería de sistemas enormes y complejos basados en computadoras. Los detalles del proceso de software serán distintos en cada caso, pero las actividades estructurales son las mismas [18].

### 2.2.3 Modelo de flujo de trabajo

Un modelo de procesos del software es una descripción simplificada de un proceso del software que presenta una visión de ese proceso. El flujo del proceso del software describe la manera en que están organizadas las actividades estructurales y las acciones y tareas que ocurren dentro de cada una con respecto de la secuencia y el tiempo [17]. En la Figura 2.4 se muestran los flujos del proceso de software.

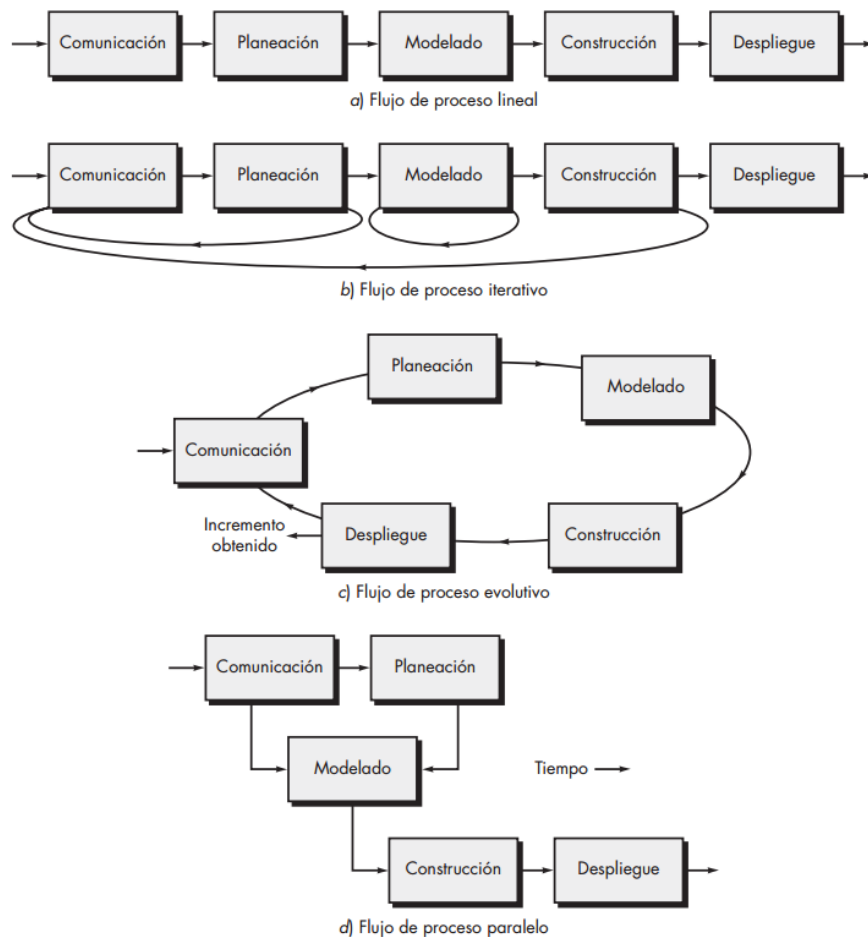


Figura 2.4.- Distintos flujos del proceso de software.

### **2.2.4 Modelo Incremental**

Harlan Mills, propuso el modelo incremental como una forma de reducir la repetición del trabajo en el proceso de desarrollo de software, generando un conjunto de incrementos funcionales del sistema. Durante el desarrollo de cada incremento se puede utilizar el modelo de cascada o evolutivo, dependiendo del conocimiento que se tenga sobre los requisitos a implementar, por lo que es posible adaptar dicha metodología a las necesidades propias del proyecto a realizar [19].

El modelo incremental combina elementos del modelo en cascada aplicado en forma iterativa, es decir, se aplica el ciclo de vida del modelo en cascada (requerimientos, análisis, diseño, construcción y pruebas) en repetidas ocasiones, entregando incrementos funcionales del software. Este modelo de proceso incremental, al igual que la construcción de prototipos y otros enfoques evolutivos, es iterativo por naturaleza.

Cada incremento producido por este modelo contiene las siguientes fases [20]:

1. Requerimientos. Tiene como meta definir y delimitar la funcionalidad del sistema de software. La especificación de requisitos sirve como base de negociación entre el desarrollador del sistema y el cliente, y debe reflejar los deseos de éste.

2. Diseño. Posterior a la validación de los requerimientos se construye una arquitectura capaz de resolver el problema bajo condiciones ideales. Esta fase del modelo responde a las preguntas ¿Qué? y ¿Cómo?

3. Construcción. Es la programación del sistema.

4. Pruebas. Se verifica y valida el sistema a nivel de componentes individuales y su integración. Se busca descubrir cualquier defecto en los requisitos, análisis, diseño, implementación e integración. Las pruebas se hacen a varios niveles, desde funciones sencillas hasta el sistema completo.

### **2.2.5 UML**

UML (por su acrónimo en inglés Unified Modeling Language) es un estándar que se ha adoptado a nivel internacional para crear esquemas, diagramas y documentación que represente y modele la información con la que se trabaja en las fases de análisis y de diseño. UML no representa un modelo sobre cómo o qué hacer para construir un sistema de software, sino que ofrece diversos diagramas que ayudan a visualizar el diseño y hacerlo asequible para otros [21].



UML ofrece 9 tipos de diagramas para representar gráficamente un sistema desde distintos puntos de vista, sin embargo, de acuerdo con las necesidades de este proyecto solamente se utilizaron los siguientes:

- Diagramas de casos de uso.
- Diagrama de estados.

### 2.2.6 Diagramas de casos de uso

Los diagramas de casos de uso representan gráficamente las interacciones de los usuarios con el sistema a desarrollar representando los requisitos funcionales, es decir, representan lo que tiene que hacer un sistema y como debe hacerlo [21]. En la Figura 2.5 se muestra un ejemplo de diagramas de casos de uso.

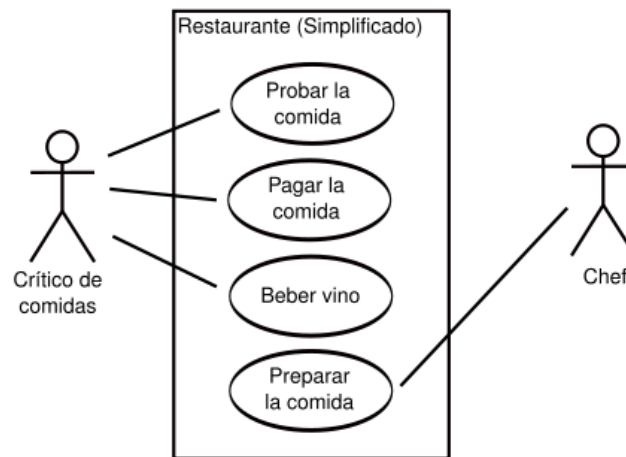


Figura 2.5.- Ejemplo de diagrama de casos de uso.

### 2.2.7 Diagrama de estados

Este tipo de diagrama muestra el conjunto de estados por los cuales pasa un objeto durante su vida en una aplicación en respuesta a eventos, estos son especialmente utilizados para describir el comportamiento de un sistema reactivo [21]. En la Figura 2.6 se puede apreciar un ejemplo de diagrama de estados.

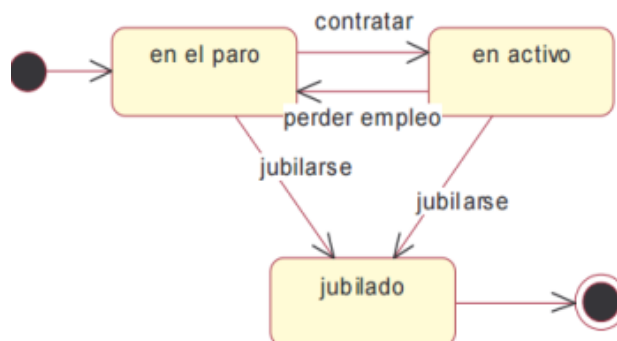


Figura 2.6.- Ejemplo de diagrama de estados.

## Capítulo 3 *Diseño Detallado*

### 3.1 *Selección de componentes*

Para la selección de los componentes que mejor se ajusten al prototipo, se realizaron tablas comparativas en las cuales se analizan sus principales características. Después se construyen tablas con valores ponderados para obtener la selección más adecuada según los requerimientos del sistema.

#### 3.1.1 *Microcontrolador*

Tabla 3.1.- Tabla comparativa de microcontroladores.

	<i>STM32F0</i>	<i>LPC81</i>	<i>SAM L22</i>	<i>MK02FN</i>	<i>Unidades</i>
<b>Costo</b>	1.77	1.51	5.01	4.65	Dólares
<b>Núcleo</b>	ARM Cortex-M0	ARM Cortex-M0	ARM Cortex-M0	ARM Cortex-M4	---
<b>Resolución</b>	32	32	32	32	bits
<b>Frecuencia del CPU</b>	48	30	32	100	MHz
<b>Voltaje de operación</b>	2 a 3.6	3.3	1.62 a 3.63	1.71 a 3.6	V
<b>Empaquetado</b>	LQFP	SO	TQFP	LQFP	---
<b>Memoria Flash</b>	16	16	256	128	KB
<b>Memoria RAM</b>	8	4	32	16	KB
<b># ADC</b>	1	N/A	1	1	---
<b># DAC</b>	1	N/A	1	1	bits
<b>Interfaces de comunicación</b>	4	4	4	4	---
<b># GPIO</b>	35	18	16	46	---
<b># Timers</b>	8	4	5	5	---

Tabla 3.2.- Tabla de valores ponderados para la selección del microcontrolador.

<i>Criterio de selección</i>	<i>Ponderación (%)</i>	<i>STM32F0</i>	<i>LPC81</i>	<i>SAM L22</i>	<i>MK02FN</i>
<b>Costo</b>	50	10	10	5	6
<b>Memoria Flash</b>	10	8	8	10	9
<b>Memoria RAM</b>	10	8	7	10	9
<b>Interfaces de comunicación</b>	15	10	8	8	10
<b># GPIO</b>	15	10	8	8	10
<b>Total</b>	100	9.6	8.9	6.9	7.8

De la Tabla 3.2 se puede reflexionar que el microcontrolador que mejor se adapta a los requerimientos del sistema es el *STM32F0*, pues destaca por ser el más económico y admitir un mayor número de interfaces de comunicación y puertos GPIO, lo que facilita la integración con los sensores y el módulo de radiofrecuencia. Este microcontrolador combina la potencia con el bajo consumo de energía. Opera en un rango de -40°C hasta los 125°C, ideal para su uso en la radiosonda. Cuenta con memoria flash de 16Kb y 8Kb de memoria RAM. Hasta 35 puertos I/O y 4 interfaces de comunicación.

### 3.1.2 Sensor de temperatura

Tabla 3.3.- Tabla comparativa de sensores de temperatura.

	<i>MAX31820</i>	<i>LMT01-Q1</i>	<i>BME280</i>	Unidades
Costo	1.69	4.50	1.30	Dólares
Empaquetado	TO-92	TO-92	LGA	---
Interfaz digital	1-Wire bus	1-Wire bus	I <sup>2</sup> C y SPI	---
Consumo de corriente	150	40	350	μA
Voltaje de operación	3 a 3.7	2.3 a 5.5	1.2 a 3.6	V
Tiempo de respuesta	1	7	1	s
Exactitud	±1	±0.75	±1	°C
Rango	-55 a 125	-40 a 150	-40 a 85	°C
Resolución	0.2	0.06	0.01	°C

Tabla 3.4.- Tabla de valores ponderados para la selección del sensor de temperatura.

Criterio de selección	Ponderación (%)	<i>MAX31820</i>	<i>LMT01-Q1</i>	<i>BME280</i>
Costo	45	9	7	10
Consumo de corriente	10	6	10	5
Tiempo de respuesta	10	10	7	10
Exactitud	10	9	10	9
Rango	15	8	10	7
Resolución	10	8	10	10
Total	100	8.55	8.35	8.95

De la Tabla 3.4 se observa que el sensor *BME280* se adapta mejor a los requerimientos del sistema destacando únicamente por un costo inferior y una mejor resolución. Aun cuando el *BME280* se queda muy por debajo del rango de operación en comparación con los otros sensores, está dentro de los parámetros mínimos permitidos para su uso en la radiosonda. Por otro lado, cuenta con una exactitud de ±1°C quedando dentro de los parámetros mínimos necesarios.

### 3.1.3 Sensor de humedad

Tabla 3.5.- Tabla comparativa de sensores de humedad.

	<b>BME280</b>	<b>CC2D33-SIP</b>	<b>HTS221</b>	<b>Unidades</b>
<b>Costo</b>	1.30	17.78	4.33	Dólares
<b>Sensores adicionales</b>	Presión y temperatura	Temperatura	Temperatura	---
<b>Empaquetado</b>	LGA	SIP	HLGA-6L	---
<b>Interfaz digital</b>	I <sup>2</sup> C y SPI	I <sup>2</sup> C	I <sup>2</sup> C y SPI	---
<b>Consumo de corriente</b>	340	750	690	μA
<b>Voltaje de operación</b>	1.2 a 3.6	2.3 a 5.5	1.7 a 3.6	V
<b>Tiempo de respuesta</b>	1	7	15	s
<b>Exactitud</b>	±3	±2	±5	%HR
<b>Rango</b>	0 a 100	0 a 100	0 a 100	%HR
<b>Resolución</b>	0.008	0.01	0.008	%HR

Tabla 3.6.- Tabla de valores ponderados para la selección del sensor de humedad.

<b>Criterio de selección</b>	<b>Ponderación (%)</b>	<b>BME280</b>	<b>CC2D33-SIP</b>	<b>HTS221</b>
<b>Costo</b>	60	10	3	8
<b>Consumo de corriente</b>	10	9	8	10
<b>Tiempo de respuesta</b>	20	10	7	5
<b>Exactitud</b>	10	9	10	8
<b>Total</b>	100	9.8	5	7.6

De acuerdo con la Tabla 3.6 el sensor de humedad que mejor se adapta a los requerimientos del sistema es el BME280, principalmente porque resultó ser el más económico y mejor aún cuenta con el mejor tiempo de respuesta. Este sensor cuenta con una gran resolución de 0.008%HR y una exactitud de ±3. Su rango de medición va de 0 a 100%HR. Integra un sensor de temperatura y un sensor de presión. El sensor de temperatura se usa para ajustar automáticamente los valores del sensor de humedad y de presión mediante la compensación por temperatura.

### 3.1.4 Sensor de presión

Tabla 3.7.- Tabla comparativa de sensores de presión.

	<b>MS5611-01BA</b>	<b>LPS35HW</b>	<b>BME280</b>	<b>Unidades</b>
<b>Costo</b>	5.71	8.35	1.30	Dólares
<b>Empaquetado</b>	QFN	LGA	LGA	---
<b>Interfaz digital</b>	I <sup>2</sup> C y SPI	I <sup>2</sup> C y SPI	I <sup>2</sup> C y SPI	---
<b>Consumo de corriente</b>	1250	1500	714	μA
<b>Voltaje de operación</b>	1.8 a 3.6	1.7 a 3.6	1.2 a 3.6	V
<b>Tiempo de respuesta</b>	0.1	0.1	1	s
<b>Exactitud</b>	±1.5	±2	±1	hPa
<b>Rango</b>	10 a 1200	260 a 1260	300 a 1100	hPa
<b>Resolución</b>	0.65	0.65	0.12	hPa

Tabla 3.8.- Tabla de valores ponderados para la selección del sensor de presión.

<b>Criterio de selección</b>	<b>Ponderación (%)</b>	<b>MS5611-01BA</b>	<b>LPS35HW</b>	<b>BME280</b>
<b>Costo</b>	50	8	5	10
<b>Consumo de corriente</b>	10	10	9	7
<b>Exactitud</b>	10	9	8	10
<b>Rango</b>	30	10	7	6
<b>Total</b>	100	8.9	6.3	8.5

De acuerdo con la Tabla 3.8 el sensor de presión que mejor se ajusta a los requisitos del sistema es *MS5611-01BA*, la razón principal es porque cuenta con el mejor rango de medición de presión absoluta y un menor consumo de corriente. Es posible comunicarse con el sensor a través de I<sup>2</sup>C y SPI. Cuenta con un tiempo de respuesta de 0.1s y una resolución de 0.65 hPa.

### 3.1.5 Módulo de radiofrecuencia

Tabla 3.9.- Tabla comparativa de módulos de radiofrecuencia.

	<b>SX1278</b>	<b>SX1278F30</b>	<b>SV610</b>	<b>Unidades</b>
<b>Costo</b>	11.05	13.30	11	Dólares
<b>Frecuencia</b>	433	433	433	MHz
<b>Tipo de modulación</b>	Lora TM, FSK, GFSK y OOK	Lora TM, FSK, GFSK y OOK	GFSK	---
<b>Voltaje de operación</b>	1.8 a 3.7	3 a 6.5	2.8 a 6	V
<b>Sensibilidad</b>	-121	-139	-121	dBm
<b>Potencia de salida</b>	30	30	20	dBm
<b>Interfaz de comunicación</b>	SPI	SPI	232/485 serial	---
<b>Consumo de corriente</b>	RX 10.8 TX 100	13 650	25 95	mA

Tabla 3.10.- Tabla de valores ponderados para la selección del módulo de radiofrecuencia.

<b>Criterio de selección</b>	<b>Ponderación (%)</b>	<b>SX1278</b>	<b>SX1278F30</b>	<b>SV610</b>
<b>Costo</b>	40	10	8	10
<b>Sensibilidad</b>	20	9	10	9
<b>Potencia de salida</b>	20	10	10	8
<b>Consumo de corriente</b>	20	10	7	9
<b>Total</b>	100	9.4	8.6	8.8

A partir de la Tabla 3.10 se puede observar que el módulo *SX1278* es el que mejor se ajusta a los requerimientos del sistema. A pesar de ser el más económico, es también el que tiene mejores características para su uso en la radiosonda.

Este módulo cuenta con una interfaz SPI, lo cual facilita la comunicación con el microcontrolador. La potencia de salida es aceptable y cuenta con múltiples formatos de modulación, lo que permite seleccionar el que mejor se adapte al sistema.

### 3.2 Diseño electrónico de la radiosonda

Para el diseño eléctrico de la radiosonda, se comenzó diseñando el sistema mínimo del microcontrolador. El sistema mínimo se refiere a la cantidad mínima de componentes externos que requiere el microcontrolador para operar de manera óptima. Para construir un buen sistema mínimo es indispensable basarse en la hoja de datos del microcontrolador.

#### 3.2.1 Descripción de los pines del microcontrolador STM32F051C4

El microcontrolador STM32F051C4 viene en un encapsulado LQFP de 48 pines, de los cuales 35 se pueden usar como entradas y salidas generales mientras que los 13 pines restantes están reservados para la alimentación, conexión de reloj externo, reset y selección del bootloader. los cuales se muestran en la Figura 3.1.

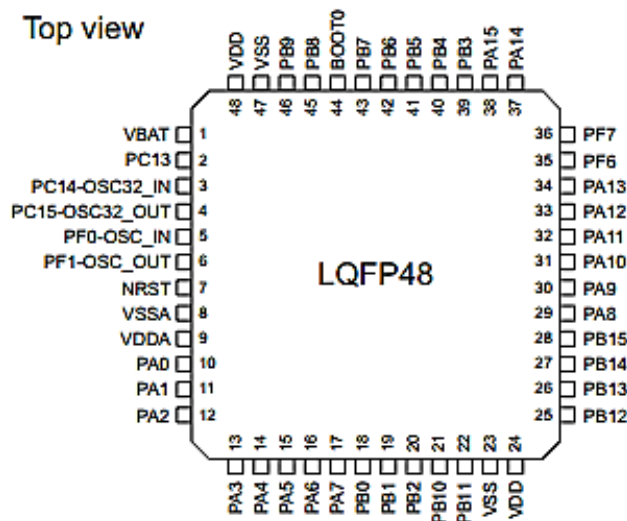


Figura 3.1.- Descripción de los pines del microcontrolador STM32F051C4.

#### 3.2.2 Alimentación del microcontrolador

Este microcontrolador soporta un voltaje de alimentación de 2 a 3.6V, preferentemente a 3.3V. El esquemático recomendado para la alimentación del microcontrolador se muestra en la Figura 3.2.

Cada par de pines de alimentación del microcontrolador (ejemplo VDD/VSS, VDDA/VSSA) debe desacoplarse con filtros capacitivos como se muestra en la figura 2.2. Estos capacitores deberán situarse lo más cerca posible de cada pin para garantizar la correcta operación del microcontrolador [22].

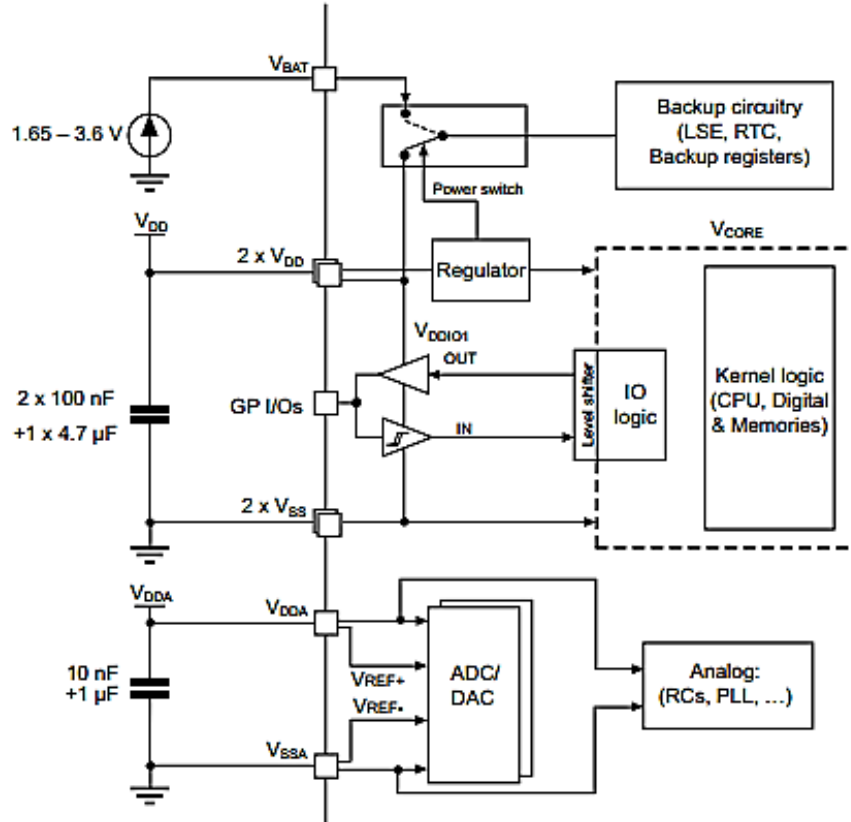


Figura 3.2.- Esquemático de la alimentación del microcontrolador.

De acuerdo con la hoja de datos del microcontrolador, si no se usa una batería externa para alimentar el microcontrolador a través de VBAT, es necesario conectar este pin a la alimentación principal VDD.

La radiosonda se alimentará mediante una batería de litio de 9V por lo que la alimentación principal es de 9V. El módulo de radiofrecuencia y el sensor de temperatura requieren de un voltaje de alimentación de 5V, de manera que primero es necesario regular el voltaje de 9V a 5V. El microcontrolador y los sensores humedad y presión requieren de un voltaje de alimentación de 3.3V, por lo que es necesario utilizar otro regulador de voltaje de 5V a 3.3V. Los capacitores C1 y C3 son de tipo cerámico y su valor es el recomendado de acuerdo a la hoja de datos del regulador LF50AB y LF33C. Los capacitores C2 y C4 son electrolíticos de Tantalio de acuerdo a lo recomendado por la hoja de datos.

Los capacitores C5, C6, C7, C8 y C9 son los que menciona la hoja de datos del microcontrolador para garantizar el buen funcionamiento de este. El diseño de la alimentación del sistema se muestra en la Figura 3.3.

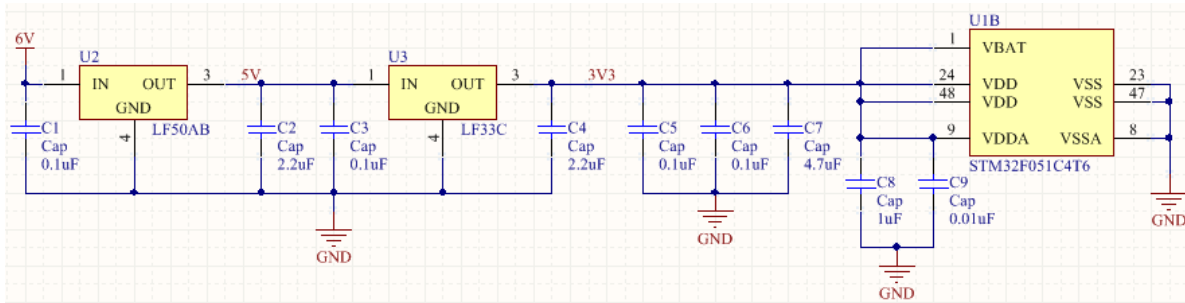


Figura 3.3.- Diagrama eléctrico de la implementación de la alimentación.

### 3.2.3 Esquemático de la radiosonda

En la Figura 3.4 se muestra el diagrama eléctrico de la radiosonda.

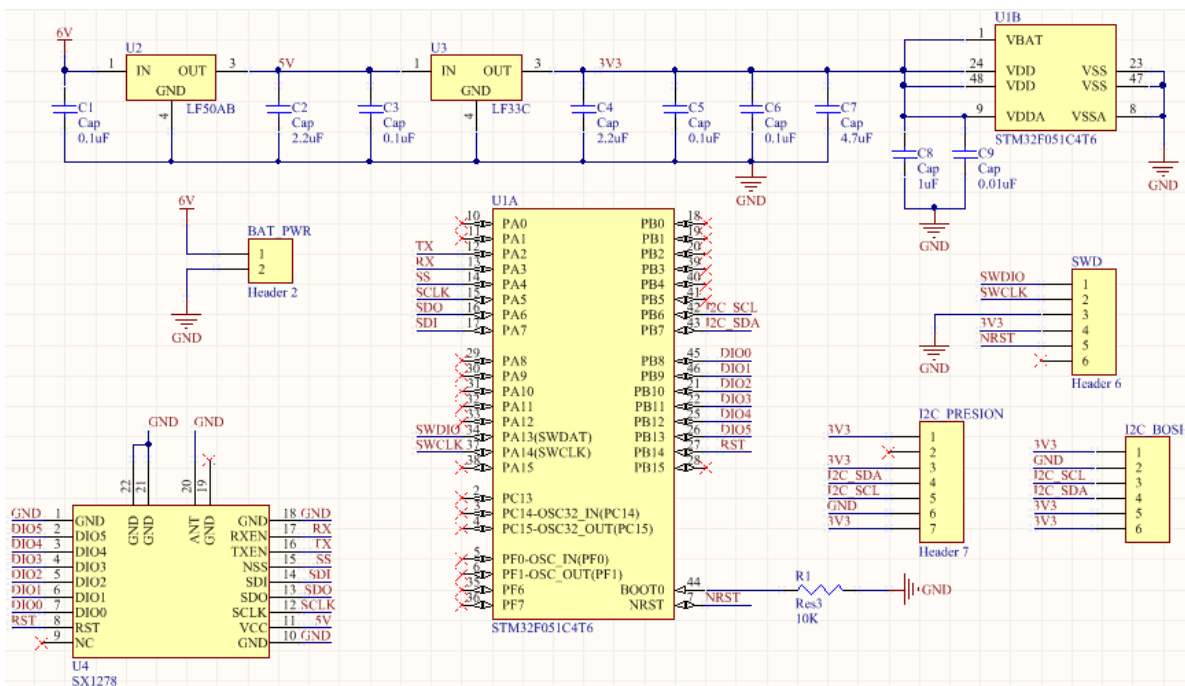


Figura 3.4.- Diagrama eléctrico de la radiosonda.



### 3.2.4 Tarjeta de circuito impreso de la radiosonda

Una vez terminado el esquemático de la radiosonda, se procede a diseñar la tarjeta de circuito impreso “PCB” (por su acrónimo en inglés Printed Circuit Board).

La PCB para la radiosonda se diseñó de dos capas utilizando el menor espacio posible. La capacitancia entre dos planos paralelos de alimentación, además de servir para reducir las radiaciones electromagnéticas, atenúa sustancialmente el ruido de la fuente de alimentación [23]. En la Figura 3.5 se observa que el diseño de la radiosonda incluye planos de tierra para reducir corrientes parásitas, atenuar el ruido y blindarlo frente a pequeñas radiaciones electromagnéticas.

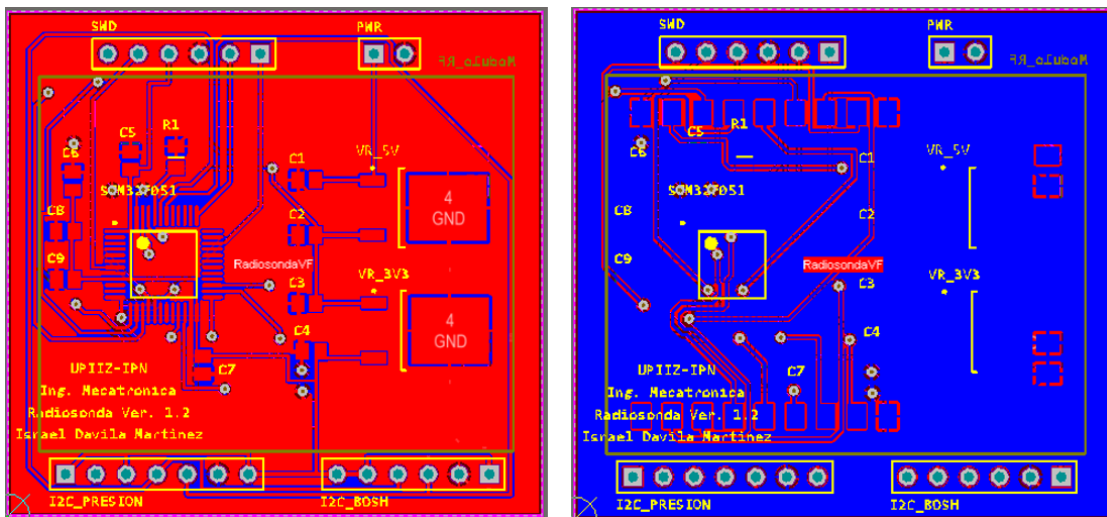


Figura 3.5.- Planos de tierra en las dos capas de la PCB para la radiosonda.

La vista superior e inferior de la PCB para la radiosonda se puede observar en la Figura 3.6.

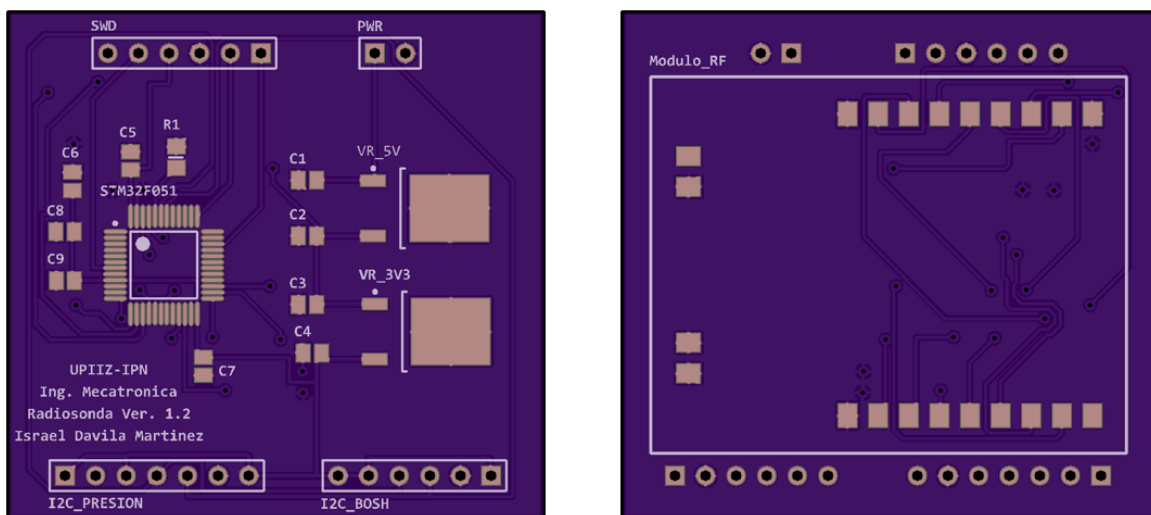


Figura 3.6.- Vista superior (izquierda) e inferior (derecha) de la PCB para la radiosonda.

### 3.3 Diseño electrónico de la estación receptora

El primer diseño de la estación receptora consistía en el mismo diseño de la radiosonda. Ya que el módulo de radiofrecuencia puede trabajar como transmisor y receptor según se configure, es posible utilizar la misma PCB como emisor o receptor. La única diferencia entre la radiosonda y la estación receptora según este diseño sería que la estación receptora no tendría montando los sensores para las mediciones meteorológicas.

La comunicación de la estación receptora con el ordenador podría hacerse a través de una interfaz USB a serial UART. Los pines del I2C\_BOSH serían reprogramados para configurarse como UART.

Sin embargo, este diseño requiere de un módulo adicional para convertir de USB serial a UART, además de que tendrían que conectarse mediante múltiples cables.

Un segundo diseño incorpora en una sola PCB, la electrónica necesaria para el módulo de radiofrecuencia y la interfaz USB. De esta manera la estación receptora es mucho más robusta, sin la interferencia que puede causar la conexión cableada, el espacio se reduce aún más, el costo de fabricación es menor y tiene una presentación mucho más estética.

La conexión de la estación receptora con el ordenador es a través de un puerto USB mini. Este puerto USB mini está conectado a un chip FT232 para convertir de USB a serial UART.

En la Figura 3.7 se muestra la etapa de alimentación y regulación de voltaje.

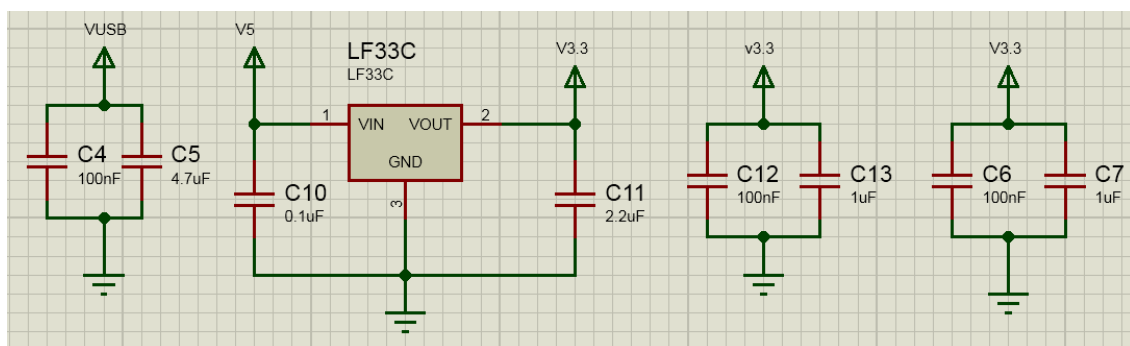


Figura 3.7.- Etapa de alimentación y regulación de voltaje.

### 3.3.1 Enumeración de dispositivos USB en el ordenador

La enumeración de dispositivos en el ordenador es un detalle muy importante que hay que tener en cuenta a la hora de diseñar algún dispositivo que requiera conectarse físicamente al ordenador. Para que la enumeración de dispositivos sea correcta es necesario que el dispositivo a conectar no consuma más de 10mA al momento de ser conectado. Una vez que el ordenador realiza la enumeración del dispositivo, el dispositivo podrá consumir la corriente que necesite para funcionar correctamente siempre y cuando no exceda los límites de corriente que soporta el puerto USB.

Las reglas básicas para dispositivos alimentados a través del puerto USB son:

- Al conectarse, el dispositivo no debe consumir más de 10mA.
- El dispositivo no debe consumir más de 500mA del bus USB.
- Es necesario que el dispositivo cuente con un circuito de “soft start” para limitar la corriente que se consume al conectar el dispositivo al puerto USB mientras se realiza la enumeración de dispositivos en el ordenador.

El circuito que se encarga de realizar esta tarea para la enumeración es la que se muestra a en la Figura 3.8.

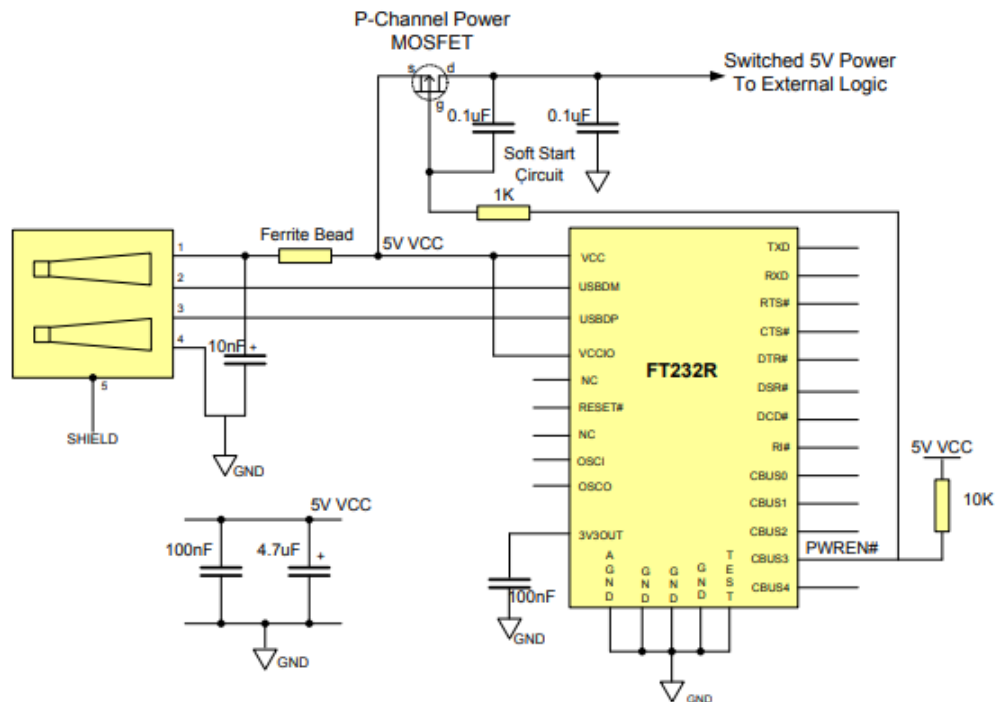


Figura 3.8.- Circuito “soft start” para la enumeración de dispositivos.

### 3.3.2 Diseño con módulo de radiofrecuencia intercambiable

En respuesta a versiones de diseños anteriores, se optó por incluir en este diseño dos footprints de módulos de radiofrecuencia distintos, con la finalidad de seleccionar el módulo que mejor que adapte al sistema.

El esquemático de las conexiones para los dos módulos de radiofrecuencia para la estación receptora se muestra en la Figura 3.8.

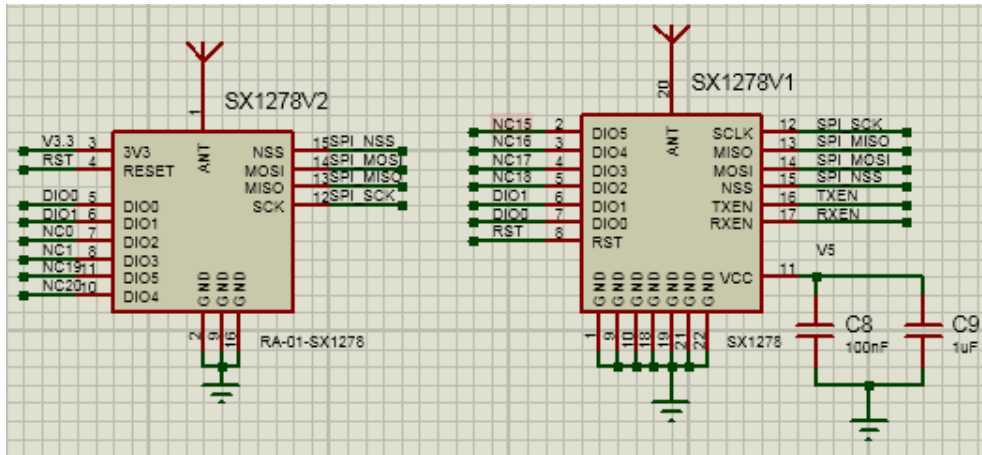


Figura 3.8.- Esquemático de las conexiones de los dos módulos de radiofrecuencia.

Finalmente, en la Figura 3.9, se muestra el esquemático completo de la estación receptora.

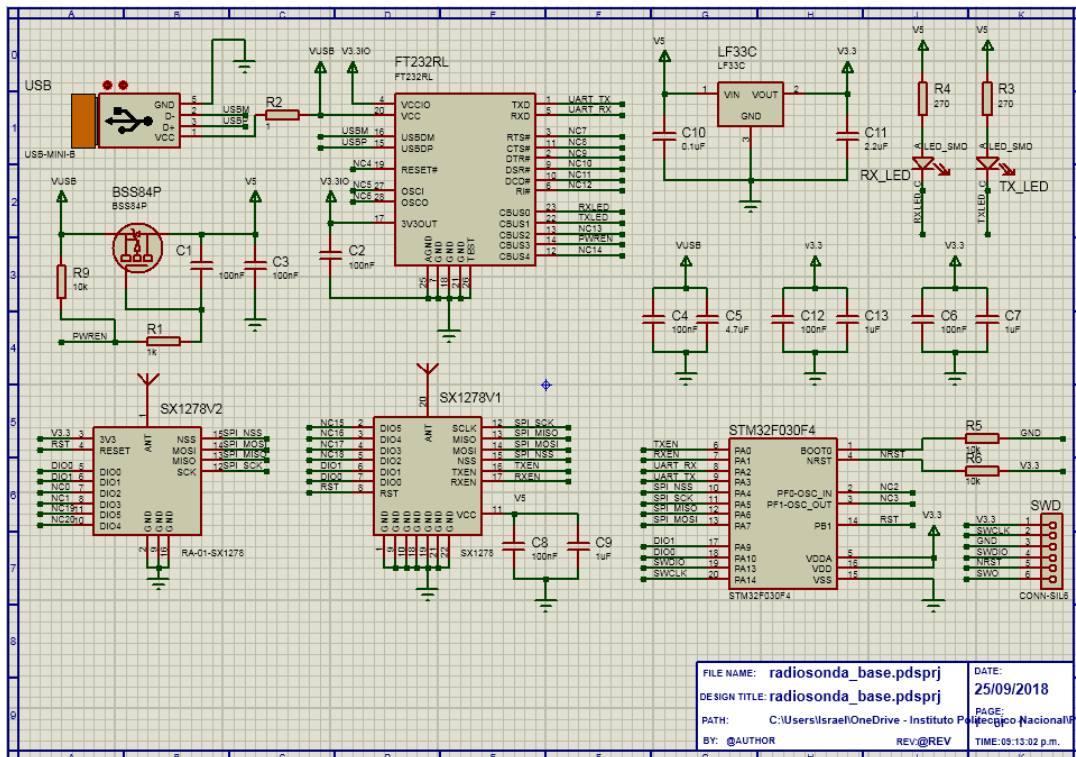


Figura 3.9.- Esquemático de la estación receptora.

### 3.3.3 Tarjeta de circuito impreso de la estación receptora

Una vez terminado el esquemático de la estación receptora, se procedió a diseñar la tarjeta PCB.

La PCB para la estación receptora se diseñó de dos capas utilizando el menor espacio posible. En este diseño se contempló la incorporación de dos footprints para módulos de radiofrecuencia distintos, haciendo más robusta y flexible la estación receptora pues ahora se puede elegir cualquiera de estos dos módulos según se requiera.

Este diseño cuenta con dos planos de tierra, con la finalidad de reducir corrientes parásitas, atenuar el ruido y blindarlo frente a pequeñas radiaciones electromagnéticas.

El diseño de la PCB puede apreciar en la Figura 3.10.

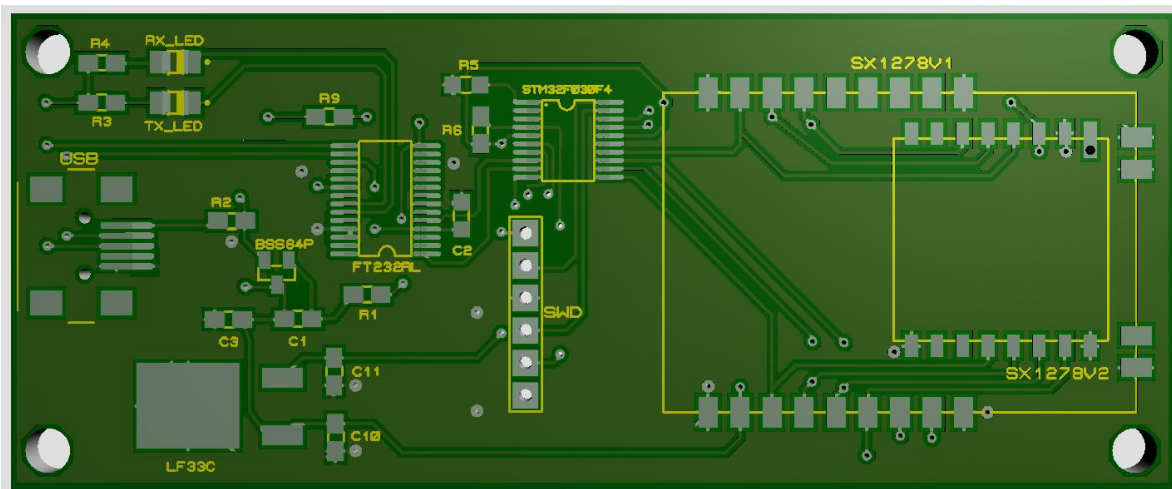


Figura 3.10.- Vista superior de la PCB para la estación receptora.

### 3.4 Diseño estructural de la radiosonda

El empaquetado de la radiosonda se basará en los empaquetados de los fabricantes de radiosondas, el cual consiste en cubrir la totalidad de la radiosonda con poliestireno expandido de forma ajustada mantener segura y estable tanto la radiosonda, los sensores y la batería.

De acuerdo con el diseño de la PCB para la radiosonda, las dimensiones de la PCB (Figura 3.11) son de 44.325mm x 42mm, mientras que la batería que se utilizara para alimentar el circuito de la radiosonda mide 25mm de largo, 15mm de ancho y 45 de alto (Figura 3.12). Por lo que ahora es posible proseguir al diseño del empaquetado de la radiosonda.

El diseño general de la radiosonda es muy simple y para evitar el uso de tornillos o pegamentos, se diseñó la estructura de forma compacta y ajustada a los elementos que alberga en su interior.

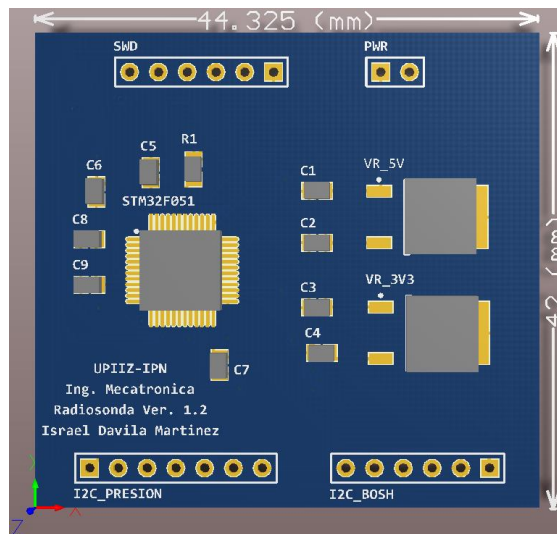


Figura 3.11.- Dimensiones de la PCB para la radiosonda.

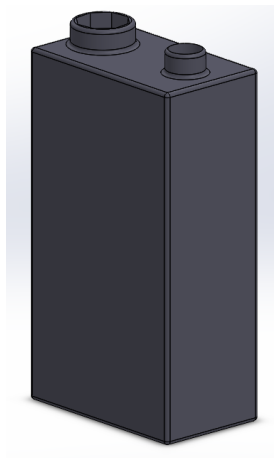


Figura 3.12.- Batería de 9V.

### 3.4.1 Base inferior

El diseño del empaquetado de la radiosonda está compuesto por tres elementos, que son, la base inferior, una placa intermedia y la base superior. La base inferior sirve como soporte para la batería de litio de 9V. La vista tridimensional y el plano de la base inferior se muestran en la Figura 3.13.

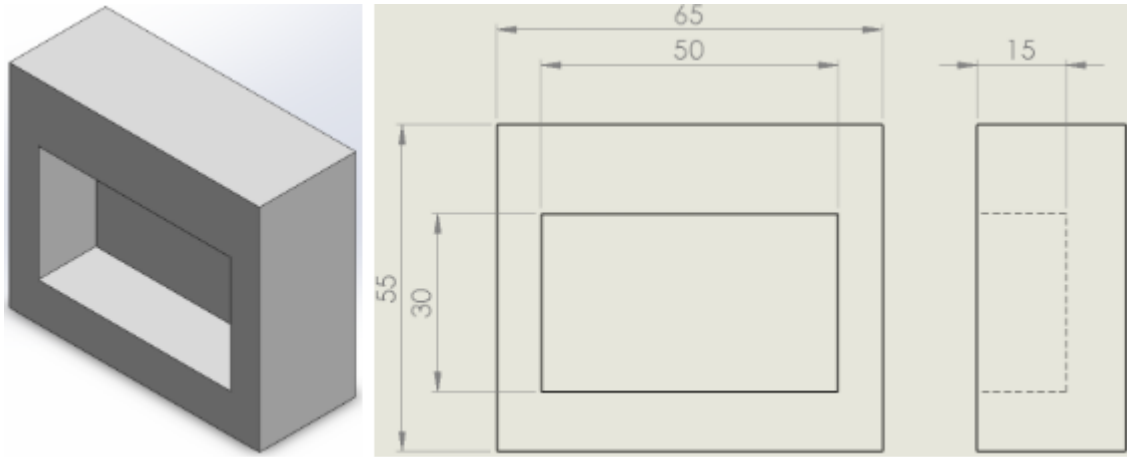


Figura 3.13.- Vista tridimensional y plano de la base inferior.

### 3.4.2 Placa intermedia

Para aislar la batería del resto de la radiosonda, se diseñó una placa intermedia entre la base inferior y la base superior. Esta placa intermedia, además de aislar la batería de la radiosonda, sirve como soporte tanto para la batería como de la radiosonda. Esta placa intermedia cuenta con un orificio por el cual pasa el cable de conexión de la batería hacia la radiosonda. La vista tridimensional y el plano de la placa intermedia se muestra en la Figura 3.14.

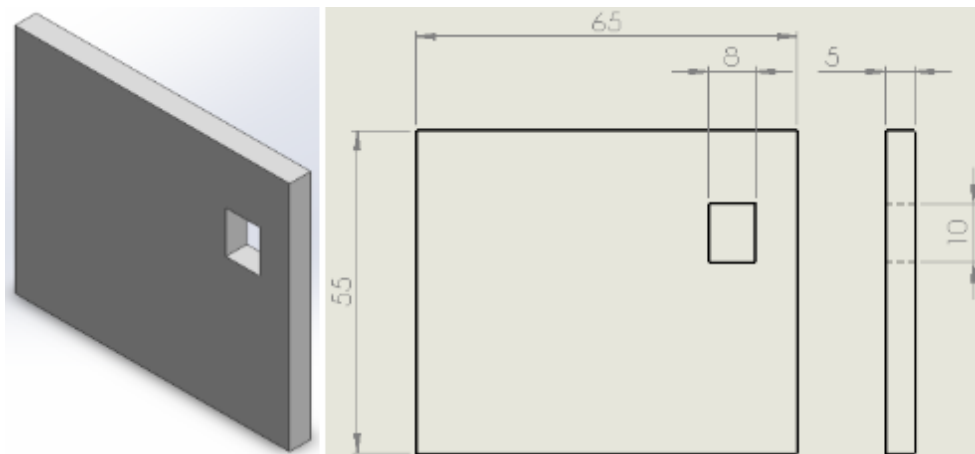


Figura 3.14.- Vista tridimensional y plano de la placa intermedia.

### 3.4.3 Base superior

La base superior sirve para proteger la radiosonda, además de darle soporte y ajuste para mantener los sensores y la radiosonda estables durante el lanzamiento. La vista tridimensional y el plano de la base superior se pueden observar en la Figura 3.15.

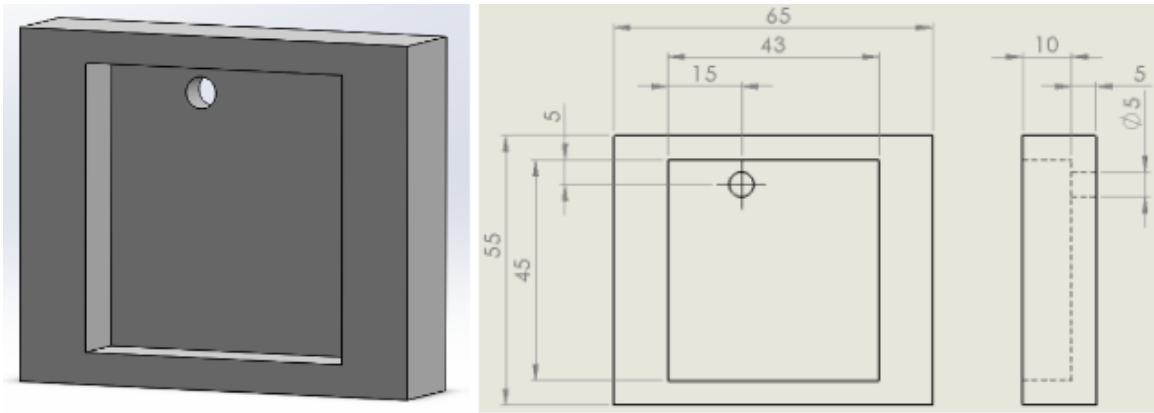


Figura 3.15.-.- Plano y dimensiones de la base superior.

#### 3.4.4 Ensamble del empaquetado para la radiosonda

El empaquetado de la radiosonda se diseñó para cubrir por completo tanto la radiosonda como la batería, de esta manera los elementos dentro del empaquetado están protegidos y en su lugar sin necesidad de usar tornillos o pegamento.

El ensamble del empaquetado para la radiosonda es sumamente sencillo. En la Figura 3.16 se puede apreciar una vista explosionada de la radiosonda, la batería y el empaquetado.

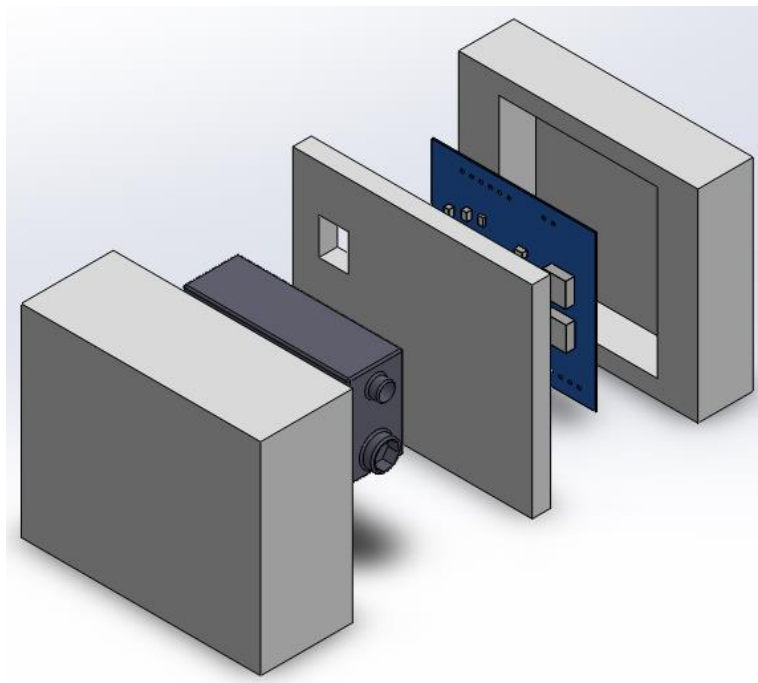


Figura 3.16.- Vista explosionada del ensamble de la radiosonda.



En la Figura 3.17 se muestra una vista renderizada de la vista explosionada del ensamble de la radiosonda.

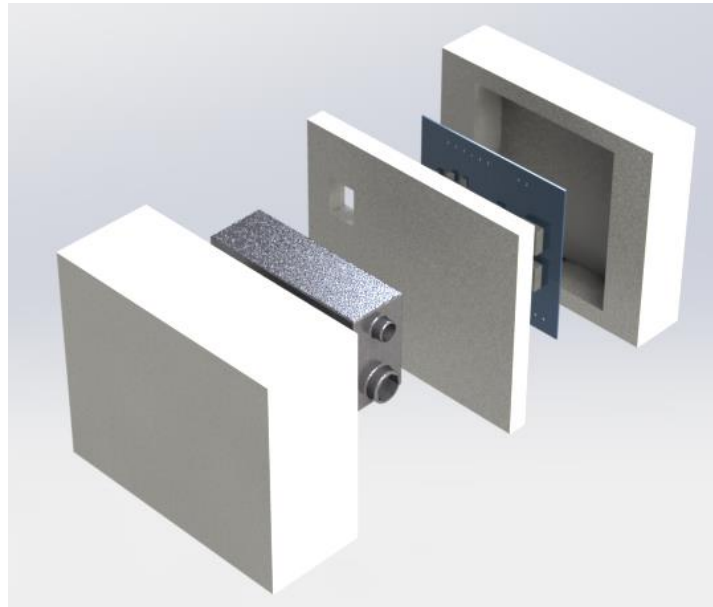


Figura 3.17.- Vista renderizada de la vista explosionada del ensamble de la radiosonda.

### 3.5 Diseño estructural de la estación receptora

De acuerdo con el diseño de la PCB para la estación receptora, las dimensiones de la PCB (Figura 3.18) son de 91mm x 37.1mm. A partir de estas medidas se procedió a diseñar la estructura de la estación receptora. El diseño para la estación receptora contempla 4 bases para sujetar la PCB mediante tornillos P2.5X5. También toma en cuenta un espacio para la conexión del cable USB a la PCB de la estación receptora. Para esto se dividió la estructura de la estación receptora en 2 piezas, que son, la base y la tapa. Este diseño tiene la ventaja de ser fácil de abrir para dar mantenimiento al hardware, además es robusto y ligero.

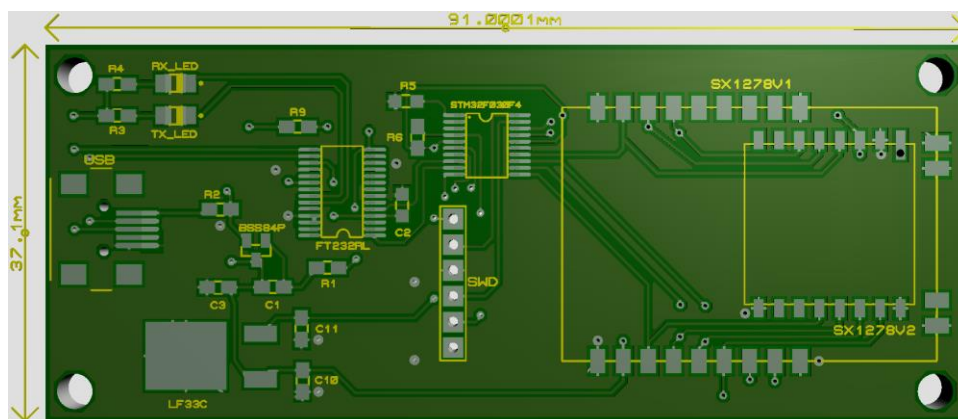


Figura 3.18.- Dimensiones de la PCB para la estación receptora.

### 3.5.1 Base

La base de la estación receptora cuenta con 4 relieves ranurados que sirven como soporte para la PCB y para atornillar la PCB a la base mediante tornillos P2.5X5. La vista tridimensional y el plano de la base se puede apreciar en la Figura 3.19.

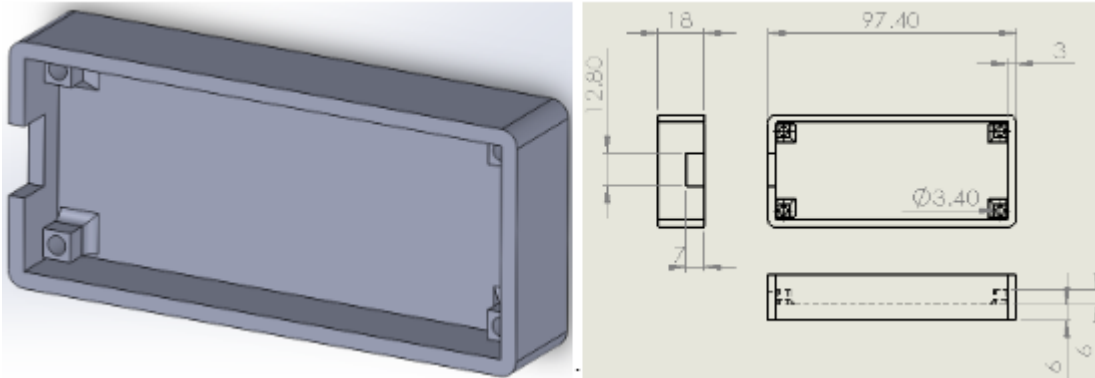


Figura 3.19.- Vista tridimensional y plano de la base para la estación receptora.

### 3.5.2 Tapa

La tapa se diseñó con la medida justa para embonar en la base mediante presión. Tiene también un corte con la medida exacta para permitir la entrada del cable USB y poder conectarlo a la PCB de la estación receptora. En la figura 3.20 se observa el modelo tridimensional de la tapa y el plano de la tapa.

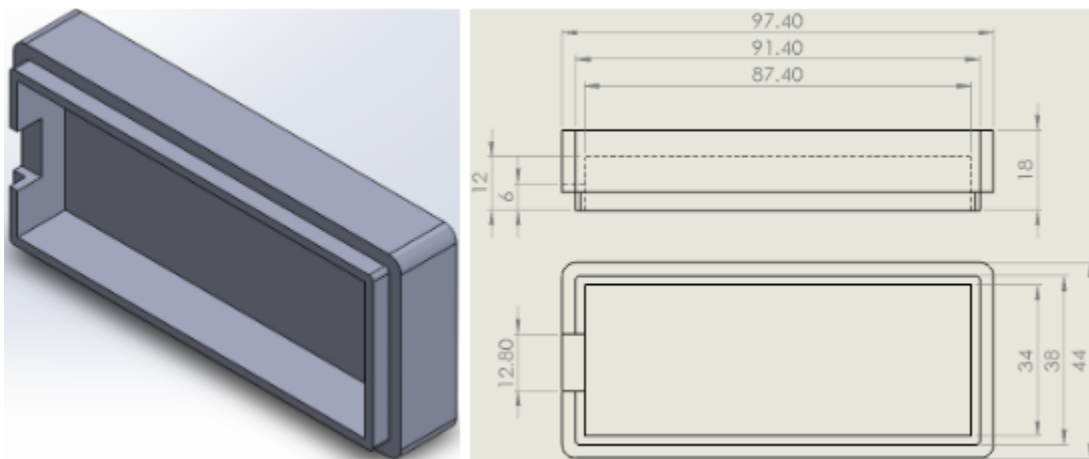
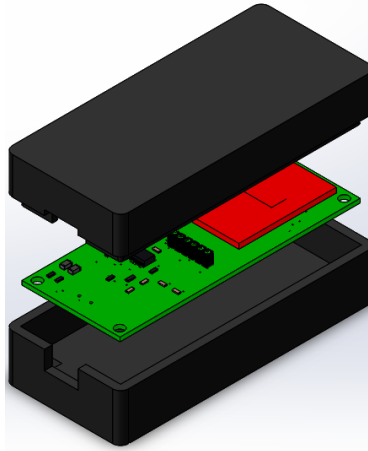


Figura 3.20.- Vista tridimensional y plano de la tapa para la estación receptora.

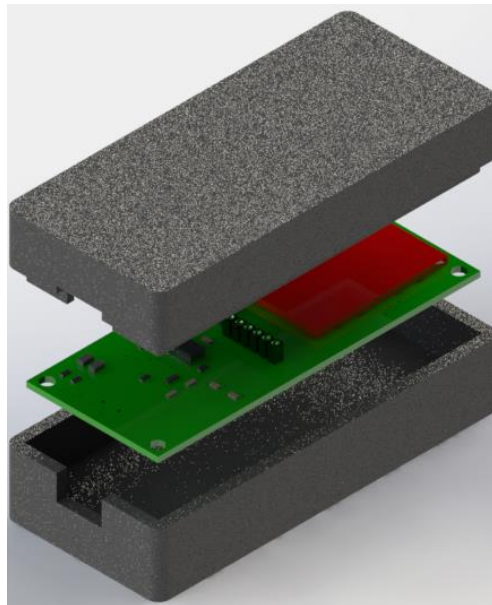
### 3.5.3 *Ensamble de la estación receptora*

En la Figura 3.21 se puede observar la vista explosionada del ensamble de la estación receptora.



*Figura 3.21.- Vista explosionada del ensamble de la estación receptora.*

Finalmente, en la Figura 3.22 se puede apreciar una vista renderizada de la vista explosionada del ensamble de la estación receptora.



*Figura 3.22.- Vista renderizada de la vista explosionada de la estación receptora.*

### **3.6 Desarrollo del software**

Para el desarrollo del software se hizo uso del modelo incremental, el cual consiste en segmentar dicho trabajo en distintos grupos de tareas llamados incrementos y seguir los pasos del modelo en cascada para cada uno de ellos. A continuación, se analizará a detalle cada una de las fases de este tipo de metodología implementada al desarrollo del software para el sistema de radiosonda meteorológica:

- **Requerimientos.** Los requerimientos se plasmaron en un documento de especificación de requerimientos de software (SRS, por sus siglas en inglés) de acuerdo con las aportaciones del personal de hidrometeorología de CONAGUA Zacatecas y a las aportaciones del M. en C. Roberto Carlos Hernández León. En dicho documento se establecieron las bases para el diseño de la aplicación, así como también se definieron un conjunto de requisitos a validar una vez construido el software.
- **Diseño.** En esta fase se diseñó el proyecto en su totalidad. Mediante el uso de algunos diagramas UML, fue posible predecir el cómo está conformada la aplicación en su etapa final.
- **Construcción y pruebas.** Es en esta fase en la que se puede observar la aplicación del modelo incremental, ya que se estuvieron construyendo incrementos y a la vez realizando pruebas de integración de dichos incrementos con el producto construido hasta ese momento.

Debido a que es posible adaptar la metodología incremental a las necesidades propias del proyecto a realizar, se generaron incrementos funcionales mediante las fases de construcción y pruebas, a partir de los requerimientos y diseño iniciales, ya que dada la naturaleza del proyecto no se espera que estos cambien.

En la Figura 3.23 se muestra el modelo conceptual de la distribución de los elementos que conforman el software del sistema de radiosonda meteorológica.

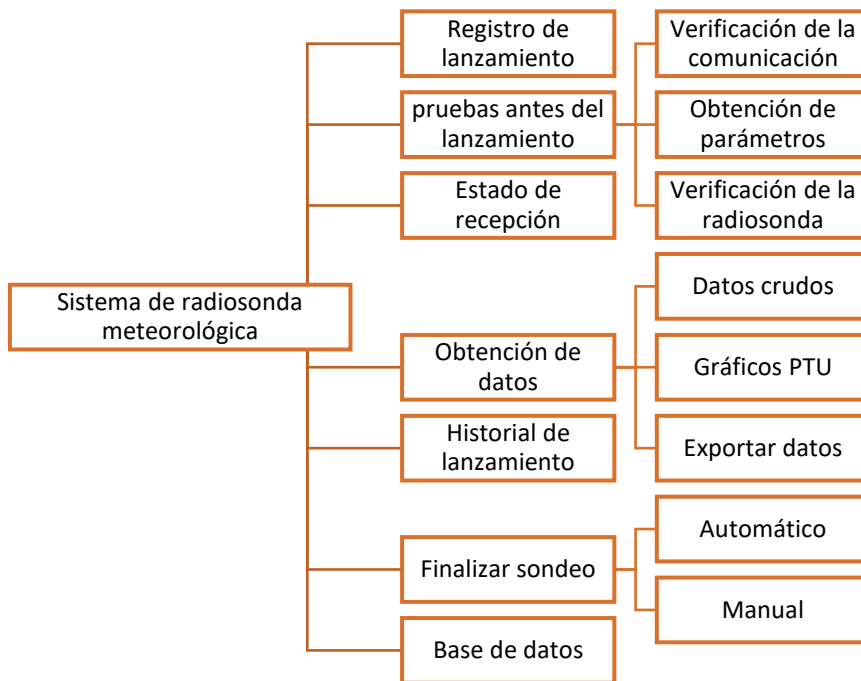


Figura 3.23.- Modelo conceptual del software para el sistema de radiosonda meteorológica.

### 3.6.1 Requerimientos

Los requerimientos del proyecto se definieron de acuerdo con las aportaciones del personal de hidrometeorología de CONAGUA Zacatecas y aportaciones del asesor, los cuales se plasmaron en un documento SRS. En dicho documento se establecen las bases para el diseño de la aplicación, así como también se definen un conjunto de requisitos que se podrán validar una vez que se ha construido el software.

En la Tabla 3.11 se muestran los requerimientos funcionales del software para el sistema de radiosonda meteorológica, los cuales detallan los comportamientos específicos de dicha aplicación en su etapa final.

Tabla 3.11.- Requerimientos funcionales.

Nombre	Identificador	Descripción
Registro de nuevo lanzamiento	REQF_01	Este requerimiento especifica la información necesaria para la creación de un nuevo registro de lanzamiento dentro de la aplicación.
Verificación de la comunicación	REQF_02	Verifica la comunicación entre el ordenador y la estación receptora.
Obtención de parámetros de la radiosonda	REQF_03	Verifica que se reciban todos los parámetros de medición.
Verificación de la radiosonda	REQF_04	Verifica que las mediciones de la radiosonda estén dentro de los parámetros de tolerancia.
Estado de la recepción	REQF_05	En este requerimiento se señala el estado de recepción.
Datos crudos	REQF_06	Se muestran los valores actuales de los parámetros medidos por la radiosonda.
Gráficos PTU	REQF_07	Este requerimiento detalla los elementos necesarios para mostrar los distintos gráficos PTU.
Finalizar sondeo	REQF_08	Este requerimiento define los elementos necesarios para finalizar el sondeo de forma automática, o en forma manual.
Exportación de datos	REQF_09	Este requerimiento especifica la información que se generara al seleccionar el tipo de formato de exportación.
Historial de lanzamiento	REQF_10	Este requerimiento especifica la información que se almacenara al realizar un lanzamiento.

Así mismo, la Tabla 3.12 contiene los requerimientos no funcionales de dicho producto, haciendo referencia a un criterio para evaluar su operación.

Tabla 3.12.- Requerimientos no funcionales.

Nombre	Identificador	Tipo	Descripción
Eficiencia de recursos	REQNF_01	Eficiencia	La aplicación no deberá influir significativamente en el rendimiento del ordenador.
Portabilidad entre distintas versiones del sistema operativo	REQNF_02	Portabilidad	Se debe asegurar la utilidad del producto en diversas versiones de Windows.

### 3.6.2 Requerimientos funcionales

Tabla 3.13.- REQF\_01.

<p><b>REQUERIMIENTO: REQF_01</b>  Nombre corto: Registro de nuevo lanzamiento  Estatus:</p> <hr/> <p><b>Descripción:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mediante un formulario de registro, el usuario podrá generar un nuevo perfil de lanzamiento.</li> <li>• Los datos necesarios para el registro de un nuevo lanzamiento son: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Nombre del usuario que realiza el lanzamiento.</li> <li>○ Código de la radiosonda.</li> <li>○ Hora de lanzamiento.</li> <li>○ Fecha de lanzamiento.</li> </ul> </li> <li>• Es importante que dos registros diferentes no cuenten con la misma hora y fecha de lanzamiento.</li> </ul> <p><b>Necesidad que resuelve:</b>  Registrar nuevos lanzamientos.</p> <p><b>Métrica de satisfacción:</b>  Se genera un nuevo registro de lanzamiento.</p>
---

Tabla 3.14.- REQF\_02.

---

**REQUERIMIENTO: REQF\_02**

Nombre corto: Verificación de la comunicación.

Estatus:

---

**Descripción:**

- Para garantizar que la estación receptora está correctamente conectada al ordenador, el usuario deberá realizar una verificación de la comunicación.

**Necesidad que resuelve:**

Problemas de comunicación entre la estación receptora y el ordenador.

**Métrica de satisfacción:**

Se realiza correctamente la comunicación entre la radiosonda y la aplicación.

---

Tabla 3.15.- REQF\_03.

---

**REQUERIMIENTO: REQF\_03**

Nombre corto: Obtención de parámetros de la radiosonda.

Estatus:

---

**Descripción:**

- Verifica que la aplicación este recibiendo todos los parámetros de medición.
- Los parámetros que debe recibir son:
  - Temperatura.
  - Humedad relativa.
  - Presión.

**Necesidad que resuelve:**

Comprueba que la radiosonda está transmitiendo todos los parámetros y que estos se reciben de forma correcta.

**Métrica de satisfacción:**

Se reciben valores de todos los parámetros.

---

Tabla 3.16.- REQF\_04.

---

**REQUERIMIENTO: REQF\_04**

Nombre corto: Verificación de la radiosonda.

Estatus:

---

**Descripción:**

- Verificar que los datos arrojados por la radiosonda estén dentro de los parámetros de tolerancia.

**Necesidad que resuelve:**

Comprueba la calidad de la radiosonda para la medición de las variables meteorológicas.

**Métrica de satisfacción:**

Los datos recibidos están dentro de los límites permisibles de tolerancia.

---



Tabla 3.17.- REQF\_05.

---

**REQUERIMIENTO: REQF\_05**

Nombre corto: Estado de recepción.

Estatus:

---

**Descripción:**

- Mediante algún indicador, se deberá mostrar el estado de la recepción.
- Los posibles estados de recepción son:
  - Excelente: Se reciben todos los parámetros.
  - Aceptable: Solo un parámetro no fue recibido.
  - Deficiente: Solo se recibió un parámetro.
  - Nulo: Ningún parámetro fue recibido.

**Necesidad que resuelve:**

Conocer el estado de la recepción de los datos de la radiosonda.

**Métrica de satisfacción:**

Se muestra adecuadamente el estado de la recepción mediante algún indicador.

---

Tabla 3.18.- REQF\_06.

---

**REQUERIMIENTO: REQF\_06**

Nombre corto: Datos crudos.

Estatus:

---

**Descripción:**

- Mostrar los datos actuales de presión, humedad relativa, temperatura y tiempo transcurrido en una tabla.
- Estos datos se tienen que actualizar en tiempo real.

**Necesidad que resuelve:**

Ofrecer los datos de las mediciones de la radiosonda en tiempo real.

**Métrica de satisfacción:**

Los datos se muestran y actualizan en tiempo real.

---

Tabla 3.19.- REQF\_07.

---

**REQUERIMIENTO: REQF\_07**

Nombre corto: Gráficos PTU

Estatus:

---

**Descripción:**

- Al finalizar el sondeo, los datos capturados podrán visualizarse en 2 gráficos distintos que son:
  - Temperatura.
  - Humedad relativa.

**Necesidad que resuelve:**

Facilitar la interpretación de las mediciones.

**Métrica de satisfacción:**

Los datos obtenidos se grafican de acuerdo con el gráfico seleccionado.

---

Tabla 3.20.- REQF\_08.

---

**REQUERIMIENTO: REQF\_08**

Nombre corto: Finalizar el sondeo

Estatus:

---

**Descripción:**

- Finaliza la observación del sondeo.
- Se debe seleccionar la causa del sondeo. Las causas pueden ser:
  - Se detecta la explosión del globo (finalización manual).
  - Sondeo se dio por terminado manualmente (finalización manual).
  - Globo alcanzó el nivel de presión suficiente de 3 hPa (finalización automática).
  - Datos de algún parámetro faltantes por más de 5 minutos (finalización automática).
  - Valor de presión no cambia durante más de 2 minutos (finalización automática).
  - Sin recepción de señal de la radiosonda por más de 3 minutos (finalización automática).

**Necesidad que resuelve:**

Termina el proceso de observación y recepción de datos.

**Métrica de satisfacción:**

Termina el proceso de observación.

---

Tabla 3.21.- REQF\_09.

---

**REQUERIMIENTO: REQF\_09**

Nombre corto: Exportación de datos

Estatus:

---

**Descripción:**

- Al finalizar la observación del sondeo el usuario podrá seleccionar el formato del archivo que contiene los datos de la observación.
- Los formatos pueden ser:
  - TXT.
  - XLSX.

**Necesidad que resuelve:**

Proporcionar distintos formatos de archivo para contener los datos de las mediciones

**Métrica de satisfacción:**

Se crea un archivo con el formato seleccionado el cual contiene los datos de las mediciones del lanzamiento.

---

Tabla 3.22.- REQF\_10.

---

**REQUERIMIENTO: REQF\_10**  
Nombre corto: Historial de lanzamientos.  
Estatus:

---

**Descripción:**

- El usuario podrá acceder al historial de lanzamientos, los cuales podrán filtrarse por mes y año.
- Al seleccionar un registro del lanzamiento dentro del historial, el usuario podrá acceder a los gráficos PTU y a los archivos de exportación.

**Necesidad que resuelve:**  
Accesibilidad a un registro de lanzamientos.

**Métrica de satisfacción:**  
El usuario podrá observar, filtrar y seleccionar un registro de lanzamiento con lo cual tendrá acceso a los gráficos PTU y los archivos de exportación.

---

### 3.6.3 Requerimientos no funcionales

Tabla 3.23.- REQNF\_01.

---

**REQUERIMIENTO: REQNF\_01**  
Nombre corto: Eficiencia de recursos.  
Estatus:  
Tipo: Eficiencia.

---

**Descripción:**

- La implementación de esta aplicación no deberá afectar significativamente el rendimiento del ordenador.

**Necesidad que resuelve:**  
Garantizar que la aplicación funcione sin afectar el rendimiento del ordenador.

**Métrica de satisfacción:**  
La aplicación consume una cantidad de recursos promedio respecto a otras aplicaciones del mercado.

---

Tabla 3.24.- REQNF\_02.

---

**REQUERIMIENTO: REQNF\_02**  
Nombre corto: Portabilidad entre distintas versiones del sistema operativo.  
Estatus:  
Tipo: Portabilidad

---

**Descripción:**

- La aplicación debe ejecutarse bajo distintas versiones de Windows como Windows 7, Windows 8.1 y Windows 10.

**Necesidad que resuelve:**  
Asegurar la utilidad del producto en distintas versiones de Windows.

**Métrica de satisfacción:**  
La aplicación funciona correctamente en las tres versiones distintas de Windows.

---

### 3.6.4 Diseño de la aplicación

Una vez concluida la fase de requerimientos y haber validado cada uno de ellos, se prosiguió con la etapa de diseño, en ella se sientan las bases de la aplicación móvil definiendo de manera clara y concisa la funcionalidad y comportamiento del producto, con lo cual se pretende minimizar los problemas relacionados al desarrollo.

Mediante el uso de algunos diagramas UML, fue posible predecir el cómo está conformada la aplicación en su etapa final. Los diagramas realizados fueron los siguientes:

*Tabla 3.25.- Diagramas UML implementados.*

<b>Diagrama UML</b>	<b>Descripción</b>
Casos de uso	Con el fin de representar el comportamiento general del producto, se realizó un diagrama de caso de uso por cada requerimiento funcional de la aplicación.
Estados	Mediante el diagrama de estados realizado, es posible visualizar las etapas por las se encontrará la aplicación una vez desarrollada, desde el acceso hasta la exportación de los datos del sondeo.

a) **Diagrama de casos de uso**

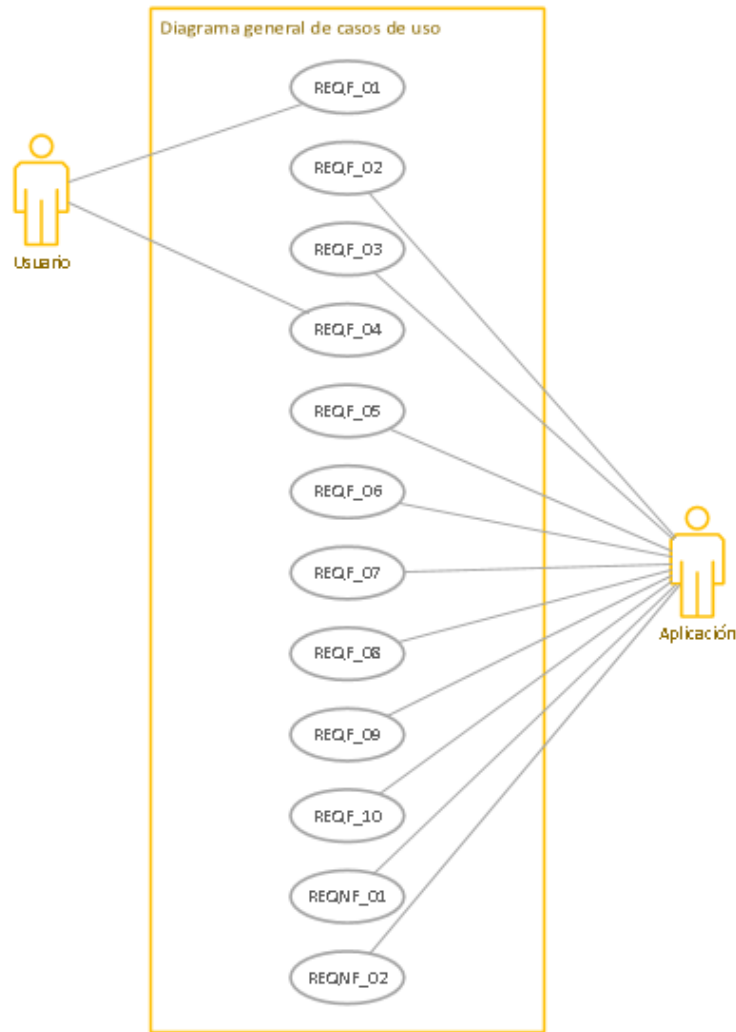


Figura 3.24.- Diagrama general de casos de uso.

Tabla 3.26.- Casos de uso.

Casos de Uso	Nombre corto
REQF_01	Registro de nuevo lanzamiento
REQF_02	Verificación de la comunicación
REQF_03	Obtención de parámetros de la radiosonda
REQF_04	Verificación de la radiosonda
REQF_05	Estado de la recepción
REQF_06	Datos crudos
REQF_07	Gráficos PTU
REQF_08	Finalizar el sondeo
REQF_09	Exportación de datos
REQF_10	Historial de lanzamiento
REQNF_01	Eficiencia de recursos
REQNF_02	Portabilidad entre distintas versiones del sistema operativo.



Figura 3.25.- Diagrama de casos de uso de REQF\_01.

Tabla 3.27.- Tabla de especificaciones de requerimientos REQF\_01.

<b>No. caso de uso:</b> REQF_01	<b>Nombre:</b> Registro de nuevo lanzamiento
<b>ACTOR PRINCIPAL:</b> Usuario	
<b>STAKEHOLDERS:</b>	
<b>PRECONDICIONES:</b>	
<b>POSCONDICIONES:</b> El usuario podrá generar un nuevo registro de lanzamiento mediante el cual tendrá acceso a la configuración del lanzamiento de la radiosonda.	
<b>FLUJO BÁSICO (PRIMARY FLOW-HAPPY PATH):</b> Ingresar código de la radiosonda, seleccionar la hora y la fecha de lanzamiento. Hacer clic sobre el botón "Registrar nuevo lanzamiento". Se valida la información proporcionada. Se genera un nuevo registro de lanzamiento.	
<b>FLUJO ALTERNATIVO:</b> En caso de existir un registro con la misma hora y fecha de lanzamiento se solicitará al usuario proporcionar una hora o fecha de lanzamiento distinto. Si el usuario da clic sobre el botón "Registrar nuevo lanzamiento" antes de llenar todos los campos, la aplicación le indicará que faltan campos por ingresar.	
<b>REQUERIMIENTOS RELACIONADOS:</b>	

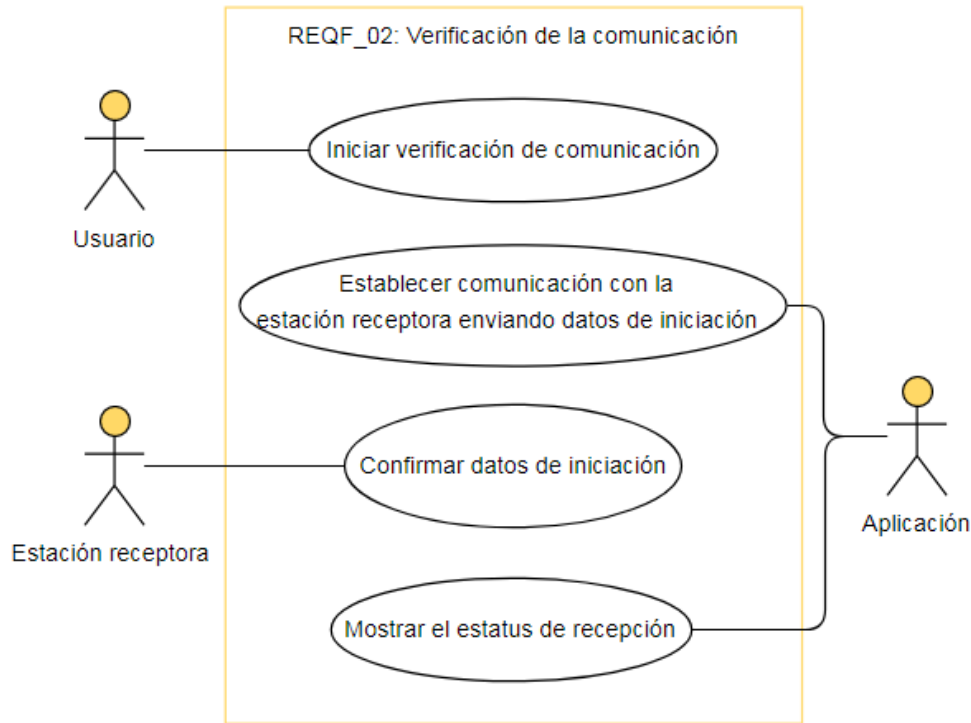


Figura 3.26.- Diagrama de casos de uso de REQF\_02.

Tabla 3.28.- Tabla de especificaciones de requerimientos REQF\_02.

<b>NO. CASO DE USO:</b> REQF_02	<b>NOMBRE:</b> Verificación de la comunicación
<b>ACTOR PRINCIPAL:</b> Aplicación	
<b>STAKEHOLDERS:</b>	
<b>PRECONDICIONES:</b> La radiosonda debe estar encendida y la estación receptora conectada al ordenador. El registro de nuevo lanzamiento (REQF_01) debió completarse de forma satisfactoria.	
<b>POSCONDICIONES:</b> Si el estado de verificación es satisfactorio, el usuario podrá continuar con el siguiente paso de obtención de parámetros de la radiosonda (REQF_03). Si la verificación no fue exitosa, se mostrarán los posibles problemas y su forma de solucionarlo para volver a realizar la verificación de la comunicación o bien cancelar y regresar a la página de inicio.	
<b>FLUJO BÁSICO (PRIMARY FLOW-HAPPY PATH):</b> Hacer clic sobre el botón “verificar la comunicación”. Se envía una trama de datos desde la aplicación hasta la estación receptora. La estación receptora recibe y valida estos datos y envía una trama de datos hacia la aplicación. La aplicación recibe y valida estos datos. Se muestra un mensaje de “Conexión establecida”.	
<b>FLUJO ALTERNATIVO:</b> Después de enviar la trama de datos desde la aplicación hasta la estación receptora, si no se recibe la respuesta de la estación receptora después de 10 segundos se deberá mostrar un mensaje de “Conexión fallida”. También se mostrarán los posibles errores y las posibles soluciones. Se ofrecerán dos opciones al usuario: “Reintentar” o “Cancelar” para volver a la página de inicio.	
<b>REQUERIMIENTOS RELACIONADOS:</b> REQF_01	

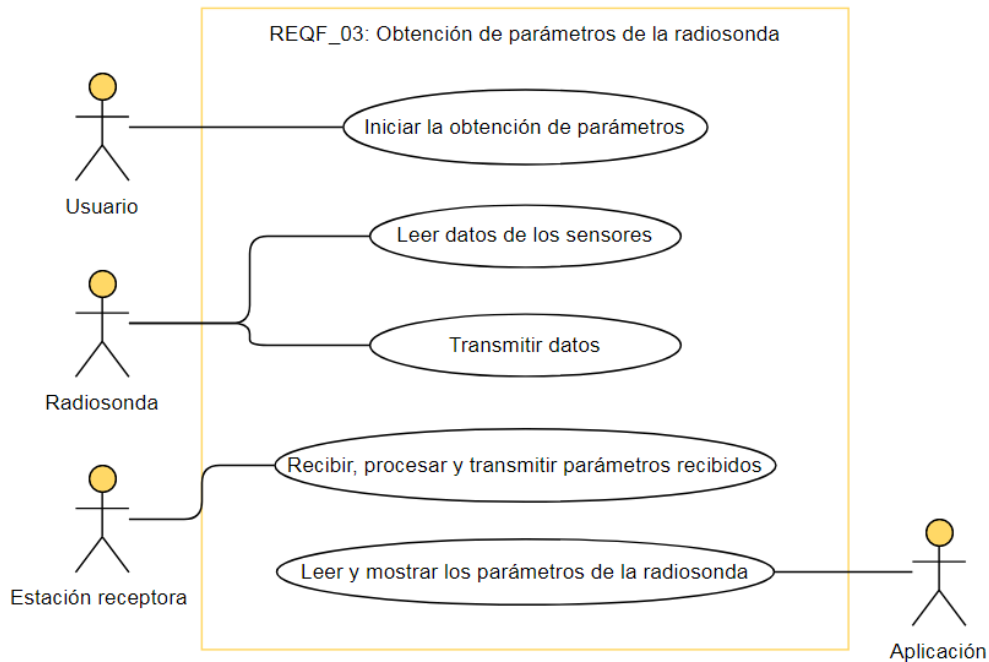


Figura 3.27.- Diagrama de casos de uso de REQF\_03.

Tabla 3.29.- Tabla de especificaciones de requerimientos REQF\_03.

<b>NO. CASO DE USO:</b> REQF_03	<b>NOMBRE:</b> Obtención de parámetros de la radiosonda.
<b>ACTOR PRINCIPAL:</b> Aplicación	
<b>STAKEHOLDERS:</b>	
<b>PRECONDICIONES:</b> La radiosonda debe estar encendida y la estación receptora conectada al ordenador. La verificación de la comunicación (REQF_02) debió completarse de forma satisfactoria.	
<b>POSCONDICIONES:</b> Si la obtención de parámetros es satisfactoria, el usuario podrá continuar con la verificación de la radiosonda (REQF_04). Si la obtención de parámetros no se realizó correctamente, se mostrarán los posibles problemas y su forma de solucionarlo para volver a realizar la obtención de los parámetros o bien cancelar y regresar a la página de inicio.	
<b>FLUJO BÁSICO (PRIMARY FLOW-HAPPY PATH):</b> Hacer clic sobre el botón “obtener parámetros”. Se genera una solicitud para leer los parámetros de medición de la radiosonda desde la aplicación a la estación receptora. La estación receptora recibe y procesa la solicitud, posteriormente habilita el estado de recepción para recibir los parámetros de la radiosonda y una vez que los reciba los envía a la aplicación. La aplicación recibe y procesa los datos para mostrar estos parámetros en el frame correspondiente.	
<b>FLUJO ALTERNATIVO:</b> Después de enviar la solicitud de obtención de parámetros desde la aplicación hasta la estación receptora, si no se reciben después de 20 segundos se deberá mostrar un mensaje de “El tiempo de respuesta se ha agotado y al menos uno de los parámetros no se ha recibido correctamente, por favor revisa que la radiosonda este prendida y que la estación receptora esté conectada al ordenador”. Se ofrecerán dos opciones al usuario: “Reintentar” o “Cancelar” para volver a la verificación de la comunicación (REQF_02).	
<b>REQUERIMIENTOS RELACIONADOS:</b> REQF_02	



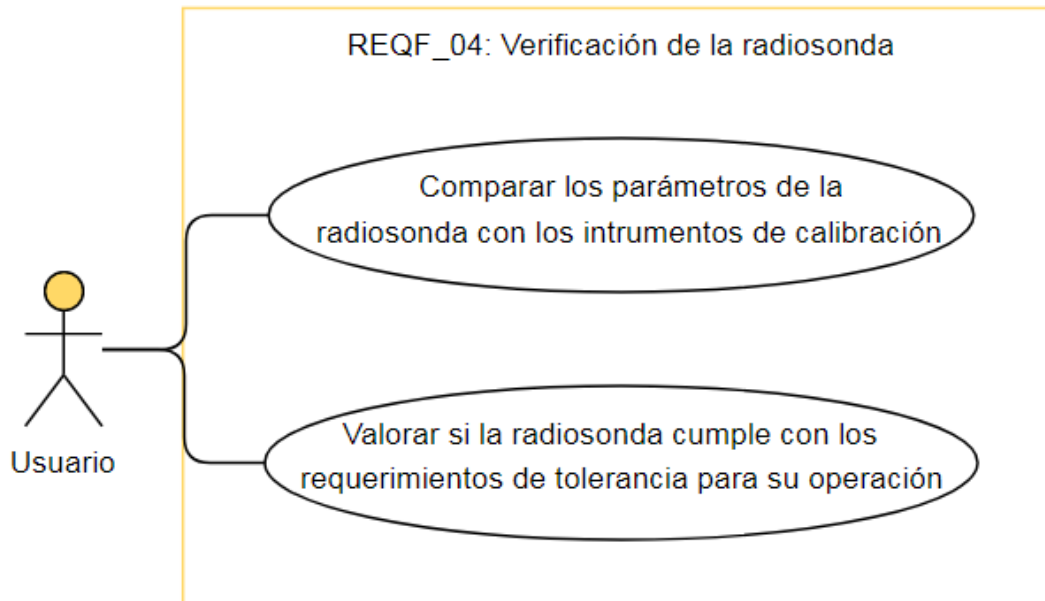


Figura 3.28.- Diagrama de casos de uso de REQF\_04.

Tabla 3.30.- Tabla de especificaciones de requerimientos REQF\_04.

<b>No. caso de uso:</b> REQF_04	<b>Nombre:</b> Verificación de la radiosonda
<b>ACTOR PRINCIPAL:</b> Usuario	
<b>STAKEHOLDERS:</b>	
<b>PRECONDICIONES:</b> La radiosonda debe estar encendida y la estación receptora conectada al ordenador. La obtención de los parámetros de la radiosonda (REQF_03) debió completarse de forma satisfactoria.	
<b>POSCONDICIONES:</b> El usuario podrá comprobar que la radiosonda cumple con los requisitos mínimos de operación al comprobar que los parámetros de medición se encuentran dentro de los límites de tolerancia.	
<b>FLUJO BÁSICO (PRIMARY FLOW-HAPPY PATH):</b> El usuario deberá comprobar cada parámetro de medición obtenido por la radiosonda con instrumentos previamente calibrados para corroborar que la radiosonda cumple con los requerimientos de tolerancia mínimos para su operación. Si cumple con los requisitos de tolerancia, el usuario podrá iniciar el sondeo y lanzar la radiosonda.	
<b>FLUJO ALTERNATIVO:</b> En caso de que algún parámetro no cumpla con las tolerancias mínimas de operación, deberá reemplazarse la radiosonda por una nueva.	
<b>REQUERIMIENTOS RELACIONADOS:</b> REQF_03	

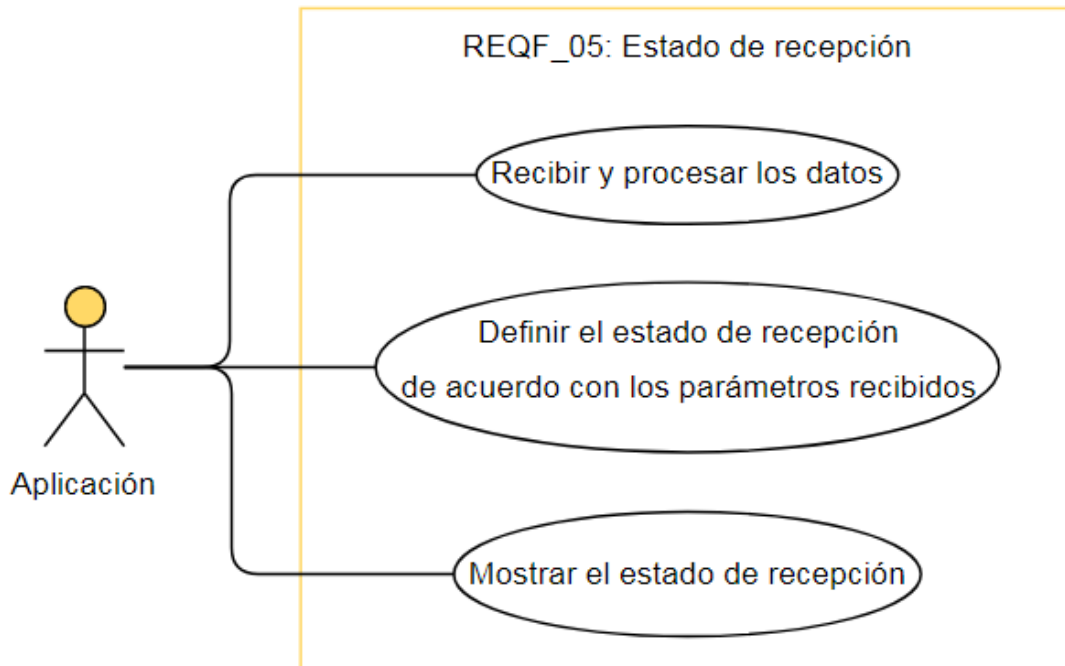


Figura 3.29.- Diagrama de casos de uso de REQF\_05.

Tabla 3.31.- Tabla de especificaciones de requerimientos REQF\_05.

<b>NO. CASO DE USO:</b> REQF_05	<b>NOMBRE:</b> Estado de la recepción
<b>ACTOR PRINCIPAL:</b> Aplicación	
<b>STAKEHOLDERS:</b>	
<b>PRECONDICIONES:</b> La radiosonda cumple con los requisitos mínimos de operación (REQF_04). Haber iniciado la operación de sondeo.	
<b>POSCONDICIONES:</b> Dependiendo del estado de recepción el sondeo podría finalizarse de acuerdo a lo establecido en el REQF_08.	
<b>FLUJO BÁSICO (PRIMARY FLOW-HAPPY PATH):</b> Se cuantifica el número de parámetros recibidos o si estos no han cambiado de valor (freezing value) para determinar el estado de recepción. Si todos los parámetros se recibieron y han presentado cambios el estado se define como "Excelente". Si se reciben todos los parámetros excepto uno o alguno de estos parámetros no ha cambiado de valor el estado se define como "Aceptable". En caso de que solo un parámetro ha sido recibido o dos parámetros no han cambiado de valor el estado se define como "Deficiente". Si ningún parámetro ha sido recibido o ninguno ha cambiado de valor el estado se define como "nulo".	
<b>FLUJO ALTERNATIVO:</b>	
<b>REQUERIMIENTOS RELACIONADOS:</b> REQF_04, REQF_08	

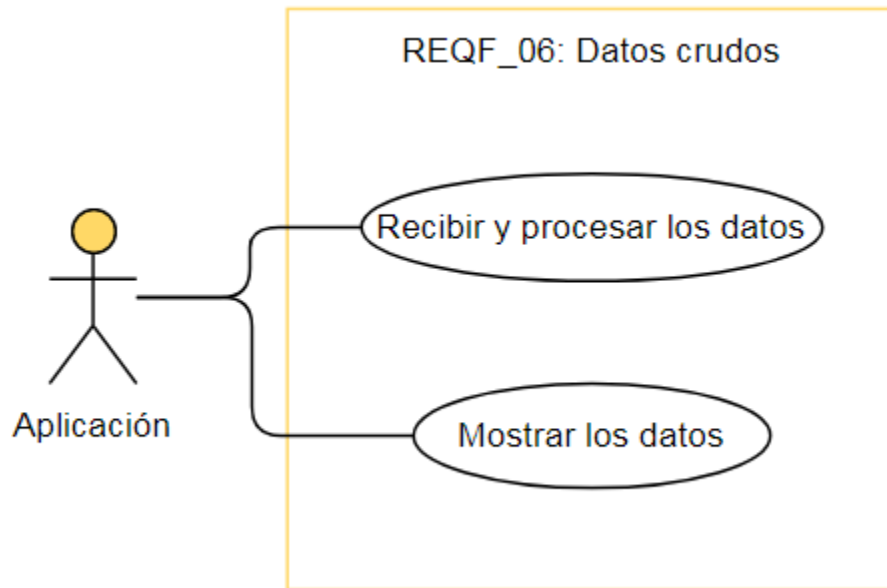


Figura 3.30.- Diagrama de casos de uso de REQF\_06.

Tabla 3.32.- Tabla de especificaciones de requerimientos REQF\_06.

<b>NO. CASO DE USO:</b> REQF_06	<b>NOMBRE:</b> Datos crudos
<b>ACTOR PRINCIPAL:</b> Aplicación	
<b>STAKEHOLDERS:</b>	
<b>PRECONDICIONES:</b> Haber iniciado la operación de sondeo. La operación de sondeo esta activa o aún no se finaliza el sondeo.	
<b>POSCONDICIONES:</b> Muestra los datos de presión, humedad relativa y presión en una tabla. Estos valores se actualizan en tiempo real.	
<b>FLUJO BÁSICO (PRIMARY FLOW-HAPPY PATH):</b> Cada cierto periodo de tiempo se reciben y actualizan los valores de las mediciones de la radiosonda. Estos valores se sobrescriben en la tabla de "datos crudos" para mostrar los valores de las mediciones de la radiosonda en tiempo real.	
<b>FLUJO ALTERNATIVO:</b>	
<b>REQUERIMIENTOS RELACIONADOS:</b>	

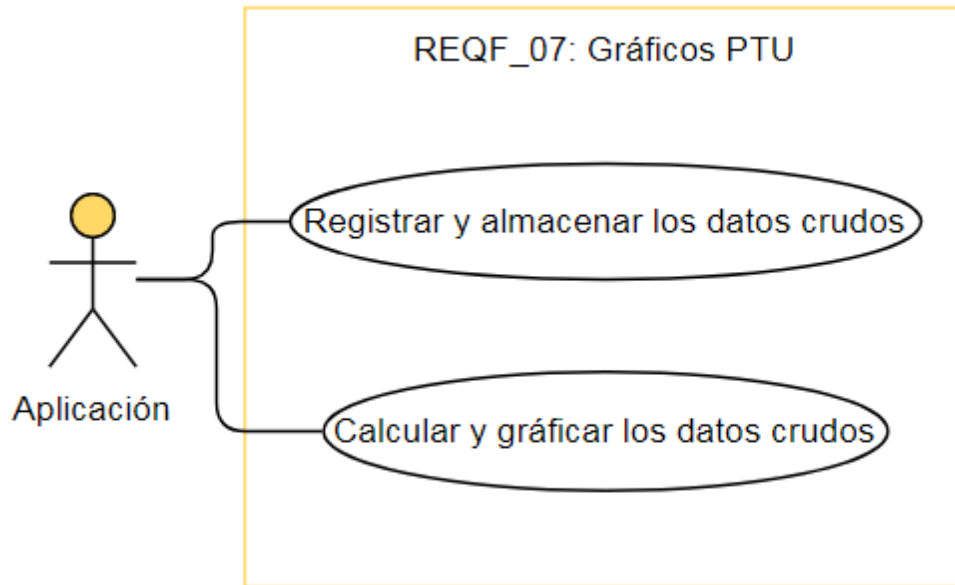


Figura 3.31.- Diagrama de casos de uso de REQF\_07.

Tabla 3.33.- Tabla de especificaciones de requerimientos REQF\_07.

<b>NO. CASO DE USO:</b> REQF_07	<b>NOMBRE:</b> Gráficos PTU
<b>ACTOR PRINCIPAL:</b> Aplicación	
<b>STAKEHOLDERS:</b>	
<b>PRECONDICIONES:</b> Haber iniciado la operación de sondeo. Se deben de recibir y almacenar los datos crudos. Se necesitarán de al menos dos registros de cada parámetro para poder calcular y graficar estos datos.	
<b>POSCONDICIONES:</b> Si se han creado dos registros de cada parámetro podrán realizarse los gráficos PTU.	
<b>FLUJO BÁSICO (PRIMARY FLOW-HAPPY PATH):</b> Cuando se reciben los datos crudos, estos deberán de almacenarse e indexarse, para posteriormente ser utilizados para realizar los gráficos PTU.	
<b>FLUJO ALTERNATIVO:</b>	
<b>REQUERIMIENTOS RELACIONADOS:</b>	

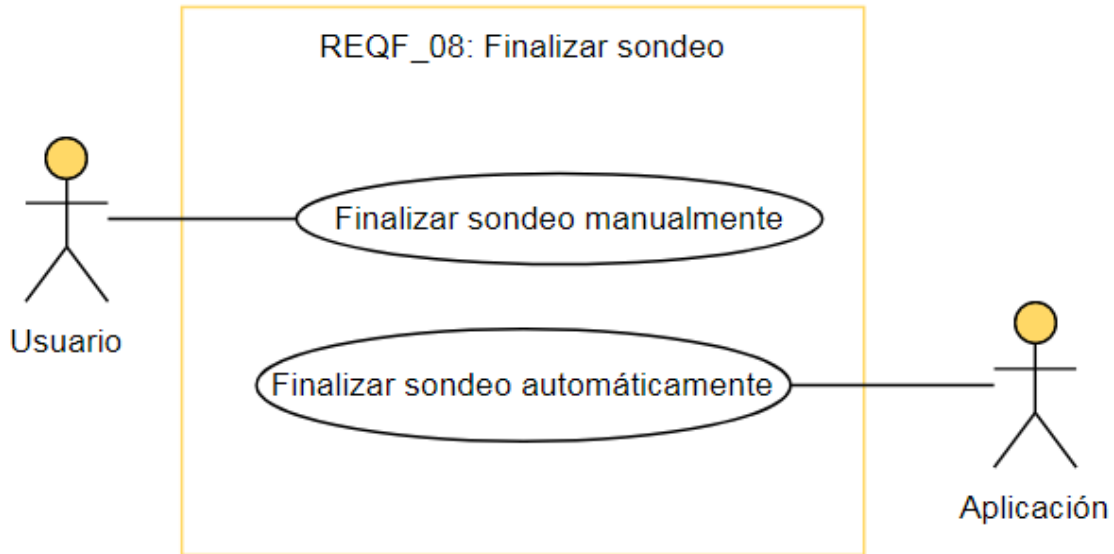


Figura 3.32.- Diagrama de casos de uso de REQF\_08.

Tabla 3.34.- Tabla de especificaciones de requerimientos REQF\_08.

<b>No. caso de uso:</b> REQF_08	<b>Nombre:</b> Finalizar el sondeo
<b>ACTOR PRINCIPAL:</b> Aplicación	
<b>STAKEHOLDERS:</b>	
<b>PRECONDICIONES:</b> Alguna de las condiciones para la finalización del sondeo se cumple.	
<b>POSCONDICIONES:</b> El sondeo se finaliza y se guardan todos los datos del sondeo y se registran en el lanzamiento.	
<b>FLUJO BÁSICO (PRIMARY FLOW-HAPPY PATH):</b> Si se detecta la explosión del globo el sondeo puede finalizarse de forma manual por el usuario. El sondeo se finaliza de forma automática: si el globo alcanza el nivel de presión de 3hPa, los datos de algún parámetro no han sido recibidos o actualizados por más de 5 minutos, el valor de presión no cambia durante más de 2 minutos, el estado de recepción es nulo por más de 3 minutos.	
<b>FLUJO ALTERNATIVO:</b>	
<b>REQUERIMIENTOS RELACIONADOS:</b> REQF_05	

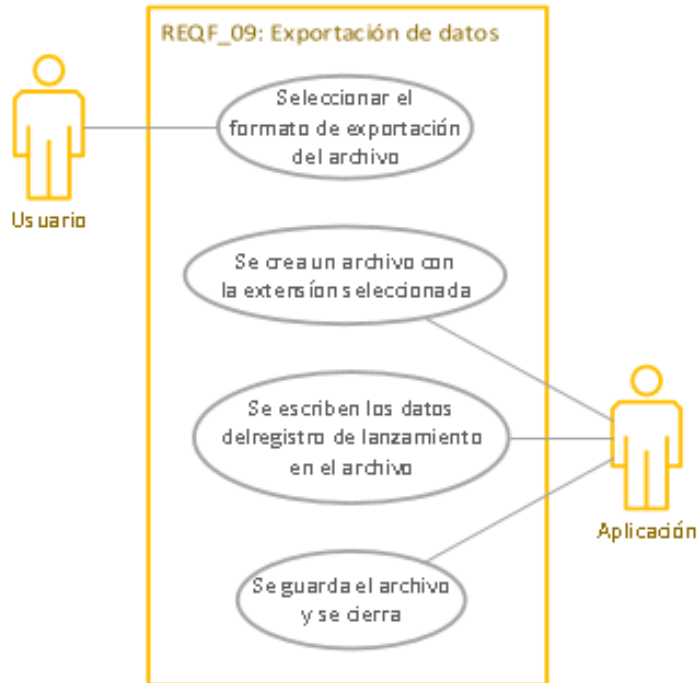


Figura 3.33.- Diagrama de casos de uso de REQF\_09.

Tabla 3.35.- Tabla de especificaciones de requerimientos REQF\_09.

<b>NO. CASO DE USO:</b> REQF_09	<b>NOMBRE:</b> Exportación de datos
<b>ACTOR PRINCIPAL:</b> Aplicación	
<b>STAKEHOLDERS:</b>	
<b>PRECONDICIONES:</b> Existe un registro de lanzamiento.	
<b>POSCONDICIONES:</b> Exporta los datos capturados a través del lanzamiento de la radiosonda a un formato de archivo seleccionado.	
<b>FLUJO BÁSICO (PRIMARY FLOW-HAPPY PATH):</b> El usuario selecciona el tipo de formato en que desea que los registros de los datos del sondeo sean guardados.	
<b>FLUJO ALTERNATIVO:</b>	
<b>REQUERIMIENTOS RELACIONADOS:</b>	

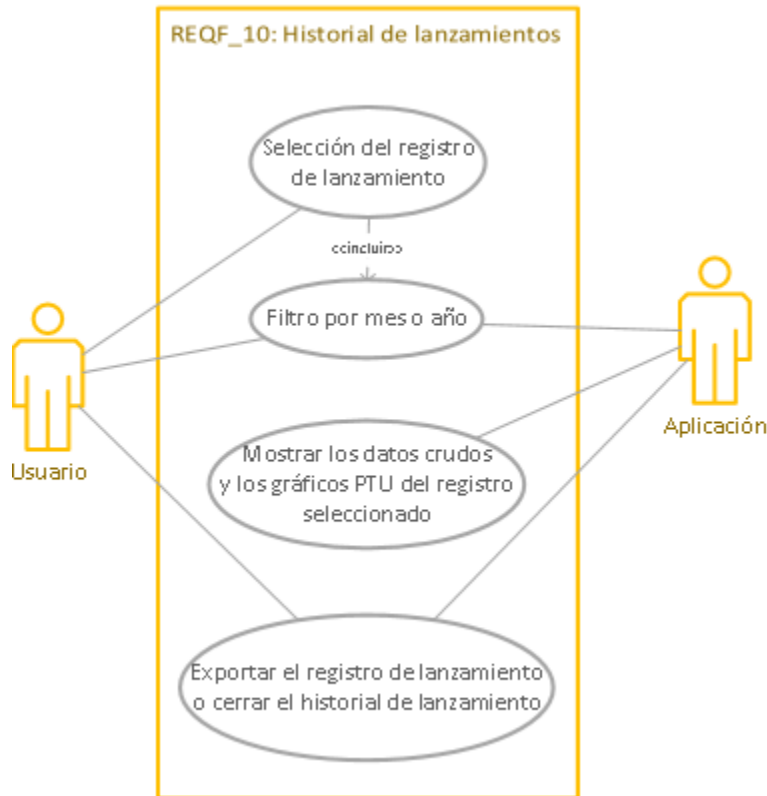


Figura 3.34.- Diagrama de casos de uso de REQF\_10.

Tabla 3.36.- Tabla de especificaciones de requerimientos REQF\_10.

<b>NO. CASO DE USO:</b> REQF_10	<b>NOMBRE:</b> Historial de lanzamientos
<b>ACTOR PRINCIPAL:</b> Aplicación	
<b>STAKEHOLDERS:</b>	
<b>PRECONDICIONES:</b> Existe un registro de lanzamiento.	
<b>POSCONDICIONES:</b> Muestra los registros de lanzamientos y permite acceder a los datos crudos, gráficos PTU. Permite exportar este registro de lanzamiento de acuerdo con el REQF_09.	
<b>FLUJO BÁSICO (PRIMARY FLOW-HAPPY PATH):</b> El usuario accede al historial de lanzamientos, los puede filtrar por mes y año. Después de seleccionar un registro, el usuario podrá observar los datos crudos y los gráficos PTU. El usuario podrá exportar los datos del registro de lanzamiento de acuerdo con el REQF_09.	
<b>FLUJO ALTERNATIVO:</b> Si no existe un registro de lanzamiento, se le indicará al usuario que no existe ningún registro de lanzamiento.	
<b>REQUERIMIENTOS RELACIONADOS:</b> REQF_09	

b) Diagrama de estados

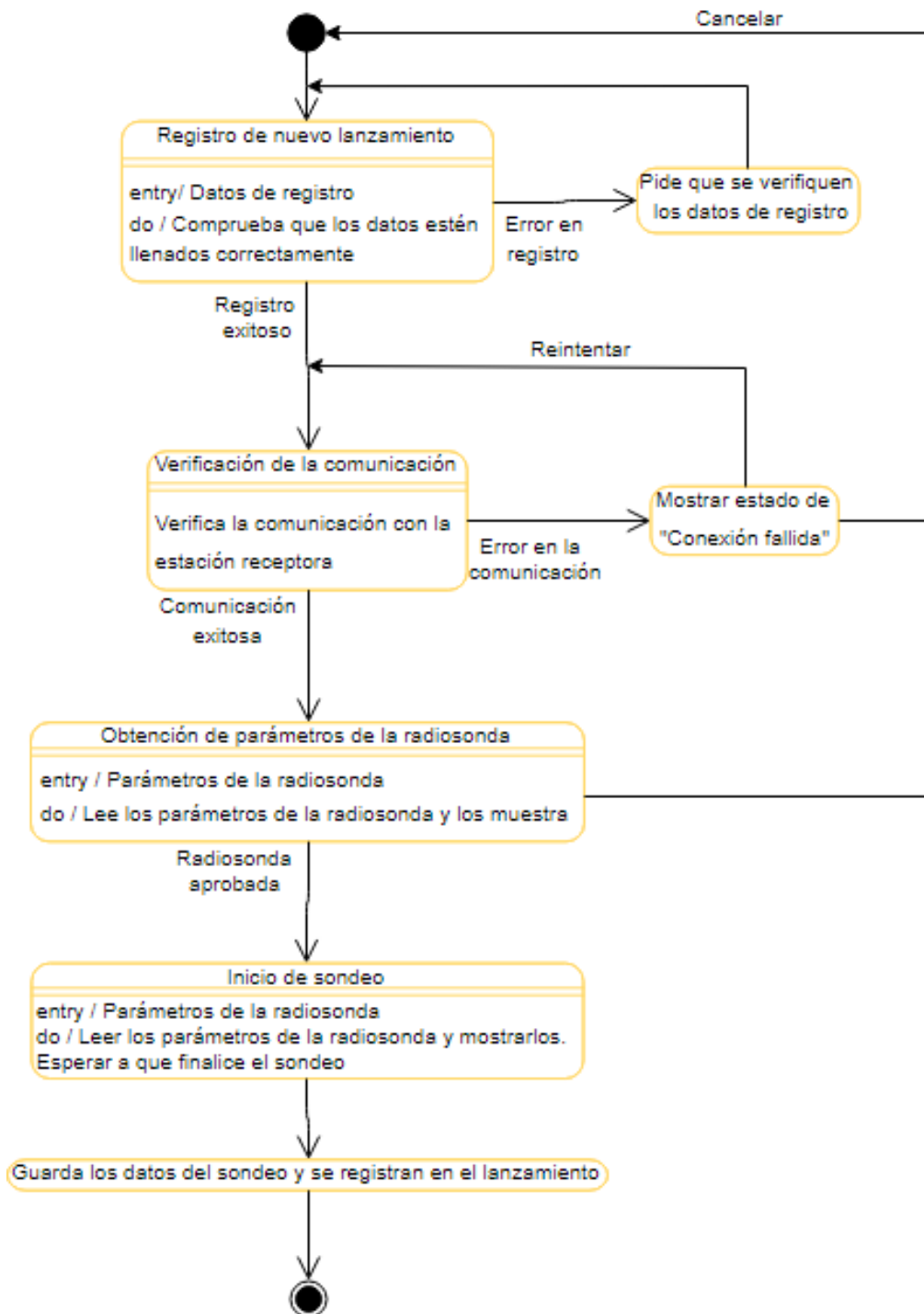


Figura 3.35.- Diagrama de estados de la aplicación para el sondeo.



### **3.6.5 Programación del microcontrolador para la radiosonda y la estación receptora**

La programación del microcontrolador tanto de la radiosonda como de la estación receptora se realizaron utilizando el lenguaje de programación C. Se utilizó Keil uVision como entorno de desarrollo para el proyecto tanto de la radiosonda como de la estación receptora.

Los microcontroladores ARM cuentan con un conjunto de librerías de alto nivel (HLD por su acrónimo en inglés de High Level Driver) las cuales permiten controlar registros del microcontrolador de manera más sencilla facilitando la programación de estos microcontroladores.

Los parámetros de presión, temperatura y humedad relativa se obtienen a través de dos sensores. Estos sensores se comunican con el microcontrolador a través de los pines SDA y SCL utilizando el protocolo de comunicación I2C

El módulo de radiofrecuencia se comunica con el microcontrolador a través de los pines SCLK, SDI y SDO mediante el protocolo de comunicación SPI.

### **3.6.6 Programación para la aplicación de sondeo**

La aplicación para el sondeo se desarrolló utilizando Scene Builder y JavaFX. Scene Builder es una herramienta de diseño visual para crear rápidamente interfaces de usuario para aplicaciones JavaFX.

Mediante esta herramienta, se puede arrastrar y soltar los componentes de la interfaz de usuario, modificar sus propiedades, aplicar hojas de estilo. Esta herramienta crea automáticamente el código FXML que luego puede combinarse con un proyecto Java vinculando la interfaz de usuario a la lógica de la aplicación [24].

# Capítulo 4 *Análisis de resultados*

## 4.1 *Primera versión de la radiosonda y la estación receptora*

Esta primera versión trata de minimizar los costos, procurando usar únicamente los elementos indispensables para la medición de las variables meteorológicas y su transmisión.

El rango de alimentación para este circuito va desde los 5V hasta los 24V. Este voltaje de alimentación pasa a través de un primer regulador de voltaje para producir una salida de 5V con la cual se alimentará el módulo de radiofrecuencia. Un segundo regulador de voltaje produce una salida de 3.3V que alimentará el microcontrolador, y los sensores de presión, humedad y temperatura.

El esquemático de este circuito se puede observar en la Figura 4.1.

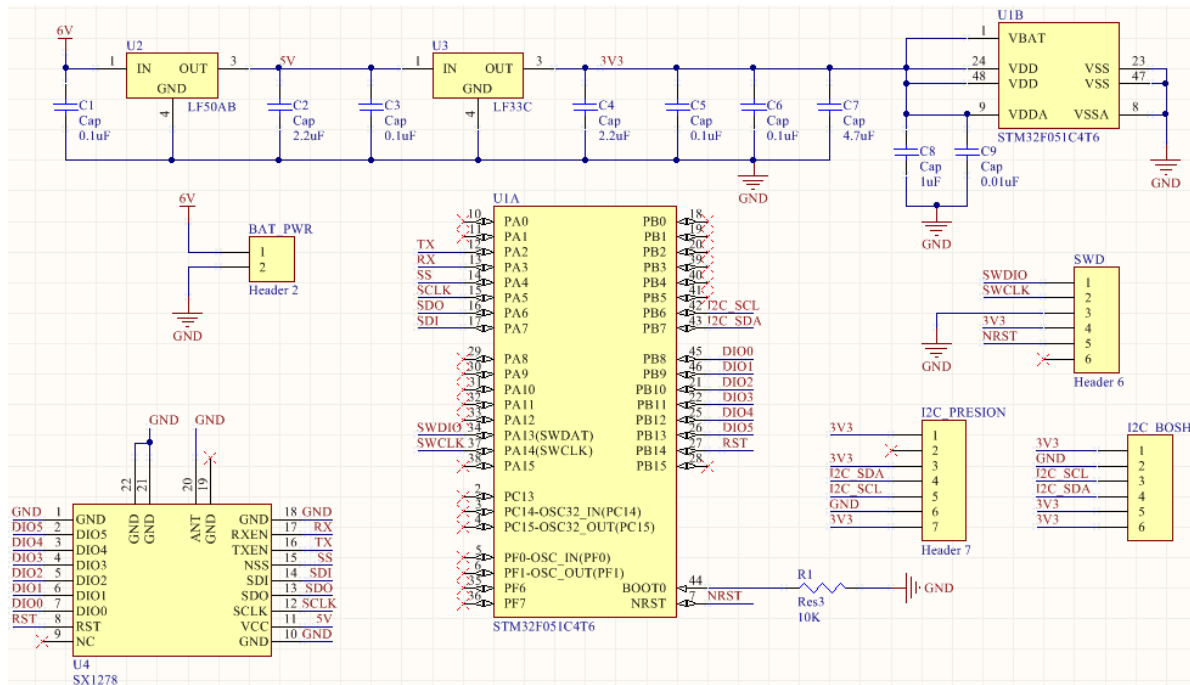


Figura 4.1.- Esquemático de la primera versión de la radiosonda.

En la Figura 4.2 se muestra el diseño de la PCB. Este es un diseño de dos capas. En una capa se encuentra el módulo de radiofrecuencia, mientras que el resto de la electrónica se encuentra en la otra capa. Este diseño incluye planos de tierra en ambas capas para reducir corrientes parásitas, atenuar el ruido y blindarlo frente a pequeñas radiaciones electromagnéticas.

Este diseño puede ser utilizado tanto para la radiosonda como para la estación receptora. La programación del microcontrolador sería a través del header marcado como SDW. Para poder utilizar esta PCB como estación receptora, solo sería necesario reprogramar la configuración del header I2C\_HUMEDAD para utilizar este header como conector UART y mediante una interfaz USB a UART sería posible establecer una conexión con este dispositivo y el ordenador.

La vista superior e inferior de la PCB ya fabricada para la radiosonda y la estación receptora se puede observar en la Figura 4.2.

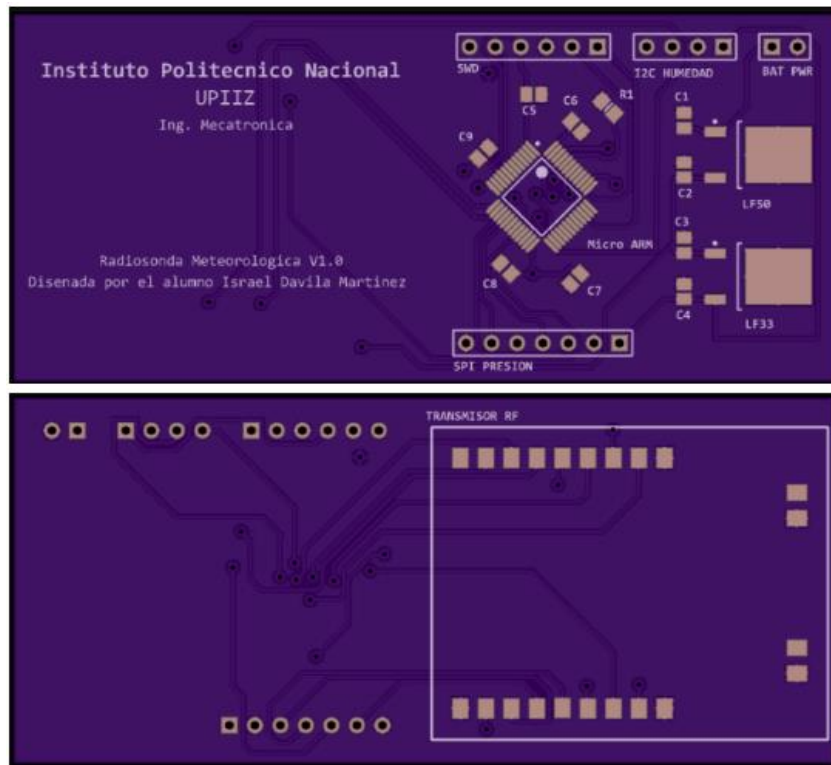


Figura 4.2.- Primera versión del diseño de la PCB para la radiosonda y la estación receptora (vista superior e inferior).

## 4.2 Segunda versión de la radiosonda y la estación receptora

Un segundo diseño tenía como principal intención reducir las dimensiones de la primera versión y mejorar la posición de los sensores de manera que quedaran en el mismo extremo de la PCB.

El esquemático del diseño electrónico se mantuvo intacto. Los cambios se realizaron únicamente en el diseño de la PCB, por lo que esta segunda versión sería la misma para la radiosonda y la estación receptora.

Al igual que la primera versión, la PCB se diseñó de doble capa, esta vez procurando reducir las dimensiones de la PCB. De igual manera en una de las capas se encuentra el módulo de radiofrecuencia y el resto de los componentes se encuentran en la otra capa de la PCB. En la Figura 4.3 se puede observar el diseño de la segunda versión.

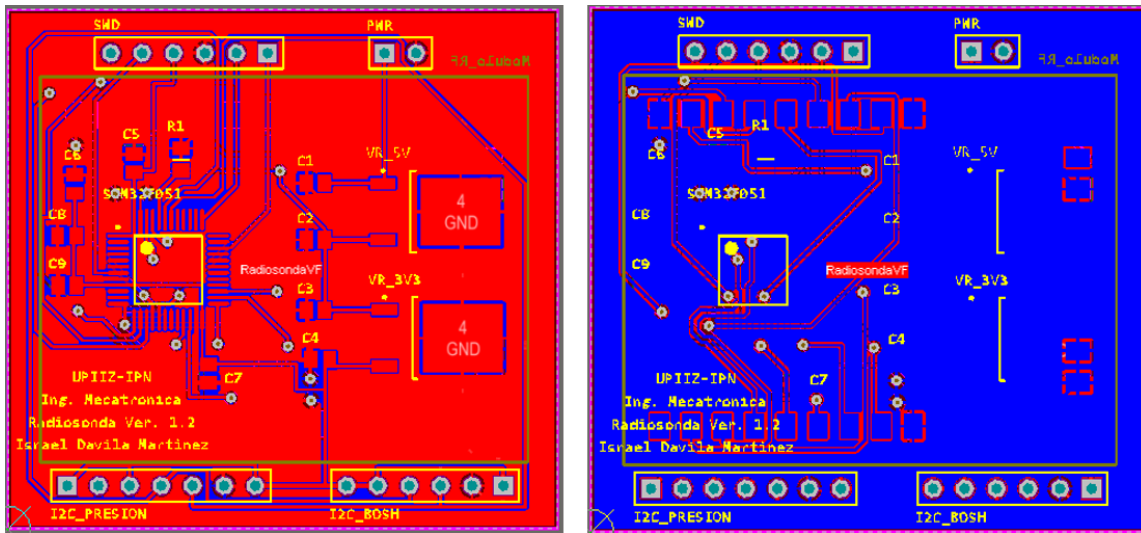


Figura 4.3.- Planos de tierra en las dos capas de la PCB para la radiosonda.

La vista superior e inferior de la PCB para la radiosonda se puede observar en la Figura 4.4.

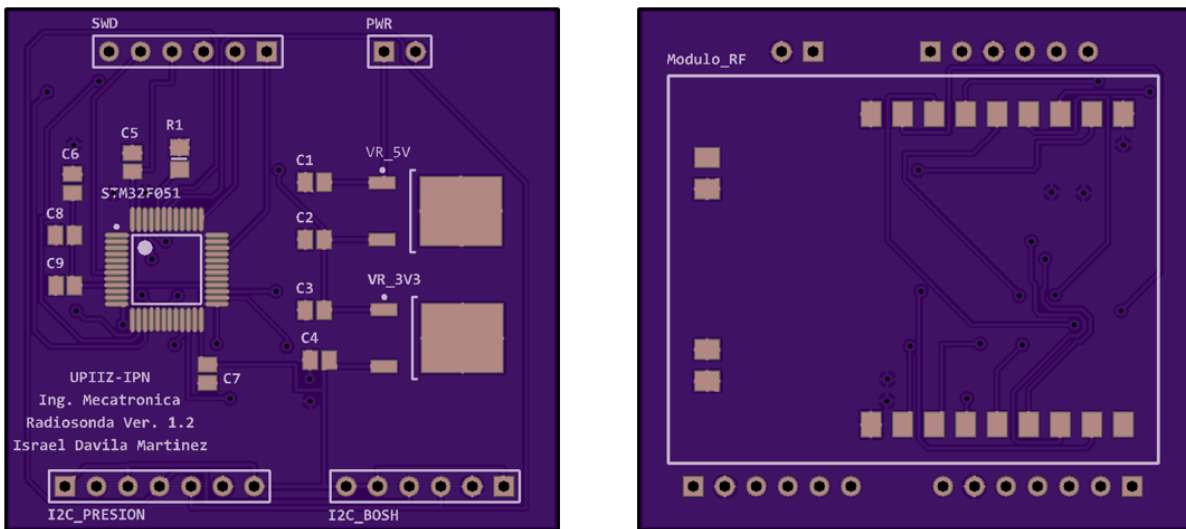


Figura 4.4.- Segunda versión del diseño de la PCB para la radiosonda y la estación receptora (vista superior e inferior).

### 4.3 Versión final de la radiosonda y la estación receptora

La segunda versión resulto ser un éxito para ser utilizada en la radiosonda. Sin embargo, para la estación receptora fue insuficiente. Por lo que fue necesario realizar un nuevo diseño para la estación receptora.

Debido a que la estación receptora ya no debe procesar los datos de los sensores meteorológicos, cerca de la mitad de los pines del microcontrolador quedan inutilizados. Por este motivo para esta nueva versión se utiliza un microcontrolador de la misma familia, pero con menor número de pines.

Se mejoró el diseño de la alimentación al repositonar eficazmente los capacitores de desacople. También se incluyó el footprint para un módulo de radiofrecuencia que utiliza el mismo chip pero que tiene un footprint distinto, de manera que se pueda elegir cual módulo de radiofrecuencia instalar, haciendo esta versión de la estación receptora mucho más flexible.

Finalmente se mejoró significativamente la robustez de la estación receptora al añadir una interfaz USB a UART para la comunicación entre la estación y el ordenador. El diseño del esquemático se puede observar en la Figura 4.5.

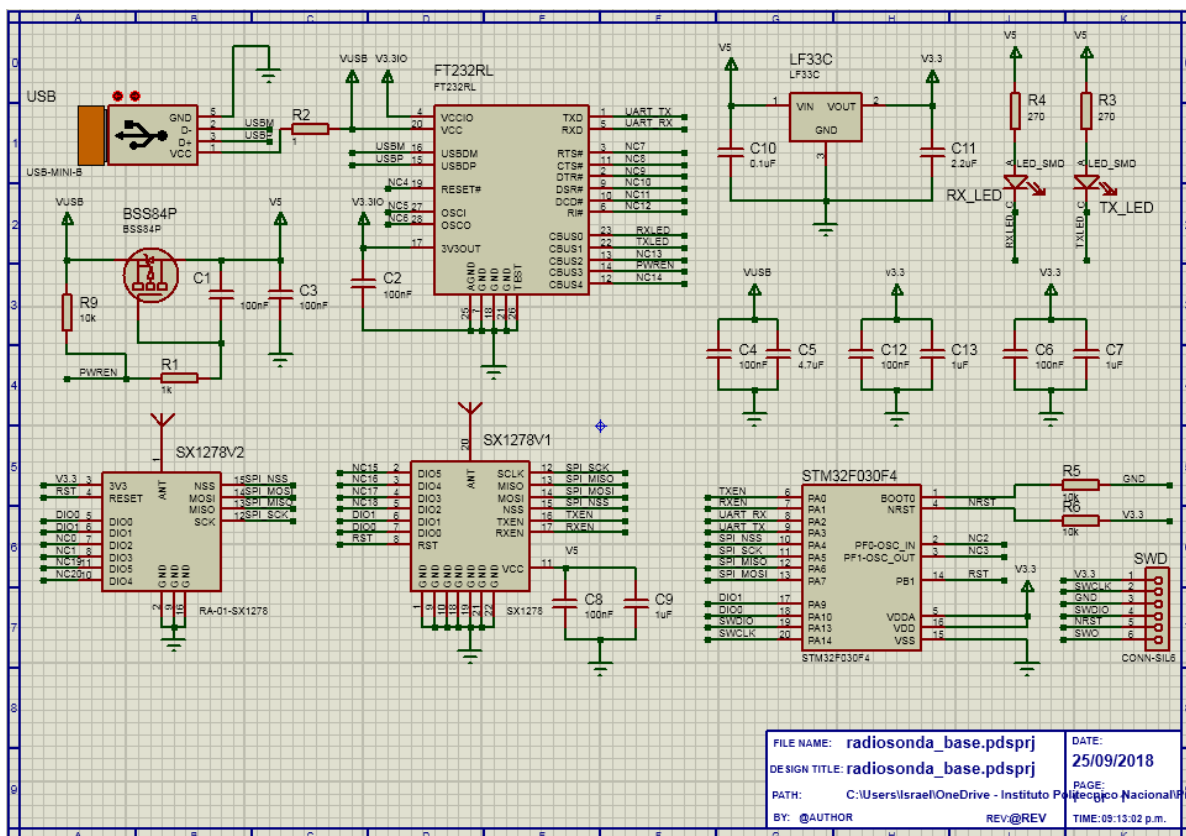


Figura 4.5.- Versión final del diseño del esquemático de la estación receptora.

El diseño de la PCB se puede observar en la Figura 4.6.

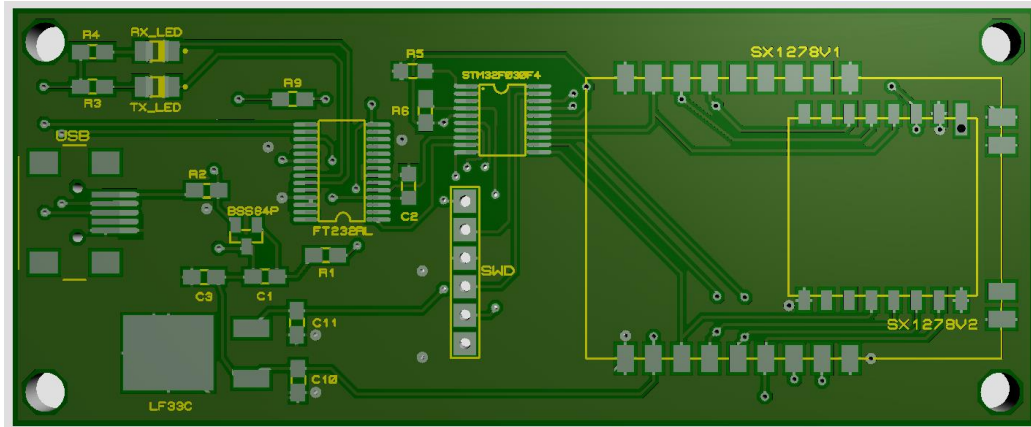


Figura 4.6.- Versión final del diseño de la PCB de la estación receptora.

## 4.4 Resultados

### 4.4.1 Análisis de costos

Paralelamente a las pruebas hechas a este prototipo, se efectuó un análisis de costos. El costo final de fabricación de la radiosonda se muestra en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1.- Análisis de costos para la construcción de la radiosonda.

<b>Componente</b>	<b>Costo (dólares)</b>
Sensor BME (temperatura y HR)	\$6
Sensor MS5611 (presión atmosférica)	\$9.9
Módulo de radiofrecuencia	\$11.05
Microcontrolador STM32F051C4	\$1.77
Tarjeta de circuito impreso (PCB)	\$0.5
Reguladores de voltaje	\$2.2
Resistencias, capacitores y headers	\$2
Misceláneo	\$5
Total	\$38.42

El costo aproximado de la radiosonda construida en este proyecto es de \$38.42 dólares. En la Tabla 4.2 se compara este precio con respecto a los productos que se encuentran actualmente en el mercado.

Tabla 4.2.- Comparación de costos entre radiosondas comerciales.

<b>Sistema</b>	<b>Costo (dólares)</b>
Radiosonda Vaisala RS41	\$200
Radiosonda Meisei iMS-100	\$150
Radiosonda FX	\$33.42

Los precios mostrados en la tabla anterior para la radiosonda Vaisala RS41 y la radiosonda Meisei iMS-100, son los proporcionados por la CONAGUA, la cual tiene convenio con estas empresas.

### 4.4.2 Ensayo de calidad en las mediciones de la radiosonda

Para definir si la radiosonda es adecuada para una práctica de sondeo, es necesario comparar la exactitud de las mediciones de la radiosonda con equipos sofisticados de calibración.

También es necesario que la radiosonda cuente con el peso adecuado para no causar daños a la hora de caer después de una operación de sondeo.

Finalmente, la radiosonda debe inspeccionarse en busca de algún defecto que pueda causar un malfuncionamiento o lectura de datos errónea.

Debido a esto, se desarrolló en conjunto con el personal de CONAGUA Zacatecas, un formato de certificado de calidad, con la intención de evaluar la calidad de la radiosonda y decidir si es apta o no para una operación de sondeo.

En la sección de anexos se incluye el formato de certificado de calidad para el sistema de radiosonda meteorológica. También se incluye el original de los resultados del ensayo aplicado a la radiosonda de este proyecto.

### **Resultados del ensayo de la muestra**

<b>Variable</b>	<b>Medición del equipo de calibración</b>	<b>Medición de la muestra</b>		
Temperatura	17.2 °C	17.9 °C	Peso del producto	60 g
Humedad Relativa	27 %	29.3 %	Dimensiones del producto	Largo: 6.5 cm
Presión Atmosférica	775.5 hPa	775.3 hPa		Ancho: 5.5 cm
				Alto: 4.5 cm
			Material	Poliestireno expandido
			Color	Blanco

<b>Descripción de defectos</b>	<b>Resultados de la inspección</b>
Ensamble mal realizado	Ninguno
Carcaza defectuosa	Ninguno
Batería defectuosa	Ninguno
Antena defectuosa	Ninguno
Sin o poca adherencia	Ninguno
Otros:	Ninguno

A partir de los resultados obtenidos, se puede garantizar que la radiosonda cumple con los requisitos mínimos de exactitud para ser utilizada en una operación de sondeo. Además, no se encontró ningún defecto en la inspección.

#### **4.4.3 Tiempo de operación de la radiosonda**

Uno de los requerimientos más importantes de las radiosondas es la capacidad para operar continuamente por un periodo mínimo de 30 min.

En la Tabla 4.3 se analiza el consumo energético aproximado de la radiosonda de acuerdo con los elementos que la componen.



Tabla 4.3.- Consumo energético aproximado de la radiosonda.

Elemento	Consumo energético (mAH)
Regulador LF50	7
Regulador LF33	7
Microcontrolador	<1
Módulo de radiofrecuencia (stand by)	13
Módulo de radiofrecuencia (activo)	650
Sensor BME280	1
Sensor MS5611	2
Total	desde 31 hasta los 668

Para evaluar el tiempo de operación de la radiosonda se utilizó una batería Alcalina de 9V completamente nueva, la cual al medir el voltaje con ayuda de un multímetro arrojó un voltaje de 9.3V.

Después de 10 minutos de operación, el voltaje de la pila decayó a 8.6V. A los 30 minutos el voltaje de la batería era de 7.4V.

En la Figura 4.7 se observan las curvas de descarga características de una pila alcalina de 9V.

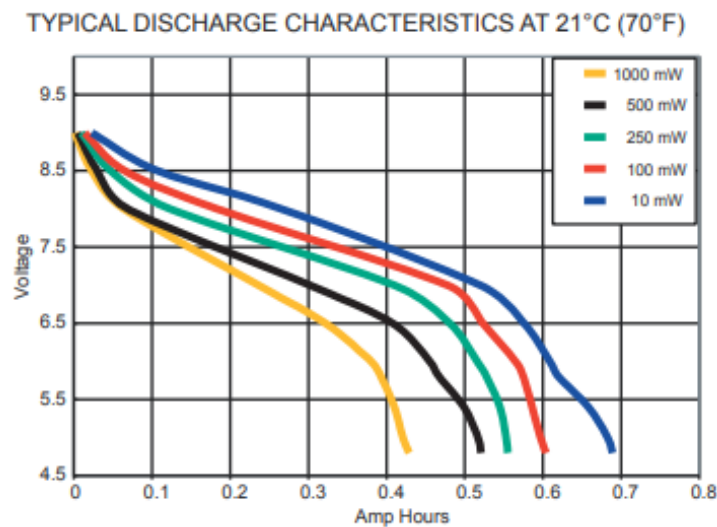


Figura 4.7.- Curvas características de descarga de la batería de 9V.

Con esta prueba se observa que es viable el uso de una batería de 9V para la aplicación de la radiosonda. Cabe mencionar que la batería utilizada en esta prueba es del tipo alcalina, la cual no está diseñada para esta aplicación pues los rangos de temperatura de operación no están dentro de los parámetros de operación de una radiosonda.

Sin embargo, una batería de 9V de litio, si está dentro de los rangos de temperatura de operación, además de que tiene hasta 3 veces mayor capacidad. De esta manera se garantiza un buen funcionamiento para la operación de radiosonda con la batería de 9V de litio.

#### 4.4.4 Alcance de comunicación de la radiosonda con la estación receptora

Las radiosondas pueden ser utilizadas en globos cautivos que se elevan a alturas de entre los 750 metros y los 1000 metros. Estos globos cautivos permiten recuperar la radiosonda para volver a utilizarla posteriormente en otra operación de sondeo. En este sentido, se espera que la radiosonda logre un alcance de transmisión y recepción, dentro de este rango de distancia.

El módulo de radiofrecuencia utilizado en la radiosonda está diseñado para alcanzar una distancia de transmisión y recepción de 10km. La Figura 4.8 muestra los rangos de transmisión y recepción a partir de la configuración del chip Lora SX1278 de radiofrecuencia.

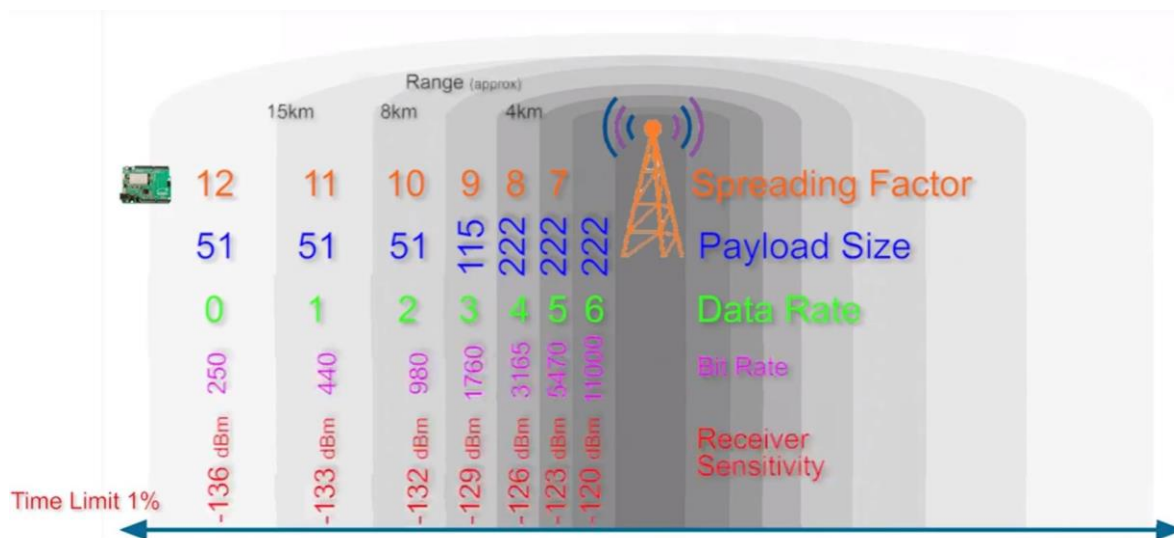


Figura 4.8.- Rango de transmisión y recepción del módulo de radiofrecuencia.

Para la configuración del módulo de radiofrecuencia para la radiosonda, se utilizó un factor de propagación (Spreading Factor) de 10, con un tamaño de carga (Payload Size) de 51 y una velocidad de bits (Bit Rate) de 980. La sensibilidad de la antena de la estación receptora es de -132dBm, por lo que la distancia de

transmisión y recepción, que en teoría se puede alcanzar con el módulo de radiofrecuencia, es de 8km.

La primera prueba se realizó a una distancia de 800 metros línea de vista, lo cual significa que entre los dos módulos de radiofrecuencia no debe haber ningún obstáculo que impida o atenué la señal de radiofrecuencia.

En esta prueba la estación receptora se ubicó en la azotea de una casa ubicada en Cerro pico del teyra, en Guadalupe, Zacatecas. Por otro lado, la radiosonda se ubicó en la cima del Cerro San Simón, en Guadalupe, Zacatecas (ver Figura 4.9).



*Figura 4.9.- Panorama de la primera prueba a 800 metros de distancia línea de vista.*

En la Figura 4.10 se observa mediante la herramienta de Google maps la ubicación de la radiosonda y de la estación receptora y la distancia de 800 metros aproximadamente entre ambos.

En esta prueba la transmisión y recepción se realizó sin ningún problema. Por lo que se puede garantizar el uso de la radiosonda para su utilización en globos cautivos a distancias inferiores a los 800 metros.



Figura 4.10.- Ubicación de la estación receptora y la radiosonda en la primera prueba mediante la herramienta de Google maps.

Se realizó una segunda prueba de distancia, esta vez, se ubicó la estación receptora en el patio de las instalaciones del centro de hidrometeorología de CONAGUA, en Guadalupe, Zacatecas, mientras que la radiosonda se ubicó en el mismo lugar que la prueba anterior, en la cima del Cerro San Simón, a una distancia de poco más de 2 kilómetros línea de vista (ver Figura 4.11).

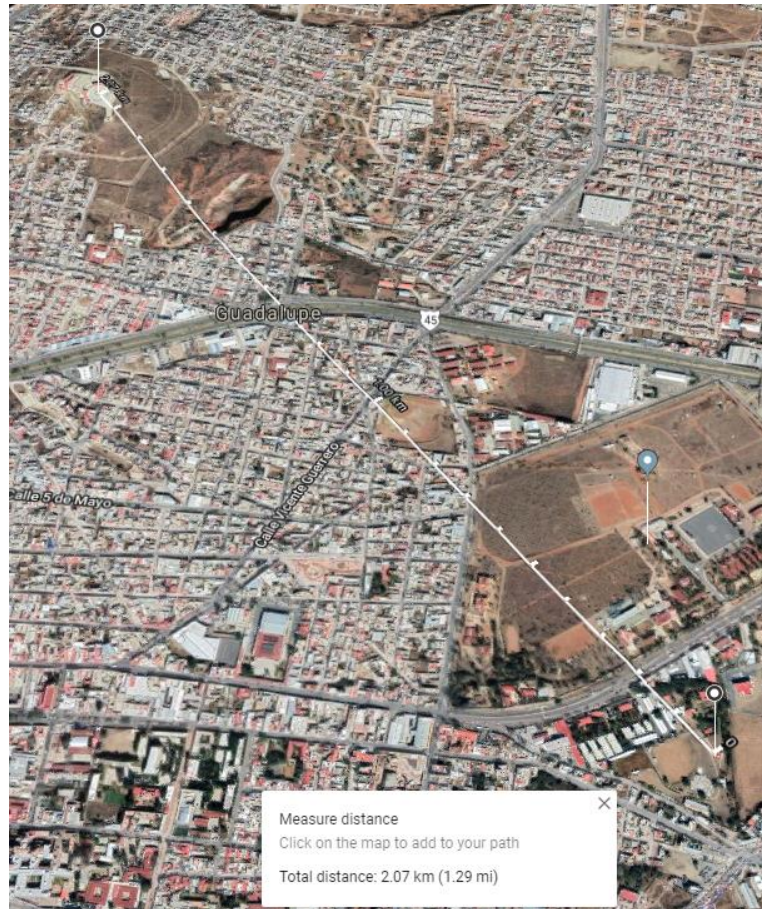


Figura 4.11.- Ubicación de la estación receptora y la radiosonda en la segunda prueba mediante la herramienta de Google maps.

Al igual que la primera prueba, esta se realizó sin ningún problema. Los datos en la estación receptora se recibieron sin ningún tipo de error.

En conclusión, el módulo de radiofrecuencia utilizado tanto en la radiosonda como en la estación receptora es apto para su utilización en operaciones de sondeo mediante globos cautivos.

## 4.5 Manuales

Como cualquier otro dispositivo, se ha desarrollado un manual de usuario. En este manual de usuario se dan a conocer las instrucciones necesarias para poder utilizar la radiosonda, la estación receptora y la aplicación para el sondeo. A través de este manual de usuario se pretende orientar de manera clara y concisa sobre el procedimiento a seguir para realizar un sondeo.

## **4.6 Conclusiones y trabajo a futuro**

A lo largo de este proyecto, se desarrollaron 3 diseños distintos de la radiosonda. Cada versión nueva tenía la finalidad de corregir o compensar deficiencias respecto a la versión anterior. En otras palabras, el proyecto fue evolucionando hasta llegar a una versión funcional que cumple con los objetivos planteados.

Como resultado del proceso de diseño detallado de este documento, se cuenta con una radiosonda que está dentro de los rangos de exactitud establecidos por la OMM y que además cuenta con un módulo de radiofrecuencia capaz de transmitir datos a distancias inferiores a los 2 kilómetros, distancia más que necesaria para ser utilizada en un globo cautivo.

Al no contar con la experiencia y conocimientos suficientes en el ámbito de desarrollo de software, el principal obstáculo para el desarrollo de este proyecto fue la programación, principalmente de la aplicación para la realización del sondeo. El diseño del software resultó más sencillo.

Un punto que destacar es la importancia de desarrollar una radiosonda y una estación receptora completamente funcionales y que cumplen con los estándares establecidos por la OMM para la operación de sondeos, con un costo de construcción muy inferior al costo de radiosondas comerciales.

El desarrollo de este proyecto pretende servir de plataforma para su posterior perfeccionamiento, o como base para el inicio de proyectos similares.

Como trabajo a futuro se planea diseñar y construir una antena lo suficientemente sofisticada para la estación receptora, con la finalidad de aumentar el rango de distancia de operación de la radiosonda.

De igual manera se planea terminar el desarrollo de la aplicación para el sondeo, hasta cumplir con todos los requerimientos funcionales que se plasmaron en este documento.

## **Bibliografía**

- [1] W. M. Organization, Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation, Geneva: 6ta edición, 1996.
- [2] Historia del Servicio Meteorológico Nacional, Servicio Meteorológico Nacional, [En línea]. Disponible en: <https://smn.cna.gob.mx/es/smn/historia>. [Último acceso: 07 febrero 2017].
- [3] I. A. H. Unzón, Plataforma Nacional de Transparencia, Instituto Nacional de Transparencia, Acceso a la Información y Protección de Datos Personales, 26 mayo 2017. [En línea]. Disponible en: [http://www.sisi.org.mx/jspsi/documentos/2017/seguimiento/16101/1610100102817\\_065.pdf](http://www.sisi.org.mx/jspsi/documentos/2017/seguimiento/16101/1610100102817_065.pdf). [Último acceso: 27 mayo 2017].
- [4] Departamento de desarrollo y de actividades regionales, Organización Meteorológica Mundial, OMM, 2010. [En línea]. Disponible: [https://www.wmo.int/pages/prog/dra/documents/VCP\\_factsheets\\_5\\_UpperAir\\_es.pdf](https://www.wmo.int/pages/prog/dra/documents/VCP_factsheets_5_UpperAir_es.pdf). [Último acceso: 29 abril 2017].
- [5] Comisión Nacional del Agua, Servicio Meteorológico Nacional: 135 años de historia en México, México, D.F.: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2012.
- [6] W.F. Dabberdt, R. Shellhorn, H. Cole, A. Paukkunen, J. Hörhammer y V. Antikainen, Radiosondes, de *Encyclopedia of Atmospheric Sciences*, Academic Press, 2003, pp. 1900-1913.
- [7] Organización Meteorológica Mundial, Utilización del espectro radioeléctrico en meteorología: Observación y predicción del clima, de los fenómenos meteorológicos y de los recursos hídricos., Ginebra: Oficina de Radiocomunicaciones, 2008.
- [8] R. Assembly, Technical Characteristics and Performance Criteria for Radiosonde System in the Meteorological Aids Service, International Telecommunication Union, Geneva, 1997.
- [9] R. P. Areny, Sensores y Acondicionadores de Señal, México: Alfaomega, 2011.
- [10] W. Tomasi, Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, México: Pearson, 2003.

- [11] M. Gary M. y J. Beasley S., Modern Electronic Communication, Prentice Hall, 2008.
- [12] P. García Teodoro, J. E. Díaz Verdejo y J. M. López Soler, Transmisión de datos y redes de computadores, Madrid: Pearson, 2003.
- [13] M. Verle, Microcontroladores PIC Programacion en C con ejemplos, MikroElektronika, 2009.
- [14] D. Etheridge, Java: Graphical User Interfaces, Ventus Publishing Aps, 2009.
- [15] P. J. Deitel y H. M. Deitel, Cómo programar en Java, México: Pearson, 2008.
- [16] I. Sommerville, Ingeniería del software, Madrid: Pearson, 2005.
- [17] R. S. Pressman, Ingeniería del software un enfoque práctico, México: Mc Graw Hill, 2010.
- [18] H. Mills, The Management of Software Engineering, New York: IBM Systems, 1980.
- [19] A. Weitzenfeld, Ingeniería de Software Orientada a Objetos, México: ITAM, 2002.
- [20] E. H. Orallo, Reconocimiento de objetos con realidad aumentada, Universidad Politecnica de Valencia, 2010. [En línea]. Disponible en: <http://www.disca.upv.es/enheror/pdf/ActaUML.PDF>. [Último acceso: 11 08 2017].
- [21] STMicroelectronics, STM32F051x4 Datasheet, STMicroelectronics, 2016.
- [22] C. F. Coombs, Manual de circuitos impresos, New York: Mcgraw-Hill, 1995.
- [23] Oracle, JavaFX Scene Builder, [En línea]. Disponible en: <https://www.oracle.com/technetwork/java/javase/downloads/javafxscenebuilder-info-2157684.html>. [Último acceso: 4 marzo 2018].



- [24] O. Engineering, Medición de temperatura, OMEGA Engineering Inc., [En línea]. Disponible en: <http://mx.omega.com/prodinfo/medicion-de-temperatura.html>. [Último acceso: 6 marzo 2017].
- [25] T. J. Maloney, *Electrónica Industrial Moderna*, México: Pearson, 2006.
- [26] O. E. Inc., Practical Considerations when Choosing a Pressure Transducer, [En línea]. Disponible: <http://www.omega.com/techref/choose-pressure-transducer.html>. [Último acceso: 6 marzo 2017].
- [27] M. & M. Asociados, Sensores de humedad tipos y aplicaciones, *La Guía MetAs*, nº 05, pp. 2-12, 2008.
- [28] International Telecommunication Union, Radio Regulations. Articles, ITU, Geneva, 2008.
- [29] Oracle Corporation, ¿Qué es Java?, Java, [En línea]. Disponible en: [https://www.java.com/es/download/faq/whatis\\_java.xml](https://www.java.com/es/download/faq/whatis_java.xml). [Último acceso: 24 febrero 2017].
- [30] A. Silberschatz, H. F. Korth y S. Sudarshan, *Fundamentos de bases de datos*, Madrid: Mc Graw Hill, 2002.
- [31] G. Booch, *Object oriented analysis and design with applications*, Massachusetts: Pearson, 2007.
- [32] M. A. Rojas y J. C. Molina García, *Introducción y principios básicos del desarrollo de software basado en componentes*, Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, 2004.

# Anexos

## Anexo 1. Certificado de calidad

	<b>Certificado de Calidad</b> <b>“Sistema de radiosonda meteorología”</b>		
	Modelo: FX	Fecha de aprobación: 21/05/2019	Versión: 1.2

### Resultados del ensayo de la muestra

Variable	Medición del equipo de calibración	Medición de la muestra		
Temperatura	°C	°C	Peso del producto	g
Humedad Relativa	%	%	Dimensiones del producto	Largo: cm
Presión Atmosférica	hPa	hPa		Ancho: cm
				Alto: cm
			Material	
			Color	

### Resultados de inspección de atributos

Descripción de defectos	Resultados de la inspección
Ensamble mal realizado	
Carcaza defectuosa	
Batería defectuosa	
Antena defectuosa	
Sin o poca adherencia	
Otros:	

Observaciones: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

ELABORO:	REVISO:	APROBO:
_____	_____	_____
Israel Dávila Martínez	Bertha Cardona Murillo	Sergio Moreno Aguilar

### Resultados del ensayo de la muestra

Variable	Medición del equipo de calibración	Medición de la muestra
Temperatura	17.2 °C	17.9 °C
Humedad Relativa	27 %	29.3 %
Presión Atmosférica	775.5 hPa	775.3hPa

Peso del producto	60 g
Dimensiones del producto	Largo: 6.5 cm Ancho: 5.5 cm Alto: 4.5 cm
Material	Poliestireno expandido
Color	Blanco

### Resultados de inspección de atributos



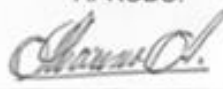
Descripción de defectos	Resultados de la inspección
Ensamble mal realizado	Ninguno
Carcaza defectuosa	Ninguno
Batería defectuosa	Ninguno
Antena defectuosa	Ninguno -
Sin o poca adherencia	Ninguno
Otros:	Ninguno

Observaciones: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

<b>ELABORO:</b>  Israel Dávila Martínez	<b>REVISO:</b>  Bertha Cardona Murillo	<b>APROBO:</b>  Sergio Moreno Aguilar
--	---	---

**Manual de Usuario**



**Sistema de radiosonda meteorológica**

**Manual de Operación**

**Versión 1.0**

Mayo 2019

## Contenido

1. Requerimientos del sistema.....	6
2. Preparación para la operación de sondeo .....	6
2.1. Paso 1: Verificación de la Comunicación.....	9
2.2. Paso 2: Verificación de la Radiosonda.....	10
3. Monitoreo del Sondeo .....	11
3.1. Datos crudos (Valores instantáneos) .....	11
3.2. Gráficos PTU (Presión, Temperatura y Humedad) .....	12
3.3. Terminar el Sondeo .....	12
4. Mantenimiento y Solución de Problemas .....	12
4.1. Mantenimiento del Hardware.....	12
4.2. Solución de Problemas.....	13

## ES NECESARIO LEER ESTE MANUAL ANTES DE OPERAR EL EQUIPO

Para el funcionamiento correcto y seguro

### Símbolos de Advertencia

Varios símbolos gráficos se incluyen en este manual y se muestran en el equipo para que los clientes puedan operarlo de manera segura y correcta y evitar situaciones de peligro para los usuarios y para otras personas, así como daños a la propiedad del usuario durante el funcionamiento. Tales símbolos y sus significados son los siguientes. Es necesarios entenderlos antes de continuar con la lectura del Manual:



PELIGRO

Esta indicación significa que, si esta indicación se descuida y los productos se operan incorrectamente, es probable que ocurra un peligro de muerte o lesiones graves.



PRECAUCIÓN

Esta indicación significa que, si esta indicación se descuida y los productos se operan incorrectamente, puede provocar lesiones personales o daños a la propiedad.

Ejemplo de icono gráfico:



Esta marca representa PRECAUCIÓN (incluyendo PELIGRO y ADVERTENCIA).



Este símbolo representa PROHIBICIÓN.



Este símbolo representa INSTRUCCIONES.

Para que los usuarios puedan utilizar este equipo de forma segura y correcta, deberán observarse estrictamente las indicaciones que se describen a continuación, Por favor, es indispensable leer y comprender los siguientes contenidos antes de usar el equipo.



Indica que el manejo incorrecto puede provocar la muerte o lesiones graves.

- Si el equipo se utiliza en una condición anormal, como humo o un olor extraño saliendo del equipo, se pueden producir fuego o descargas eléctricas. Apague inmediatamente la alimentación, y después de confirmar que no sale humo, solicite su reparación. Los usuarios no deben intentar repararlo por sí mismos.
- En caso de que el equipo se caiga o se dañe, apáguelo de inmediato. No utilice el equipo bajo estas condiciones, ya que puede provocar un incendio o una descarga eléctrica.
- No maneje el equipo con las manos mojadas ni rocié agua sobre él. Si el equipo ha sido salpicado con agua, apáguelo inmediatamente. No utilice el equipo bajo estas condiciones, ya que puede provocar un incendio o una descarga eléctrica.
- No utilice elementos que no sean los suministrados con el equipo, de lo contrario, podría provocar un incendio.
- No inserte ni deje caer objetos extraños tales como metales y elementos inflamables en el interior del equipo. Si lo hace, podría provocar un incendio, descargas eléctricas o mal funcionamiento.
- No desmonte ni modifique el equipo. Si lo hace, podría provocar un incendio o una descarga eléctrica.
- Nunca utilice el equipo a un voltaje que no sea el voltaje de alimentación indicado. Puede provocar un incendio o una avería.
- No coloque un recipiente que contenga líquido, como florero, una taza, cosméticos y productos químicos en el equipo o en sus proximidades. Cuando se derrama o cae sobre el equipo, puede provocar un incendio, descargas eléctricas o mal funcionamiento.
- No dañe, rompa, modifique, doble a la fuerza, jale o tuerza el cable de alimentación y o el cableado del equipo. Cuando un objeto pesado se pone sobre el cable de alimentación o el cableado, o se aplica calor se dañan, lo que puede provocar un incendio o una descarga eléctrica.

**PRECAUCIÓN**

Indica que el manejo incorrecto puede provocar lesiones personales o daños a la propiedad.

- No coloque el equipo en un lugar expuesto a la luz directa del sol o un lugar donde la temperatura se eleve considerablemente debido a los equipos de calefacción. La temperatura en el interior del equipo puede aumentar, provocando un incendio o mal funcionamiento.
- No coloque el equipo en un lugar húmedo o polvoriento. Si lo hace, podría provocar un incendio, descargas eléctricas o mal funcionamiento.
- No coloque el equipo en un lugar inestable. No coloque objetos pesados sobre el equipo. Si lo hace podría dañar el equipo.
- Asegúrese de conectar el equipo al puerto correspondiente del ordenador. No intente conectarlo mediante un cargador. Si el ordenador no tiene el puerto disponible, no intente conectarlo a otro puerto mediante un adaptador. Si lo hace, podría provocar una descarga eléctrica o mal funcionamiento del ordenador y/o del equipo.

**ATENCIÓN**

- Por favor lea y comprenda completamente el contenido de este Manual de Usuario para una operación y funcionamiento correcto y adecuado.
- El contenido de este manual está sujeto a cambios.



## 1. Requerimientos del sistema

Los requerimientos mínimos para que la aplicación Radiosonda FX funcione correctamente, son los siguientes:

- 1) Sistema operativo Windows 7 o superior o Ubuntu 16.04.
- 2) JVM 8 o superior.
- 3) Procesador Celeron G4900 de 3.1 GHz (dual core) o AMD E1 1200 de 1.4 GHz (dual core).
- 4) Memoria RAM de 2 GB.
- 5) Un puerto libre USB 2.0.

## 2. Preparación para la operación de sondeo

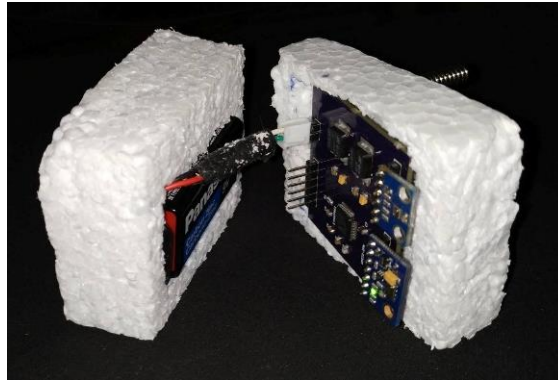
En esta sección se explican los pasos para la preparación de la radiosonda y la estación receptora en la realización de sondeos y de la aplicación Radiosonda FX.

Primero se debe identificar el contenido del sistema de radiosonda meteorológica, el cual consiste en una radiosonda, una estación receptora, un cable USB y la aplicación en el ordenador para realizar el sondeo (ver Imagen 2.1).



Imagen 2.1.- Sistema de radiosonda meteorológica FX.

Como primer paso, se debe conectar la batería a la radiosonda, utilizando el cable de alimentación. Al conectar la batería, un led de color verde se iluminará como indicador de que la radiosonda está energizada y lista para trabajar (ver Imagen 2.2).



*Imagen 2.2.- Conexión de la batería de la radiosonda.*

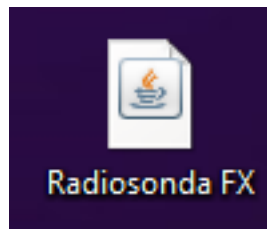
Ahora se cierra la radiosonda y se ubica la estación receptora para conectarla al ordenador a través de un puerto USB utilizando el cable USB proporcionado (ver Imagen 2.3).



*Imagen 2.3.- Conexión de la estación receptora al ordenador mediante el cable USB.*

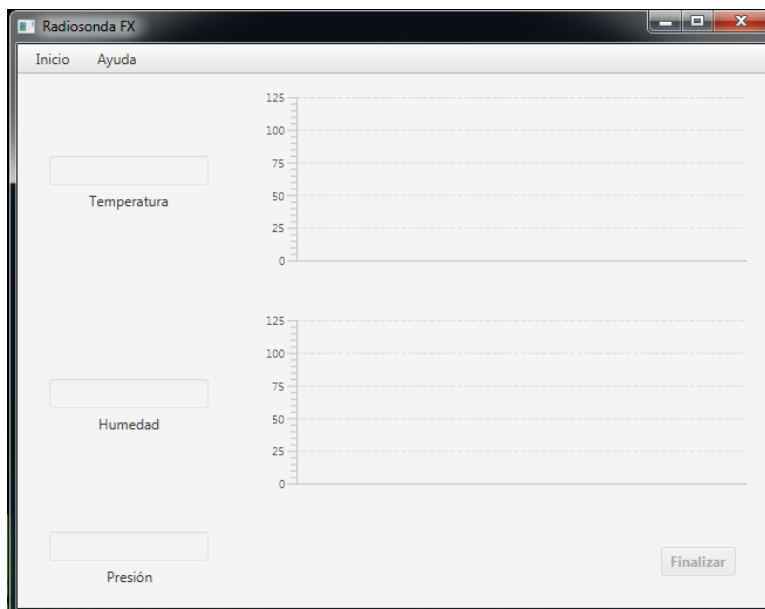
Una vez conectado, se procede a ejecutar la aplicación Radiosonda FX.

Para ejecutar el programa, debemos ubicar el ejecutable ubicado en el escritorio (ver Imagen 2.4) y hacer doble clic izquierdo sobre el ejecutable.



*Imagen 2.4.- Imagen del icono de la aplicación Radiosonda FX.*

A continuación, se abrirá la ventana principal de la aplicación (ver Imagen 2.5).



*Imagen 2.5.- Ventana principal de la aplicación Radiosonda FX.*

Las siguientes funciones están incluidas en el menú Inicio.

1	Crear Nuevo Registro	Para iniciar una nueva operación de sondeo.
2	Abrir Registro	Para buscar y abrir el registro de una operación de sondeo anteriormente realizada.
3	Salir	Para salir del programa.

Para realizar un nuevo sondeo, se hace clic en la pestaña Inicio y después clic en “Crear Nuevo Registro” o bien utilizar el atajo del teclado presionando la tecla Ctrl + N (ver Imagen 2.6).

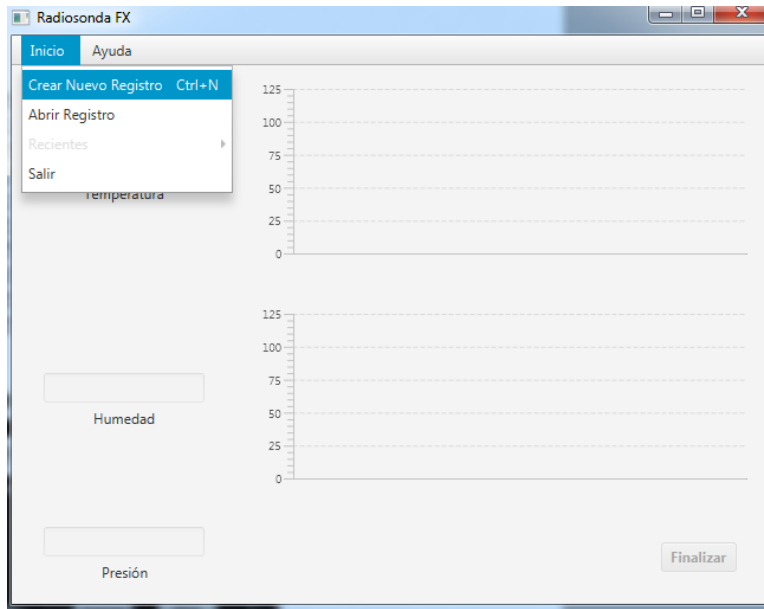


Imagen 2.6.- Creación de un nuevo registro de sondeo.

Se abrirá una nueva ventana (ver Imagen 2.7), en la cual se tendrá que ingresar el nombre del usuario que realizará el sondeo y el ID de la sonda a utilizar.

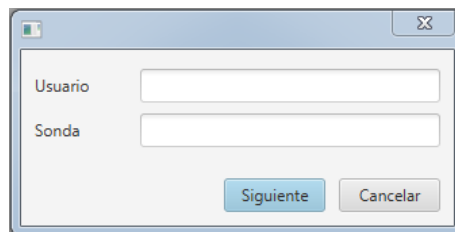


Imagen 2.7.- Ventana de registro de Usuario e ID de la sonda.

Una vez introducidos, hacemos clic en el botón de “Siguiete”.

La aplicación Radiosonda FX le guía a la preparación del sondeo a través de dos pasos:

### 2.1. Paso 1: Verificación de la Comunicación

Se abrirá una nueva ventana (ver Imagen 2.8), en esta ventana se debe seleccionar el puerto en el cual se ha conectado la estación receptora al ordenador. Se debe que asegurar antes de desplegar el menú de “Seleccionar puerto” que el receptor está conectado al ordenador.

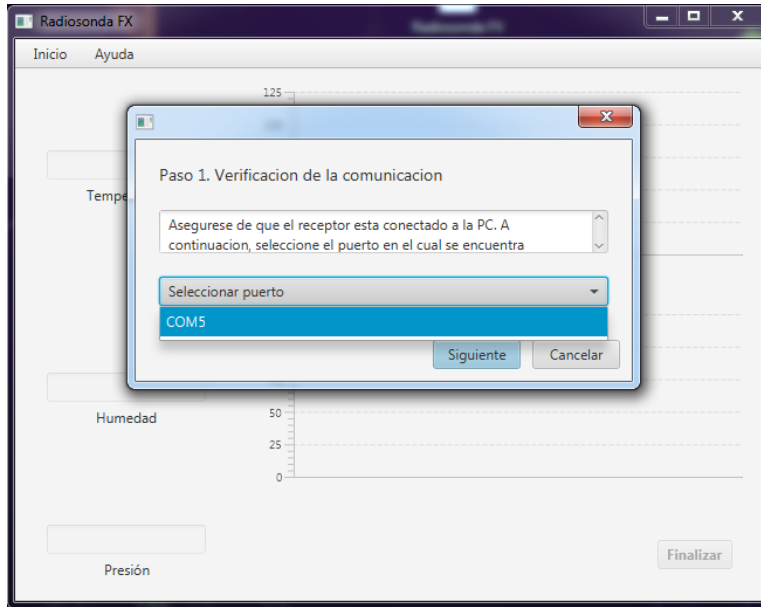


Imagen 2.8.- Paso 1: Verificación de la comunicación. Selección del puerto.

Una vez seleccionado el puerto, hacer clic en “Siguiete”.

### 2.2. Paso 2: Verificación de la Radiosonda

En este paso se verifica la exactitud de la radiosonda.

Primero, se debe asegurar de haber conectado la batería de la sonda, teniendo cuidado con la polaridad de esta. Si la sonda no está energizada, aparecerá un mensaje de “Data Unavailable” (ver Imagen 2.9).

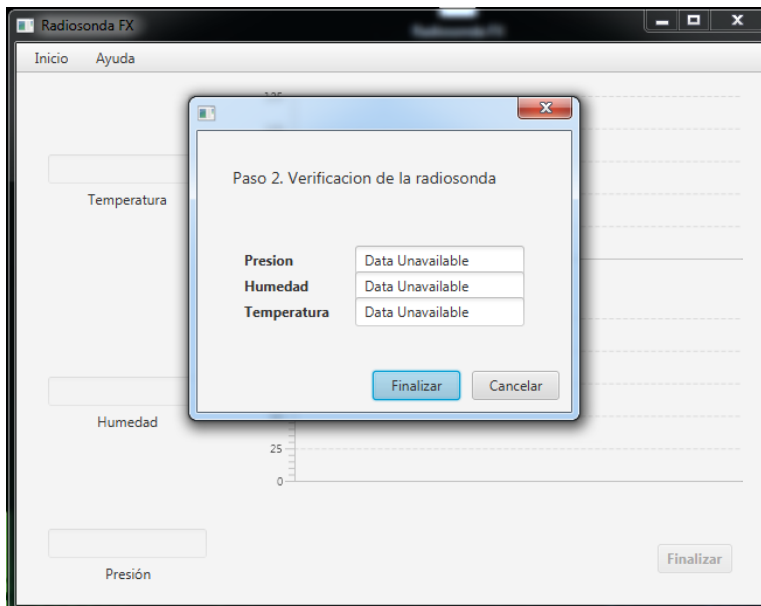


Imagen 2.9.- Paso 2: Verificación de la radiosonda. Datos no disponibles.

Una vez energizada la sonda, las mediciones se mostrarán en la nueva ventana (ver Imagen 2.10). Estas mediciones deberán compararse con los equipos de calibración. Si la diferencia de cada valor está dentro de la tolerancia, la verificación de la radiosonda (Paso 2) se ha completado con éxito.

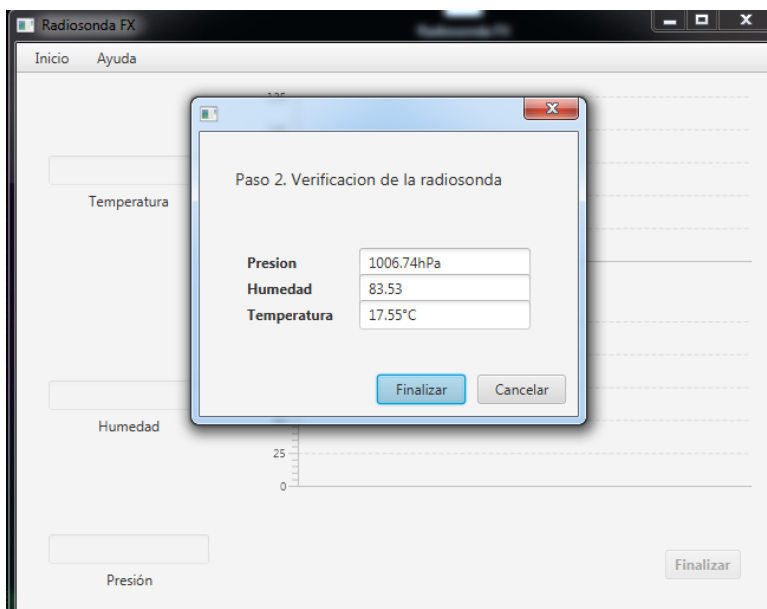


Imagen 2.10.- Paso 2: Verificación de la radiosonda.

Si las mediciones son exactas, se hace clic en “Finalizar”.

### 3. Monitoreo del Sondeo

En esta sección se explica la información de monitoreo durante el sondeo.

La ventana de Monitoreo se mostrará después de los pasos para la preparación de sondeo.

#### 3.1. Datos crudos (Valores instantáneos)

Los datos recibidos por la estación receptora se irán mostrando y actualizando cada que se reciba un nuevo dato.

Del lado izquierdo de la Imagen 3.1 se observan 3 recuadros con las etiquetas de Temperatura, Humedad y Presión. En estos recuadros se mostrará la medición actual registrada por la radiosonda.

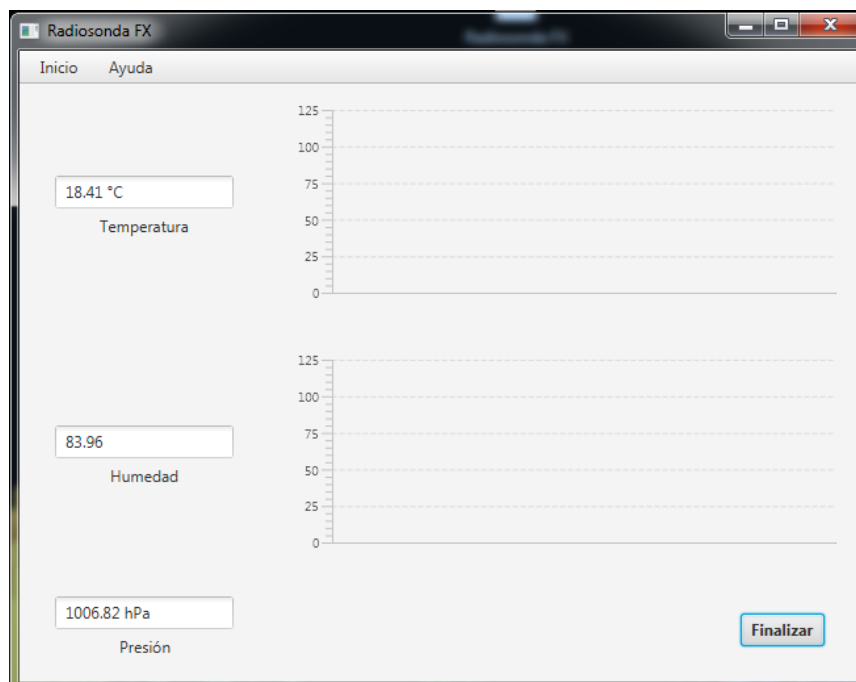


Imagen 3.1.- Visualización de los datos crudos en tiempo real.

### 3.2. Gráficos PTU (Presión, Temperatura y Humedad)

Del lado derecho de la Imagen 3.1 se muestran 2 gráficas, en la gráfica superior se irá graficando el cambio de temperatura con respecto a la presión atmosférica. Mientras que en la gráfica inferior se irá graficando el cambio de la humedad relativa con respecto a la presión atmosférica.

### 3.3. Terminar el Sondeo

Para finalizar el sondeo, solo es necesario hacer clic en el botón de finalizar.

## 4. Mantenimiento y Solución de Problemas

### 4.1. Mantenimiento del Hardware

Para mantener el equipo en óptimas condiciones, es necesario guardar el equipo en un lugar fresco, seco y donde no reciba directamente la luz solar.

Se recomienda limpiar con aire comprimido la PCB de la estación receptora cada 30 días para eliminar el exceso de polvo que puede acumularse dentro de la estación receptora.

El cable USB debe guardarse en un lugar seco y donde no reciba directamente la luz solar. Debe cuidarse de no doblarse en exceso y procurar que el cable este extendido al momento de utilizarlo. No debe de jalarse para desconectarse pues puede provocar malfuncionamiento.

## 4.2. Solución de Problemas

Problema	Posible Causa	Solución
La radiosonda no enciende	La batería se ha agotado.	Reemplazar la batería.
	La batería se ha conectado incorrectamente.	Revisar que este correctamente conectada a la radiosonda.
La estación receptora no aparece en el ordenador	El cable no está correctamente conectado.	Revisar que el cable USB este correctamente conectado a la estación receptora y al ordenador.
	El cable está dañado.	Reemplazar el cable.
En las mediciones aparece "Data Unavailable"	La radiosonda esta apagada al momento de realizar el sondeo con la aplicación.	Conectar la batería a la radiosonda y reiniciar la aplicación.