

PROTOTIPO FUNCIONAL DE LOCALIZACIÓN Y COMUNICACIÓN DE DATOS METEOROLÓGICOS PARA PEQUEÑAS EMBARCACIONES MARÍTIMAS



Ing. Doubert Geovanny Sánchez Marín

Trabajo de grado
MAESTRÍA EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Director:
Víctor Manuel Quintero Flórez

Universidad del Cauca
En convenio con
Escuela Naval de Cadetes "Almirante Padilla" - Cartagena
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Departamento de Telecomunicaciones
Grupo de Radio e InALámbricas – GRIAL
Sistemas de Comunicaciones Móviles e Inalámbricas
Popayán - Cartagena de Indias D.T. y C.

2023

ING. DOUBERT GEOVANNY SÁNCHEZ MARÍN

PROTOTIPO FUNCIONAL DE LOCALIZACIÓN Y
COMUNICACIÓN DE DATOS METEOROLÓGICOS PARA
PEQUEÑAS EMBARCACIONES MARÍTIMAS

Tesis presentada a
La Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
de la Universidad del Cauca para la obtención del Título de

Magister en:
INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Director:
Víctor Manuel Quintero Flórez

Popayán
2023

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi esposa, a mi hijo y a mis padres.

AGRADECIMIENTOS

Mis más sinceros agradecimientos a la Universidad del Cauca por permitirme realizar este trabajo de grado. Ante todo a tres grandes personas de la Universidad del Cauca por su conocimiento, entrega, guía, orientación y paciencia en este largo trayecto del proyecto como son Alejandro Toledo, Guefry Agredo y Víctor Quintero. Palabras de agradecimiento me quedarían cortas, a mi esposa por ser el apoyo incondicional y mi polo a tierra en todo, a mi gran bendición mi hijo, a mis padres (Q.E.P.D), a mis amigos que aportaron su conocimiento en el desarrollo del proyecto, y en especial a mi Capitán Arenas, por su motivación, apoyo y confianza. Mil Gracias.

RESUMEN

Debido a siniestros por fenómenos atmosféricos o eventos marítimos, ante las dificultades que afrontan los pescadores en mar abierto para realizar sus faenas de pesca por falta de apoyo tecnológico, y ante la necesidad de un ente de control para monitorear y apoyar a pequeñas embarcaciones marítimas, es necesario implementar un control eficaz que ofrezca seguridad a quienes ejercen la pesca de manera artesanal. Por lo anteriormente expuesto, este trabajo de maestría propone un prototipo funcional de localización y comunicación de datos meteorológicos para pequeñas embarcaciones marítimas, el cual permite conocer la localización de la embarcación y a su vez monitorear variables meteorológicas en las zonas de pesca, suministrando información a los entes de control de la Armada Nacional como Guardacostas y Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas, ampliando los conocimientos de las zonas de pesca.

ABSTRACT

Due to the difficulties faced by fishermen in the open sea to carry out their fishing activities due to the lack of technological support and the need for a control entity to monitor and support small maritime vessels, it is necessary to implement an effective control that offers security to those who fish in an artisanal way. Therefore, this master's work proposes a functional prototype of location and communication of meteorological data for small maritime vessels, which allows knowing the location of the vessel and at the same time monitoring meteorological variables in the fishing areas, providing information to the control entities of the National Navy as Coast Guard and Oceanographic and Hydrographic Research Center, expanding the knowledge of the fishing areas.

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTOS	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
LISTA DE FIGURAS	xii
LISTA DE TABLAS.....	xiv
LISTA DE ACRÓNIMOS	xv
ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO	xvi
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1.1. Pesca Artesanal en Colombia	1
1.1.2. Armada Nacional.....	2
1.1.3. Guardacostas Armada Nacional	3
1.1.4. Centro Investigaciones Oceanográficos e Hidrográficos.....	3
1.2. ESTACIÓN METEOROLÓGICA	3
1.2.1. Temperatura.....	4
1.2.2. Humedad Relativa.....	5
1.2.3. Presión Atmosférica	6
1.2.4. Velocidad y Dirección del Viento	6
1.2.5. Precipitación.....	8
1.3. SISTEMAS DE POSICIONAMIENTO Y COMUNICACIÓN.....	9
1.3.1. Sistema Global de Navegación por Satélite	9
1.3.2. Sistemas de Radiocomunicaciones - VHF Marino	12
1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	14
1.4.1. Planteamiento del Problema	14
1.4.2. Justificación.....	16
1.5. OBJETIVOS DE LA TESIS	17

1.5.1.	Objetivo General	17
1.5.2.	Objetivos Específicos	17
2.	METODOLOGÍA.....	19
2.1.	ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS.....	19
2.1.1.	Requerimientos Funcionales.....	20
2.1.2.	Requerimientos No Funcionales	20
2.2.	DISEÑO GENERAL DEL SISTEMA.....	21
2.2.1.	Equipo Móvil.....	23
2.2.2.	Equipo de Control	24
2.3.	IMPLEMENTACIÓN	26
2.3.1.	Sensores	28
2.3.1.1.	Sensor de presión atmosférica, humedad y temperatura.....	30
2.3.1.2.	Anemómetro.....	31
2.3.1.3.	Pluviómetro	32
2.3.1.4.	Veleta de Viento.....	34
2.3.2.	Hardware y Software Empleados para el Prototipo de Pruebas	35
2.3.2.1.	Sistema NI Compact RIO	35
2.3.2.2.	Modem Harris.....	36
2.3.2.3.	LabView	39
2.3.3.	Integración de Componentes y Plataformas	41
2.3.3.1.	Equipos de la embarcación	42
2.3.3.2.	Estación base.....	48
2.3.3.3.	Monitoreo, control y vigilancia	50
3.	PRUEBAS DE EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO	55
3.1.	DEFINICIÓN DEL ESCENARIO DE PRUEBAS	55
3.2.	SIMULACIÓN.....	55
3.2.1.	Radio Mobile	55
3.3.	PLAN DE PRUEBAS Y EJECUCIÓN.....	58
3.3.1.	Pruebas de Verificación Funcional de la Interfaz	58
3.3.2.	Prueba de Transmisión Punto a Punto entre Módems.....	59

3.3.3. Pruebas de Transmisión desde la Embarcación al Centro de Control	61
4. ANALISIS DE RESULTADOS	67
5. CONCLUSIONES.....	75
BIBLIOGRAFÍA	77

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1 Tipos de clima	5
Figura 1-2 Rosa de los vientos.....	7
Figura 1-3 Anemómetro	8
Figura 1-4 Veleta.....	8
Figura 1-5 Pluviómetro.....	9
Figura 1-6 Diferencias entre GNSS y GPS	11
Figura 1-7 Equipo de radio VHF Marino y sus conexiones	13
Figura 1-8 Prototipo de embarcación de pesca artesanal	16
Figura 2-1 Metodología modelo lineal secuencial	19
Figura 2-2 Diagrama general del proyecto	22
Figura 2-3 Adquisición de variables meteorológicas y de localización	23
Figura 2-4 Modulación y transmisión de los datos	24
Figura 2-5 Recepción y visualización de datos	24
Figura 2-6 Unidades de Control y Vigilancia de la Armada Nacional	25
Figura 2-7 Tarjeta adquisición de datos	27
Figura 2-8 Equipos que componen la transmisión y recepción de datos	27
Figura 2-9 Diagrama general del sistema I	28
Figura 2-10 Diagrama general del sistema II	29
Figura 2-11 Sensores estación meteorológica	29
Figura 2-12 Sensores de la estación meteorológica e integración con la MyRIO .	30
Figura 2-13 Diagrama estación meteorológica.....	30
Figura 2-14 Sensor de presión, humedad y temperatura SEN-13676.....	31
Figura 2-15 Anemómetro	32
Figura 2-16 Funcionamiento sensor de velocidad.....	32
Figura 2-17 Sensor de precipitación.....	33
Figura 2-18 Funcionamiento sensor de precipitación.....	33
Figura 2-19 Sensor de dirección del viento	34
Figura 2-20 Funcionamiento del sensor de dirección del viento	34
Figura 2-21 Tarjeta adquisición de datos NI MyRIO-1950	35
Figura 2-22 Puertos NI MyRIO-1950.....	36
Figura 2-23 Diagrama de bloques NI MyRIO-1950	37
Figura 2-24 Conectores modem Harris	38
Figura 2-25 Pines conector J2 Modem Harris	39
Figura 2-26 Pines Conector J3 – Modem Harris	39
Figura 2-27 LabView	41
Figura 2-28 Esquema de bloques del sistema	42
Figura 2-29 Equipos a bordo de la embarcación.....	43
Figura 2-30 Esquema de captación de señales desde los sensores de variables meteorológicas y de posición.	44
Figura 2-31 Conector puente entre la tarjeta MyRIO y los sensores.....	44

Figura 2-32 Componentes estación meteorológica portátil	45
Figura 2-33 Configuración puertos de entrada	46
Figura 2-34 Nodos de división.....	47
Figura 2-35 Interfaz de usuario	48
Figura 2-39 Diagrama de diseño de la estación base	49
Figura 2-37 Diagrama general del software de la estación base.....	49
Figura 2-38 Interfaz de usuario estación base	50
Figura 2-44 Monitoreo, control y vigilancia.....	51
Figura 2-45 Sedes de CIOH a nivel nacional	52
Figura 2-46 Trayectoria unidad tipo BDA hacia la ESNTB	53
Figura 2-47 Información de variables meteorológicas suministradas por CIOH....	54
Figura 2-48 Comportamiento de variables meteorológicas	54
Figura 3-1 Programa Radio Mobile	56
Figura 3-2 Simulación cobertura radio sistema VHF Marino	57
Figura 3-3 Radio enlace entre la Base Naval ARC "Bolívar" y ESNTB	57
Figura 3-4 Zona Fresnel del Radio enlace entre la DARET1 y ENTB	58
Figura 3-5 Recepción de datos simulados en aplicativo	59
Figura 3-6 Conexión punto a punto mediante modem	61
Figura 3-7 Embarcación de la Armada Nacional ARC "Kraken"	61
Figura 3-8 Pruebas Bahía Cartagena.....	62
Figura 3-9 Ruta BN1 a ENTB mediante Google Earth	63
Figura 3-10 Interfaz gráfica de usuario.....	63
Figura 4-1 Rutas trazadas con radios por cobertura	67
Figura 4-2 Ruta desde la base naval hasta la ENTB.....	68
Figura 4-3 Ruta desde Manzanillo hasta ENTB	70
Figura 4-4 Ruta desde la base naval hasta Manzanillo.....	71
Figura 4-5 Ruta desde la base naval hasta sector Cuatro Calles.....	72
Figura 4-6 Ruta desde la base naval hasta canal de Bocachica.....	73

LISTA DE TABLAS

Tabla 2-1. Variables físicas y sensores requeridos en el prototipo funcional	20
Tabla 2-2. Parámetros del Modem Harris	38
Tabla 3-1. Base de datos para simulación de datos transmitidos	59
Tabla 3-2. Base de datos para simulación de datos transmitidos	60
Tabla 3-3. Datos registrados por la estación base en tiempo real.....	65
Tabla 3-4. Evaluación de la transmisión simulación interfaz de usuario.	66
Tabla 4-1. Evaluación de la transmisión de rutas distribuidas por el rango marítimo de navegación turística en Cartagena.....	68
Tabla 4-2. Registro de datos almacenados ruta Base Naval hasta ENTB	69
Tabla 4-3 Registro de datos almacenados ruta Manzanillo hasta ENTB	70
Tabla 4-4. Registro de datos almacenados ruta BN1 hasta ENAP	71
Tabla 4-5. Registro de datos almacenados ruta Base Naval hasta Cuatro Calles	72
Tabla 4-6. Registro de datos almacenados ruta Base Naval hasta Islas de Rosario	73

LISTA DE ACRÓNIMOS

ARC	Armada de la República de Colombia.
CCCP	Control de Contaminación del Pacífico.
CIOH	Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico.
DSC	<i>Digital Selective Calling</i> , Llamada Selectiva Digital.
ENAP	Escuela Naval de Cadetes “Almirante Padilla”.
ESNTB	Estación Naval de Tierrabomba.
E/S	Entrada y Salida.
FPGA	<i>Field Programmable Gate Array</i> , Arreglo de Compuertas Programables en Campo.
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i> , Sistema Global de Navegación por Satélite.
GPS	<i>Global Positioning System</i> , Sistema de Posicionamiento Global.
HF	<i>High Frequency</i> , Alta Frecuencia
LED	<i>Light-Emitting Diode</i> , Diodo Emisor de Luz.
MMSI	<i>Maritime Mobile Service Identity</i> , Identificación del Servicio Móvil Marítimo.
NI	<i>National Instruments</i> .
RF	<i>Radio Frequency</i> , Radiofrecuencia.
SI	Sistema Internacional de Medidas.
SOLAS	<i>Safety of Life at Sea</i> , Seguridad de la Vida en el Mar.
VHF	<i>Very High Frequency</i> , Muy Alta Frecuencia.

ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO

El presente documento describe el desarrollo de un prototipo funcional de localización y comunicación de datos meteorológicos, para el control, monitoreo y apoyo en la seguridad del personal dedicado a actividades marítimas como pesca artesanal y turismo en pequeñas embarcaciones marítimas, con el fin de reducir y evitar siniestros en el mar. El documento está compuesto por cuatro capítulos: una introducción que describe el planteamiento y justificación del trabajo de grado; una metodología que incluye análisis de requerimientos, parámetros de diseño, equipos usados para la implementación del proyecto y el plan de pruebas implementado; un análisis de resultados; y finalmente, las conclusiones del trabajo de maestría. De manera más detallada el documento se encuentra organizado de la siguiente manera:

Capítulo 1. Introducción.

Este capítulo presenta el planteamiento del problema y su justificación, así como consideraciones técnicas, conceptos que se utilizan para el desarrollo del trabajo de maestría y se plantean los objetivos del trabajo de grado.

Capítulo 2. Metodología.

Se plantea la metodología empleada para el trabajo de maestría, lo que incluye: análisis de requerimientos de localización y variables meteorológicas; requerimientos funcionales y no funcionales, para establecer los parámetros de diseño; las características generales de los equipos de radio móvil, sensores meteorológicos y de localización, las tarjetas de adquisición de datos, la modulación de la señal y la transmisión de datos, y específicamente los equipos que integran la estación de control base, las fuentes de alimentación de los equipos, las variables meteorológicas consideradas, el modem de comunicación de datos utilizado, el radio usado para la implementación del prototipo, el desarrollo de la interfaz gráfica

y el suministro de información a las unidades de control e investigación de la Armada Nacional; finalmente, se define un escenario de pruebas y un plan de pruebas.

Capítulo 3. Análisis de resultados.

En este capítulo se ejecuta el plan de pruebas diseñado, considerando el prototipo de localización y comunicación de datos meteorológicos y se analizan los resultados obtenidos.

Capítulo 4. Conclusiones y Recomendaciones

Se exponen las conclusiones y se hacen las recomendaciones para tener en cuenta para trabajos futuros.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. MARCO TEÓRICO

El gran potencial de crecimiento económico y de generación de empleo que representa el sector marítimo para los intereses nacionales es aprovechado desde diferentes frentes productivos, siendo uno de ellos la pesca artesanal. Si se brindan las herramientas y el apoyo requerido a las necesidades actuales de la pesca artesanal en el país, asesorando los procesos de las faenas de pesca, realizando un acompañamiento y monitoreo de las embarcaciones para la seguridad de la vida en el mar (SOLAS, *Safety of Life at Sea*) mediante el control de entidades del estado, teniendo como objetivo la reducción de siniestros que se presentan en los trayectos marítimos y un alto conocimiento de las áreas donde se realiza las faenas de pesca, se incrementaría la productividad de la pesca artesanal y se mejoraría la calidad de vida de los pescadores.

1.1.1. Pesca Artesanal en Colombia

En Colombia se estima que existen cerca de 120.000 pescadores artesanales, de los cuales 100.000 son permanentes, de ellos 40.000 pescadores se dedican a la pesca artesanal marítima en el Caribe o en el Pacífico y 60.000 pescadores a la pesca continental [1].

Se puede decir que tanto la pesca como la acuicultura en Colombia, son actividades productivas del sector agropecuario que presenta mayor viabilidad y potencialidad de crecimiento económico, de generación de empleo y de divisas, considerando el potencial productivo de las zonas costeras y de las cuencas hidrográficas continentales [2].

Sin embargo, el sector afronta una serie de problemas como son: poca cohesión entre los eslabones de la cadena productiva; deficiencias en la comercialización de productos; bajo desarrollo agroindustrial; deficiencias de productividad; difícil acceso a la financiación automatización pública y privada del sector. A lo anterior se suma el poco apoyo por parte del estado en las faenas de pesca en mar abierto, el incremento de siniestros de embarcaciones dedicadas a la pesca artesanal; lo cual podría verse reducido con asistencia técnica, transferencia de tecnología para el monitoreo y control en las zonas de mayor actividad de pesca artesanal, tanto en el Pacífico como en el Caribe Colombiano, por parte del estado a través de sus entidades de protección, control y vigilancia.

1.1.2. Armada Nacional

La Armada de la República de Colombia (ARC) es la fuerza naval de las Fuerzas Militares de Colombia, que a través del empleo de su poder naval, contribuye a garantizar la independencia de la Nación, manteniendo la integridad territorial, la defensa del estado y las Instituciones en su jurisdicción: las zonas marítimas en el Pacífico y el Caribe; zonas fluviales del interior del país; y algunas áreas terrestres de su responsabilidad. Su misión es desarrollar operaciones navales para la defensa, la seguridad nacional, y la protección de los intereses marítimos y fluviales, contribuyendo al desarrollo sostenible del Estado [3]. En su estructura organizacional, la Armada de Colombia está integrada por diferentes unidades encargadas de la supervisión, seguimiento, control y vigilancia de las zonas marítimas y fluviales, salvaguardando las zonas productivas y la vida en el mar. Es allí donde juega un papel muy importante el Cuerpo de Guardacostas y la Dirección Marítima que a través de los Centros de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe (CIOH) y de Control de Contaminación del Pacífico (CCCP) ejercen control, vigilancia e investigación salvaguardando los intereses marítimos y fluviales en diferentes regiones del país [3] [4] [5].

1.1.3. Guardacostas Armada Nacional

El Cuerpo de Guardacostas es una unidad de la Armada Nacional dotado con modernos sistemas electrónicos de vigilancia y localización en las diferentes estaciones terrestres de monitoreo, seguimiento y control a nivel nacional, que cubre los litorales Caribe y Pacífico, con unidades altamente flexibles, aptas para operar en aguas interiores y en el mar jurisdiccional, cumpliendo una importante función de seguridad marítima mediante la represión del delito en el mar, el control de la preservación del medio ambiente marino y las operaciones de búsqueda y rescate [4].

1.1.4. Centro Investigaciones Oceanográficos e Hidrográficos

El CIOH estudia y ejecuta proyectos de investigación y evaluación de fenómenos oceanográficos, hidrográficos y de contaminación marina, de acuerdo con los programas de la Dirección General Marítima; brinda servicios técnico-marinos de apoyo, datos oceanográficos e hidrográficos, análisis físicos, químicos y biológicos, metrología de equipos y elementos de laboratorio para la investigación y otras actividades marítimas; controla, vigila, administra los sistemas de medición de parámetros oceanográficos y meteorológicos de la entidad en su respectiva jurisdicción [4]. El CIOH juega un papel muy importante en este trabajo de grado de maestría teniendo en cuenta que con la recopilación de datos meteorológicos en las zonas de mayor influencia de pesca artesanal, se podrán analizar comportamientos meteorológicos de las regiones o lugares de mayor afluencia en la pesca artesanal en el pacífico y caribe colombiano [5].

1.2. ESTACIÓN METEOROLÓGICA

Una estación meteorológica es una instalación destinada a medir y registrar regularmente diversas variables meteorológicas. Los datos asociados a variables meteorológicas se utilizan tanto para la elaboración de predicciones meteorológicas a partir de modelos numéricos como para estudios climáticos [6].

La utilidad principal de una estación meteorológica es recoger y registrar datos meteorológicos mediante diferentes sensores o instrumentos, y con esos datos crear información de valor que puede tener entre otras las siguientes funcionalidades:

- Saber exactamente las condiciones meteorológicas del lugar.
- Comparar esa información con otras estaciones meteorológicas de lugares cercanos.
- Crear información climática representativa del lugar en donde se toman los datos.
- Crear alertas específicas ante fenómenos meteorológicos que pudieran ser de interés.
- Correlacionar fenómenos meteorológicos con situaciones de riesgo, accidentes, destrucción de infraestructuras, etc.

1.2.1. Temperatura

La temperatura es una magnitud referida comúnmente al calor o al frío [7]. En definición es una magnitud física que indica la energía interna de un cuerpo, de un objeto o del medio ambiente en general, medida por un termómetro. Dicha energía interna se expresa en términos de calor y frío, siendo el primero asociado con una temperatura más alta, mientras que el frío se asocia con una temperatura más baja. Las unidades de medida de temperatura son los grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$), los grados Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$) y los grados Kelvin ($^{\circ}\text{K}$). El cero absoluto¹ es equivalente a 0°K .

En términos meteorológicos es importante conocer la temperatura atmosférica, la cual es el nivel de calor existente en el aire en un punto geográfico determinado y es la principal variable a considerar para determinar tipos de clima (frío extremo,

¹ Temperatura más baja posible que se puede alcanzar aproximadamente igual a -273°C .

frio, cálido, caliente) dependiendo de los niveles de temperatura, como se muestra en la Figura 1-1 , cuyo instrumento de medida es el termómetro.

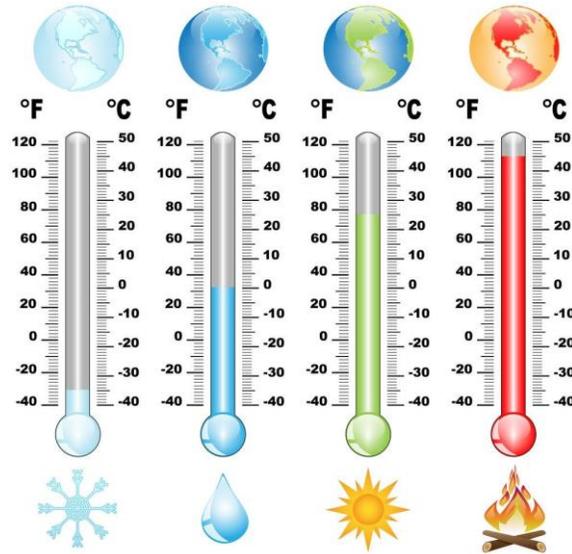


Figura 1-1 Tipos de clima

1.2.2. Humedad Relativa

La humedad relativa indica la cantidad de vapor de agua que se encuentra presente en el aire a una temperatura dada. Es la relación porcentual entre la cantidad de vapor de agua en un metro cubico de aire, sobre la cantidad de vapor que este volumen de aire puede contener a la misma temperatura estando saturado [6]. Relacionada con el tema de recolección y procesamiento de variables meteorológicas, la humedad relativa puede representar un alto grado de importancia ya que esta permite determinar el tiempo de conservación de elementos físicos en la zona. La humedad relativa se la puede medir con un instrumento llamado higrómetro que su unidad más común está dada en porcentaje, el cual representa la cantidad de vapor de agua en el ambiente a una temperatura determinada.

1.2.3. Presión Atmosférica

La presión atmosférica es la fuerza que ejerce la atmosfera sobre la superficie terrestre y sobre todos los seres que viven en ella, es decir, el peso que ejerce el aire sobre una superficie. La presión atmosférica afecta a todas las superficies que están en contacto con el aire, independientemente de su posición [7].

La atmosfera tiene una presión media de 1.013,25 hectopascales [hPa], medidos en la latitud 45° a nivel del mar. La medida de presión atmosférica en el sistema internacional de medidas es el Newton por metro cuadrado (N/m²) o Pascal (Pa). La presión atmosférica a nivel del mar en unidades internacionales es 101,235 N/m² o 101,235 Pa.

Conocer la presión atmosférica, y llevar un registro continuo de esta variable meteorológica, permite predecir el clima a corto plazo en una ubicación geográfica. El cambio de presión atmosférica se relaciona inversamente con el cambio de temperatura de la región, ya que cuando la temperatura del aire se eleva la presión atmosférica baja, y por otro lado cuando la temperatura del aire baja la presión atmosférica sube.

El barómetro es el instrumento que mide la presión atmosférica, siendo este un excelente indicador para la predicción del clima e indispensable en el estudio de fenómenos meteorológicos.

La presión atmosférica se mide en milímetros de mercurio (mmHg) o en milibares (mb) y a nivel del mar la presión normal es 760.

1.2.4. Velocidad y Dirección del Viento

Para la medición de la velocidad del viento se utiliza la unidad estándar de metro por segundo (m/s) reconocida por el Sistema Internacional de Medidas (SI). Sin embargo, en el ejercicio meteorológico operacional y de la aviación, usualmente se

utilizan los nudos (kt). Otras unidades que se utilizan en la medición de la velocidad del viento son kilómetros por hora (km/h); millas por hora (mph); y pies por segundo (ft/s) [8].

Para la medición de la dirección del viento se utiliza la unidad estándar en grados (en el sentido de las agujas del reloj) y en la rosa de los vientos, la cual se divide en 360° contados a partir del norte geográfico, en donde 0° equivale a la dirección Norte (N), 90° Oriente (E), 180° Sur (S) y 270° (W) Occidente. Con la brújula se utilizan 8 puntos (N, NE, E, SE, S, SW, W y NW). La valoración de la dirección del viento a lo largo del tiempo puede ser consolidada y expresada en una rosa de los vientos, la cual se presenta en la Figura 1-2 , con el fin de analizar la procedencia del viento durante un periodo de tiempo determinado.



Figura 1-2 Rosa de los vientos

El anemómetro es un sensor meteorológico utilizado para medir la velocidad del viento y así ayudar en la predicción del clima. Por convención se toma la dirección del viento de donde viene y no hacia dónde va.

En meteorología se usan principalmente los anemómetros de cazoletas o de molinete, especie de diminuto molino de tres aspas con cazoletas sobre las cuales actúa la fuerza del viento, como se muestra en la Figura 1-3.



Figura 1-3 Anemómetro

La veleta indica la dirección del viento y es un dispositivo giratorio que consta de una placa que gira libremente, la cual se presenta en la Figura 1-4.

La principal función de una veleta es indicar la dirección del viento. El conocer la dirección del viento es importante al momento de predecir el clima o tomar decisiones para la navegación.



Figura 1-4 Veleta

1.2.5. Precipitación

La precipitación es el producto de la condensación del vapor de agua atmosférico que se deposita en la superficie de la tierra. La precipitación ocurre cuando la atmósfera se satura con el vapor del agua, el agua se condensa y se precipita.

El pluviómetro, el cual se presenta en la Figura 1-5, es el dispositivo de medida que se emplea para medir las precipitaciones que caen en una zona durante una determinada cantidad de tiempo. Estos datos de precipitaciones se van registrando a tal punto de que puede servir para elaborar la ficha climática de la zona. Con todos los datos recogidos se obtienen valores medios de las precipitaciones por meses, y año por año, para analizar cómo fluctúan las precipitaciones a lo largo del tiempo [8].



Figura 1-5 Pluviómetro

1.3. SISTEMAS DE POSICIONAMIENTO Y COMUNICACIÓN

Teniendo en cuenta el enfoque del proyecto hacia la localización de embarcaciones marítimas, se analizan los equipos adecuados para obtener la posición de una pequeña embarcación marítima en longitud y latitud, como son el Sistema de Posicionamiento Global (GPS, *Global Positioning System*) y el equipo de radiocomunicación para la transmisión remota de la información de posicionamiento.

1.3.1. Sistema Global de Navegación por Satélite

El Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS, *Global Navigation Satellite System*) representa a cualquier sistema de navegación por satélite con cobertura global [9]. Los sistemas de navegación por satélite transmiten información de geolocalización altamente precisa a los dispositivos y receptores GNSS para determinar su ubicación actual, y poseen las siguientes características:

Cobertura: todo GNSS debe tener una cobertura mundial, es decir, una constelación de satélites que sea suficiente como para garantizar el funcionamiento del sistema en cualquier parte del planeta. Un sistema GNSS necesita de un mínimo de cuatro satélites para calcular las coordenadas espaciales y temporales.

Disponibilidad: el sistema debe garantizar su normal funcionamiento durante un porcentaje muy elevado de tiempo, en torno al 95% o 99%. Esto hace que se introduzcan satélites redundantes en la constelación para garantizar el funcionamiento en caso de que alguno falle.

Precisión: el sistema debe proporcionar un posicionamiento espacial y temporal preciso. En el orden de metros en aplicaciones civiles; y de centímetros para aplicaciones militares.

Integridad: la integridad es un concepto fundamental en la navegación. Hace referencia a que tan fiables son los datos que se están usando para seguir una determinada ruta o realizar una determinada operación. Para cuantificar la integridad, se expresa el riesgo de pérdida de integridad como la probabilidad de un fallo no detectado. Es decir, los satélites deben transmitir información fiable y no errónea.

El GPS es un sistema de radionavegación de los Estados Unidos de América, basado en el espacio, que proporciona servicios fiables de posicionamiento, navegación, y cronometría gratuita e ininterrumpidamente a usuarios civiles en todo el mundo. A todo el que cuente con un receptor del GPS, el sistema le proporcionará su localización y la hora exacta en cualquier condición atmosférica, de día o de noche, en cualquier lugar del mundo y sin límite al número de usuarios simultáneos [10].

El GPS se compone de tres elementos: los satélites en órbita alrededor de la Tierra; las estaciones terrestres de seguimiento y control; y los receptores del GPS propiedad de los usuarios. Desde el espacio, los satélites del GPS transmiten señales que reciben e identifican los receptores del GPS; ellos, a su vez, proporcionan por separado sus coordenadas tridimensionales de latitud, longitud y altitud, así como la hora local precisa.

Comercialmente se pueden adquirir pequeños receptores de GPS portátiles. Con esos receptores, el usuario puede determinar con exactitud su ubicación y desplazarse fácilmente al lugar a donde desea trasladarse, ya sea andando, conduciendo, volando o navegando. El GPS es indispensable en todos los sistemas de transporte del mundo ya que sirve de apoyo a la navegación aérea, terrestre y marítima. Los servicios de emergencia y socorro en casos de desastre dependen del GPS para la localización y coordinación horaria de misiones para salvar vidas. Actividades cotidianas como operaciones bancarias, de telefonía móvil e incluso de las redes de distribución eléctrica, ganan en eficiencia gracias a la exactitud cronométrica que proporciona el GPS. Agricultores, topógrafos, geólogos e innumerables usuarios trabajan de forma más eficiente, segura, económica y precisa gracias a las señales accesibles y gratuitas del GPS.

Una comparativa entre GNSS y GPS se muestra en la Figura 1-6.

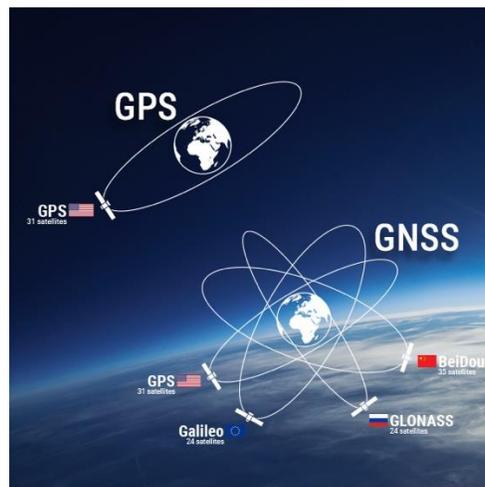


Figura 1-6 Diferencias entre GNSS y GPS

Las aplicaciones del GNSS y de GPS principalmente son:

- Dispositivos de seguimiento / mapeo.
- Control de maquinaria industrial.
- Navegación marítima.
- Navegación aérea.
- Navegación terrestre.

1.3.2. Sistemas de Radiocomunicaciones - VHF Marino

En la actualidad, existen diferentes bandas de frecuencias que se utilizan para diferentes servicios como la televisión, telefonía móvil, redes inalámbricas y comunicaciones marítimas. A una de estas bandas se le denomina Muy Altas Frecuencias (VHF, *Very High Frequency*), y hace referencia a la banda de frecuencias entre los 30 y los 300 Megahercios (MHz).

La radio móvil en VHF es uno de los principales sistemas de comunicación para comunicaciones marítimas a media distancia, especialmente en la náutica de recreo. Aunque se trata de un sistema antiguo, el VHF no ha sido reemplazado por tecnologías más modernas gracias a su simpleza, robustez y alta confiabilidad, por lo cual sigue siendo parte de instrumentos de seguridad obligatorios en los barcos.

En la

Figura 1-7 se observa un equipo de radio VHF marino y sus conexiones hacia la fuente de alimentación de 12 VDC representado por una batería; y hacia una antena vertical tipo látigo de 1 metro (m) aproximadamente.

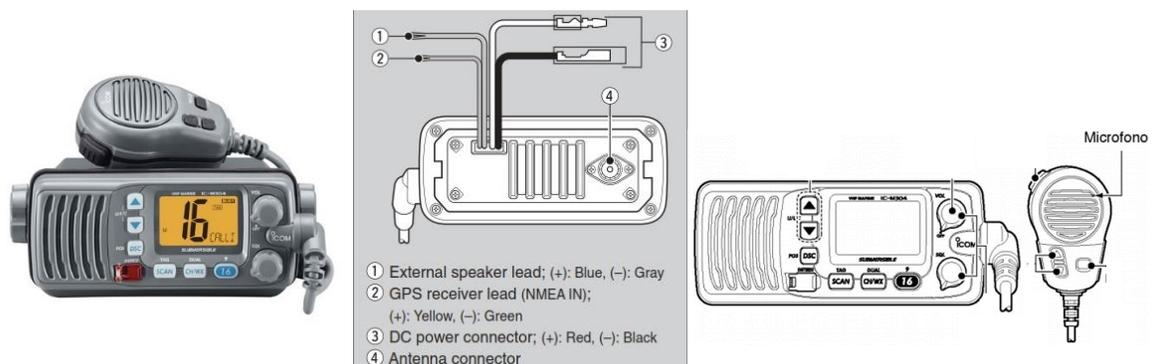
Más concretamente, la banda de frecuencias reservada para las comunicaciones marítimas está entre los 156 MHz y los 174 MHz [11].

En este rango de frecuencias se encuentran asignadas las frecuencias de socorro, urgencia y seguridad de la Llamada Selectiva Digital (DSC, *Digital Selective Calling*) que corresponde al Canal 70 y cuya frecuencia es de 156.52 MHz. La DSC es un

método de comunicación automático no verbal codificado digitalmente, en el cual el mensaje enviado es una alerta de socorro transmitida a través del Canal 70 y que es enviado tan solo al presionar el botón DISTRESS, generando una señal de alerta a todas las estaciones costeras y a todos los buques que se encuentren dentro del alcance del sistema radio. En este mensaje se incluyen automáticamente el Identificador de Servicio Móvil Marítimo (MMSI, *Maritime Mobile Service Identity*) del barco, las coordenadas de la posición, la hora y también indica la naturaleza del peligro. La estación costera que recibe la llamada emite también a través de este canal un acuse de recibo.

Propagación y alcance: La gama de frecuencias del VHF marítimo tiene la particularidad de que necesita una “propagación directa” o por línea de vista entre el emisor y el receptor, es decir tienen que estar a la vista uno del otro y por tanto, su alcance está condicionado a la curvatura de la tierra e influenciado por obstáculos físicos o naturales que se puedan interponer entre sus antenas. No obstante, es posible conseguir coberturas mayores en determinadas condiciones meteorológicas por reflexión de la señal. Por tanto, su alcance está limitado a la curvatura de la tierra como también a la altura a la que se encuentren sus antenas a nivel del mar.

Potencia: La potencia máxima para el VHF marino que los organismos oficiales de telecomunicaciones autorizan es de 25 vatios. Los VHF fijos y móviles operan con una potencia seleccionable de 1 a 25 vatios, mientras los equipos portátiles tienen por lo general potencias de salida de hasta de 5 vatios. Potencias mayores consumen mayor gran cantidad de energía y por lo tanto sus baterías se agotan más rápidamente.



1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.4.1. Planteamiento del Problema

La Armada Nacional tiene como misión “Desarrollar operaciones navales para la defensa y seguridad nacional, y la protección de los intereses marítimos y fluviales, contribuyendo al desarrollo sostenible del Estado” [3], para ello cuenta con unidades aéreas, marítimas, fluviales y terrestres para salvaguardar la soberanía nacional, y controlar, apoyar y brindar seguridad a las actividades que se ejercen en todo el ámbito marítimo nacional.

Una de las características del Océano Pacífico Colombiano, especialmente en el Departamento del Cauca, es justamente la abundancia de recursos marítimos propios que si bien son aprovechados en la mayoría de los casos no pueden ser potenciados al máximo por la escasez de recursos económicos, la falta de infraestructura y los problemas de seguridad y orden público. En general, las actividades de pesca se efectúan de manera artesanal, lo cual es un gran riesgo para los pescadores y sobre la cual no se ejerce ningún tipo de control, apoyo o acompañamiento por parte del gobierno, debido entre otros a que no se utiliza ningún tipo de ayuda electrónica de navegación.

Actualmente diferentes entes de investigación se enfocan en desarrollar una embarcación de pesca artesanal con energías renovables que cumpla con los estándares de calidad marítimos [12], la cual contaría con aportes de las ingenierías naval, mecánica, eléctrica, electrónica, y telecomunicaciones, enfocada en los procesos y necesidades de las actividades de pesca artesanal, buscando la reducción de los siniestros que se presentan en este tipo de embarcaciones, con un prototipo de propuesta como se muestra en la Figura 1-8. Por lo anterior, es muy importante para este tipo de embarcaciones contar con los equipos de comunicación

y sensores que ayuden a la navegación marítima, lo cual brindará un medio de comunicación e información necesaria a los pescadores en sus faenas de pesca, ofreciendo seguridad en el mar.

Con el fin de monitorear este tipo de embarcaciones, se plantea una propuesta de investigación aplicada, y de adaptación tecnológica, en el desarrollo de un prototipo que transmita la ubicación brindada por los equipos de navegación (receptor GPS) y la información de los equipos de adquisición de información meteorológica (estaciones meteorológicas, batitermógrafos, y otros) durante las faenas de pesca a un sitio de control central remoto, permitiendo realizar un monitoreo constante de la ubicación y de las condiciones ambientales de la zona en la cual se efectúa las actividades de pesca. El prototipo desarrollado busca disminuir los siniestros asociados a pequeñas embarcaciones de pesca artesanal, recopilando datos que permita controlar, estudiar, conocer las áreas de pesca y las condiciones meteorológicas ambientales de la zona en las diferentes épocas del año.

La Armada de la República de Colombia como ente de control, vigilancia y seguridad marítima y fluvial hará uso de la información recopilada (posicionamiento y variables meteorológicas), con el fin de monitorear las embarcaciones para brindar seguridad marítima a través de las estaciones de guardacostas y del Centro de Investigaciones oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico, así como también ampliar los estudios sobre la región.

De acuerdo con lo mencionado anteriormente se formula la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo diseñar un prototipo funcional de localización y comunicación de datos meteorológicos para pequeñas embarcaciones marítimas con el fin de brindar seguridad y apoyo a las actividades de pesca artesanal y obtener información meteorológica en los mares de Colombia?.

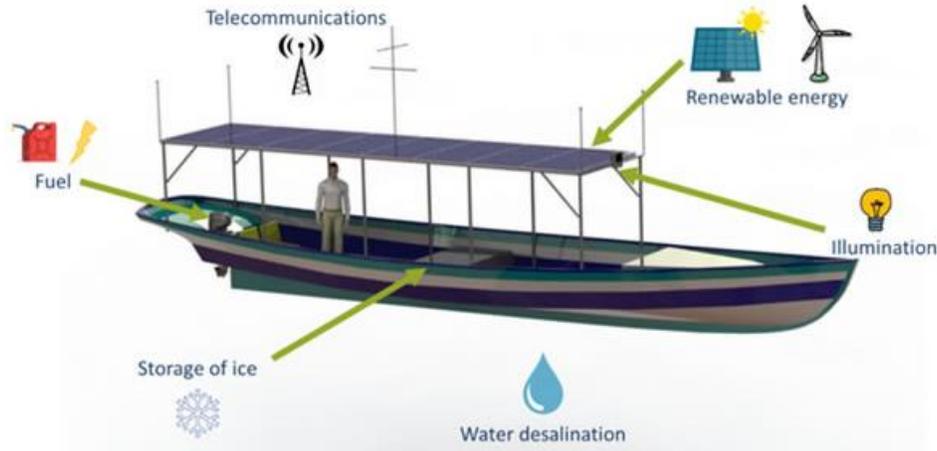


Figura 1-8 Prototipo de embarcación de pesca artesanal

Nota: Esquema básico para la embarcación propuesta.

Foto: Proyecto Pacific Econavipesca: ecosistema para la navegación pesquera sostenible en el municipio de Guapi, Cauca.

1.4.2. Justificación

Los aspectos sociales, políticos, económicos, culturales y tecnológicos de la pesca han evolucionado en formas tales que han provocado una intensa presión sobre los recursos acuáticos. El gobierno es cada vez más consciente de la necesidad de administrar, rehabilitar y controlar la explotación de las zonas de pesca y los recursos a través de políticas, leyes, investigación y el control efectivo. El litoral pacífico requiere de una mayor inversión en todos los aspectos y uno de vital importancia es la pesca artesanal.

En la actualidad, se realiza la pesca en pequeñas embarcaciones artesanales, las cuales desarrollan sus operaciones cerca de la costa. La inclusión de la tecnología permitiría aumentar de manera responsable la productividad pesquera (más especies, de mejor calidad), pues, los pescadores podrían ingresar en mar abierto teniendo información exacta del lugar en el cual se encuentran, y recopilando información de las condiciones ambientales y meteorológicas del área en la cual efectúan sus faenas de pesca.

La finalidad de este trabajo de maestría es mantener un constante monitoreo de las embarcaciones pesqueras desde un sitio de control remoto, de tal manera que se realice un seguimiento de la embarcación y con ello monitorear las condiciones meteoro-marinas de las zonas de pesca, con el fin de recopilar información en bases de datos y/o retransmitir la información a unidades de la Armada Nacional, permitiendo identificar zonas de pesca, condiciones climáticas y ambientales durante el año, evitando naufragios y demás riesgos marinos en los que los pescadores exponen sus vidas, apoyando las faenas de pesca en el pacífico colombiano.

La recopilación de los datos de posición y meteorológicos le permitirá al CIOH el monitoreo de variables indicadoras del medio marino y costero junto con su análisis estadístico. Así mismo, las unidades de guardacostas de la Armada Nacional tendrán una herramienta útil para el control y monitoreo de las pequeñas embarcaciones enfocadas en la pesca artesanal con el fin de prevenir siniestros, robos o novedades que se puedan presentar durante sus faenas de pesca.

1.5. OBJETIVOS DE LA TESIS

1.5.1. Objetivo General

Desarrollar un prototipo funcional de localización y comunicación de datos meteorológicos para pequeñas embarcaciones marítimas.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Diseñar un prototipo funcional y básico de localización y comunicación de datos meteorológicos que pueda ser utilizado en pequeñas embarcaciones marítimas, el cual considere la utilización e integración de diferentes elementos, equipos y plataformas disponibles en la Armada Nacional y sus centros de investigación, innovación y desarrollo.

- Implementar el prototipo funcional de localización y comunicación de datos meteorológicos.
- Evaluar el desempeño del prototipo funcional de localización y comunicación de datos meteorológicos.

2. METODOLOGÍA

Para el desarrollo del prototipo funcional de localización y comunicación de datos meteorológicos para pequeñas embarcaciones marítimas se hizo uso del modelo Lineal Secuencial o Modelo en Cascada (Figura 2-1) [13], el cual cuenta con múltiples fases que se ejecutan de manera secuencial: recopilación y análisis de información, análisis de requerimientos, diseño e implementación, pruebas y resultados, y finalmente, entrega.

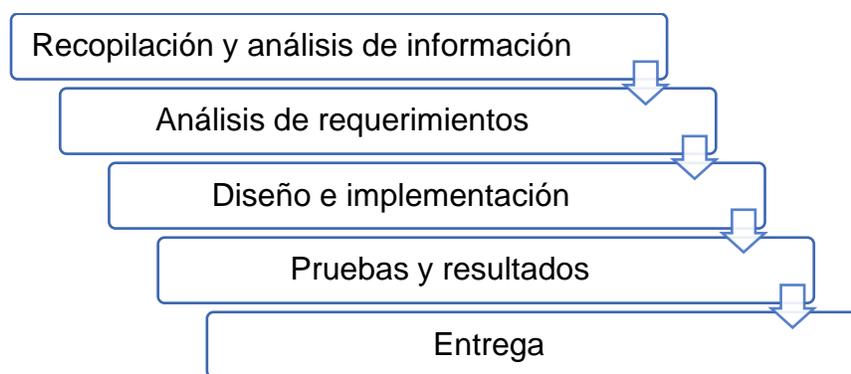


Figura 2-1 Metodología modelo lineal secuencial

Dentro de la metodología del modelo lineal secuencial, específicamente la primera fase de recopilación y análisis de la información, se encuentra desarrollada en el capítulo uno tanto en el marco teórico, como en la descripción de los componentes de una estación meteorológica, el sistema de posicionamiento global y equipos de radiocomunicación.

2.1. ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS

Se realiza la definición de requerimientos funcionales y no funcionales del proyecto, donde se incluyen todas las variables físicas del proyecto, límites y alcances del sistema prototipo funcional, básico de localización y comunicación de datos meteorológicos, así como las limitaciones de las embarcaciones de pesca artesanal.

2.1.1. Requerimientos Funcionales

Los requerimientos funcionales de un sistema son aquellos que describen cualquier actividad que este deba realizar, en otras palabras, el comportamiento o función particular de un sistema o software cuando se cumplen ciertas condiciones. Para el proyecto se analizaron tres aspectos como son: Sensores, Hardware y Software. El requerimiento funcional general del proyecto es el de contar con un prototipo funcional de localización y comunicación de datos meteorológicos para pequeñas embarcaciones marítimas.

Para la medición de las variables meteorológicas e identificación de la posición, se hace necesario identificar los sensores (equipos de medición) de las variables físicas que se muestran en la Tabla 2-1, con el fin de identificar y cuantificar el comportamiento meteorológico dependiendo de la ubicación en que se encuentre una pequeña embarcación marítima, para posteriormente ser transmitidas a un centro de control remoto para su análisis.

Variable Física	Equipo de medición
Localización	GPS
Temperatura	Termómetro
Presión Atmosférica	Barómetro
Humedad	Higrómetro
Intensidad de lluvia	Pluviómetro
Velocidad del viento	Anemómetro
Dirección del Viento	Veleta

Tabla 2-1. Variables físicas y sensores requeridos en el prototipo funcional

2.1.2. Requerimientos No Funcionales

Los requisitos no funcionales son las restricciones o los requisitos impuestos al sistema. Especifican el atributo de calidad del software y del hardware. Los requisitos no funcionales se ocupan de problemas como la escalabilidad, la mantenibilidad, el desempeño, la portabilidad, la seguridad, la confiabilidad, entre

otros. Se requiere un prototipo funcional de localización y comunicación de datos meteorológicos para pequeñas embarcaciones marítimas portable, seguro, confiable, de alta disponibilidad, fácil mantenimiento y que a partir del análisis de su desempeño se pueda implementar un sistema general.

2.2. DISEÑO GENERAL DEL SISTEMA

El diseño general del proyecto está compuesto por dos partes como se visualiza en la Figura 2-2: un componente móvil que estará a bordo de la embarcación marítima, la cual será monitoreada y transportará los equipos que miden las variables meteorológicas y componen la estación de localización y meteorológica: el sensor de localización, una tarjeta de adquisición de datos, un modem para conversión de los datos que serán enviados a través de radiofrecuencia (RF, *Radio Frequency*); y un componente de control asociado a una estación base que recibirá los datos de RF, los demodulará mediante un modem, y entregará la información a un equipo terminal de datos que administrará la información meteorológica para ser visualizada y suministrada a los entes de control de vigilancia marítima o de centros de investigación oceanográfico e hidrográfico, en donde se generarán bases de datos para posteriores análisis del comportamiento meteorológico de las zonas de interés.

Los elementos que conforman el equipo móvil (a bordo de la embarcación marítima), son: un receptor de GPS; los sensores que conforman la estación meteorológica; un microcontrolador o tarjeta de adquisición de datos; un modem; un radio VHF marino; y la alimentación del sistema. Por otra parte, los elementos que conforman el equipo de control (Central Base), son: radio VHF, modem, equipo terminal de datos, y componentes relacionados al sistema prototipo. Las funciones de los diferentes elementos que componen el sistema prototipo se presentan a continuación:

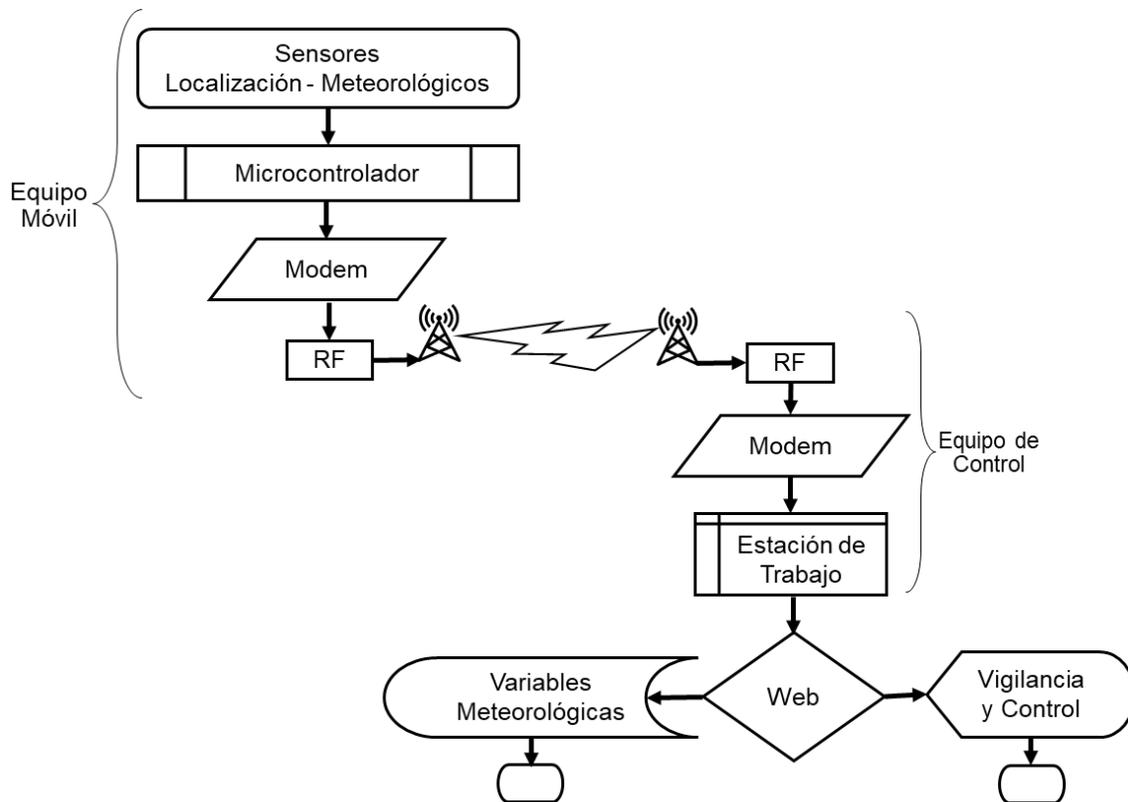


Figura 2-2 Diagrama general del proyecto

GPS: permite tener la ubicación exacta de la estación meteorológica, así como la sincronización temporal de los datos adquiridos para saber los momentos exactos en los cuales fueron registradas las variables climáticas.

Sensores: Las diferentes variables climáticas como presión, temperatura, intensidad de lluvia, humedad relativa, velocidad y dirección del viento, así como de localización, se registran a través de diferentes sensores, los cuales están conectados a la tarjeta de adquisición de datos y control de modem.

Alimentación: Este bloque se encarga de suministrar el voltaje necesario a los equipos y sensores de la embarcación para su correcto funcionamiento. La alimentación de los sensores proviene de un panel solar conectado a una batería que suministra la alimentación a los sensores. Debido a que la alimentación del

modem es 110 VAC, se utilizó un inversor para su alimentación, aprovechando la batería de la embarcación que también es usada para la alimentación del radio VHF.

Tarjeta de adquisición de datos: es un dispositivo electrónico que hace las veces de computador, por lo que se le conoce como computador embebido. Este equipo se controla mediante LabVIEW. En este caso, la MyRIO de *National Instruments* (NI) cumple la función de integrar las señales y controlar el modem de la estación de monitoreo, es decir, se encarga de administrar los otros bloques que componen los equipos de la embarcación.

Equipo terminal de datos: Conforman la estación base, la cual se encarga de controlar el modem para la recepción de los datos, almacenar datos y enviarlos vía internet a los entes de control.

2.2.1. Equipo Móvil

Está compuesto por equipos que estarían a bordo de la embarcación como son: los sensores que componen la estación meteorológica; el sensor de localización; un microcontrolador para la adquisición, manipulación y almacenamiento de los datos; un modem para adecuación y adaptación de señales; y un radio trasmisor, como se visualizan en la Figura 2-3 y la Figura 2-4.

Un primer sub-bloque conformado por sensores mide las variables meteorológicas y estima la localización, señales que son entregadas a un microcontrolador para su procesamiento, integración y almacenamiento, como se muestra en la Figura 2-3.

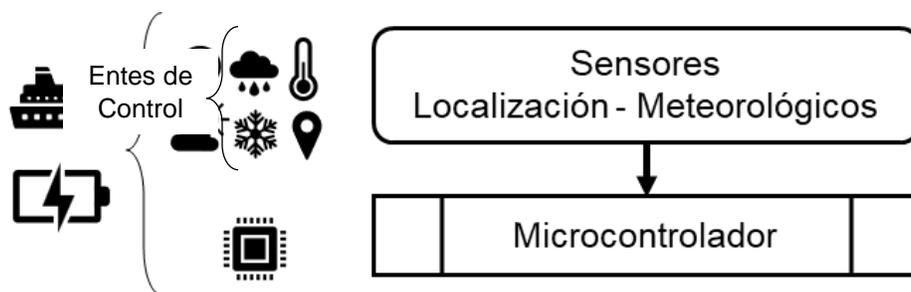


Figura 2-3 Adquisición de variables meteorológicas y de localización

Un segundo sub-bloque (ver Figura 2-4) de transmisión de datos, recibe la señal integrada la cual está conformada por una trama de información con los valores de las variables meteorológicas (temperatura, presión atmosférica, humedad, intensidad de lluvia, velocidad y dirección del viento) y de posición (longitud y latitud), y la transmite por RF haciendo uso de un radio VHF Marino.

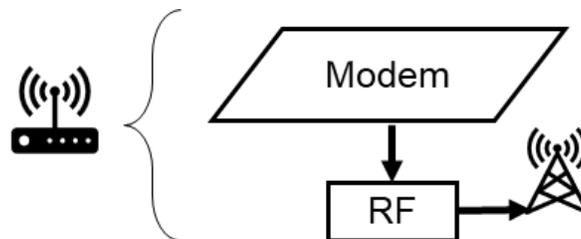


Figura 2-4 Modulación y transmisión de los datos

2.2.2. Equipo de Control

Un primer sub-bloque es el de recepción y visualización de datos (Figura 2-5), el cual recibe la señal de RF, la demodula y la entrega al modem, el cual entrega el formato de trama con los valores de las variables meteorológicas y de localización, los cuales son entregados a la estación base, la cual identifica los campos que componen la trama, y almacena los datos de la embarcación (fecha, hora, localización, y variables meteorológicas).

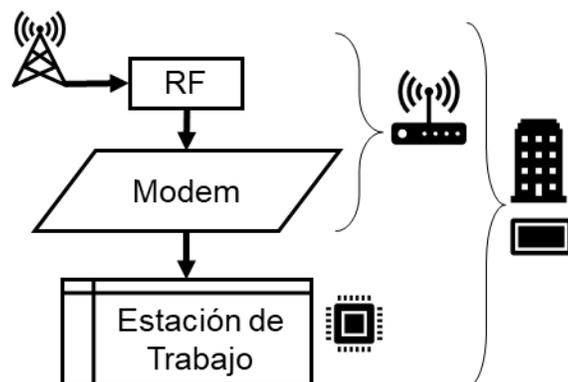


Figura 2-5 Recepción y visualización de datos

La base de datos que contiene los valores de posición y tiempo, y los valores meteorológicos se enviarán a las unidades de monitoreo, control y vigilancia de la Armada Nacional (Figura 2-6) con el fin de tener control, identificación y vigilancia de la embarcación, así como también un estudio del comportamiento meteorológico en las zonas donde se efectúan las faenas de pesca de la región.

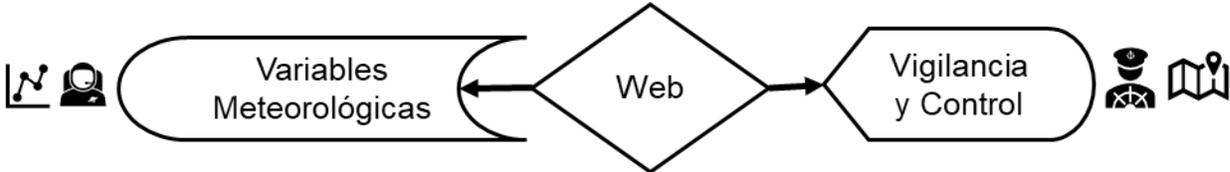


Figura 2-6 Unidades de Control y Vigilancia de la Armada Nacional

2.3. IMPLEMENTACIÓN

Teniendo como base el diseño del prototipo de la estación meteorológica realizada como proyecto por alumnos de la Escuela Naval de Cadetes “Almirante Padilla” (ENAP) para el estudio climatológico en la zona de la reserva de la biosfera SEA FLOWER [14], se usaron los sensores y la fuente de alimentación, esta última para el suministro de energía a los sensores y a la tarjeta de adquisición de datos, la cual servirá para recolectar datos y almacenar las variables meteorológicas de las zonas de navegación donde las embarcaciones realizan las faenas de pesca o recorrido. Se usó y configuró la tarjeta de adquisición de datos MyRIO-1950 de la *National Instruments*², la cual es una herramienta para implementar múltiples conceptos de diseño con un dispositivo de múltiples entradas y salidas, para la adquisición y procesamiento de los datos, los cuales son transmitidos al modem Harris RF-5800H-MP, equipo que procesa la información digital (establecimiento del formato de trama) por medio de diferentes modos de operación y de esta manera garantizar una comunicación fiable, cuando la información procesada es entregada al radio VHF marino para su transmisión, y de igual manera, identifica el modo de operación cuando el radio VHF marino entrega información recibida y demodulada por él al modem. El modem realiza las funciones de establecimiento y reconocimiento del formato de trama. La información de localización y variables meteorológicas obtenidas en el centro de control, se clasifica, se almacena y se envía a los centros de investigación, monitoreo, control y vigilancia, con el fin de estudiar, conocer el comportamiento meteorológico en la zona, así como también monitorear la embarcación.

Para disponer de los datos de las variables meteorológicas y de posición provenientes de los sensores, se requiere una tarjeta de adquisición de datos que permita controlar, procesar, organizar y almacenar los datos de las variables

² Equipo propiedad de la División de Investigación y Desarrollo del Departamento de Armas y Electrónica de la Armada Nacional.

meteorológicas y de localización, para ser transmitidas, como se visualiza en la Figura 2-7.



Figura 2-7 Tarjeta adquisición de datos

El uso de un equipo de radiocomunicaciones para la transmisión de señales está condicionado por la distancia a la cual se requiere enviar la señal. En el ambiente marítimo los más comunes y comerciales son los radios VHF marino, que con la integración de un modem de datos permite el envío de los datos de localización y variables meteorológicas. La Figura 2-8 ilustra los equipos que comprenden la transmisión y recepción de datos, compuesto por un radio VHF, un modem para la adecuación de datos y un equipo terminal de usuario.



Figura 2-8 Equipos que componen la transmisión y recepción de datos

Un diagrama general del sistema se muestra en la Figura 2-9 y la Figura 2-10. La descripción, características y configuración de los equipos se realiza en la sección sensores, la sección hardware y la sección software del prototipo, respectivamente.

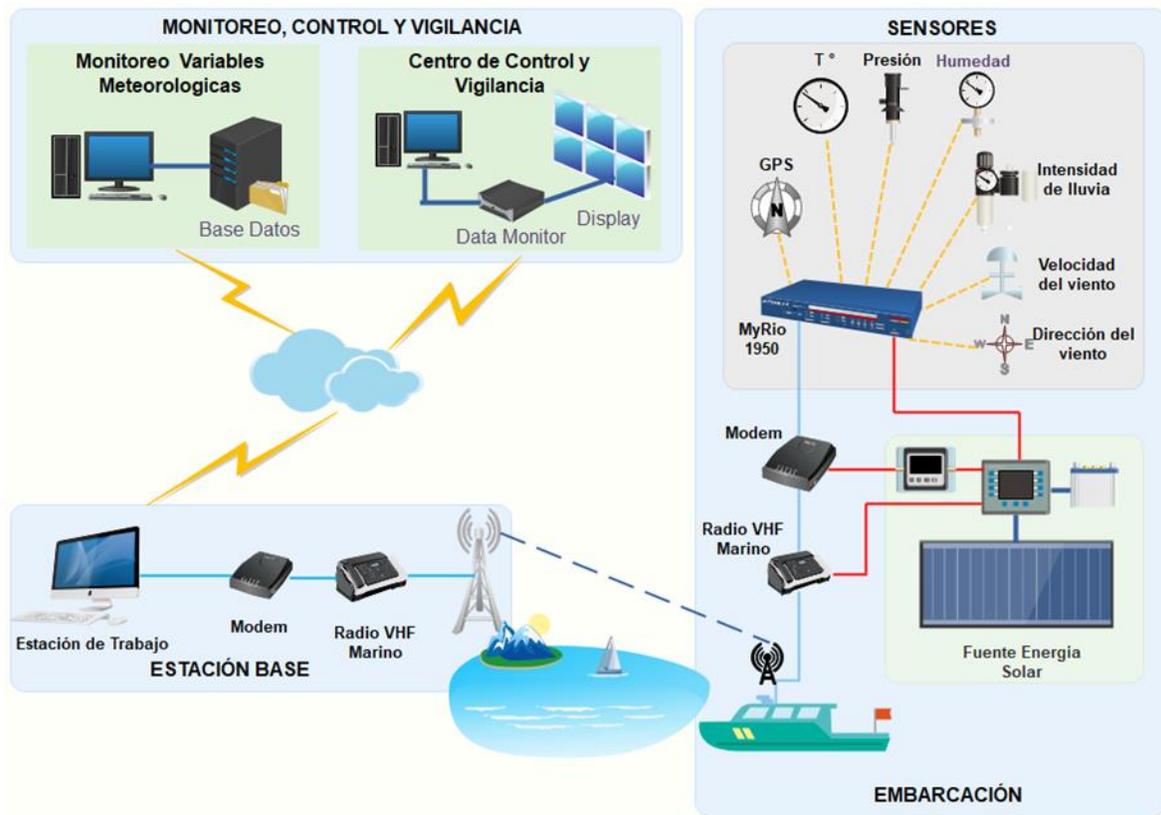


Figura 2-9 Diagrama general del sistema I

2.3.1. Sensores

Se toman como base los sensores de la estación meteorológica diseñada para el proyecto de grado: “Diseño y Construcción de un Prototipo de Estación Meteorológica Portátil para Medición de Parámetros Atmosféricos en la Expedición Seaflower” [14]. Los sensores de la estación meteorológica se visualizan en la Figura 2-11 y en la Figura 2-12.

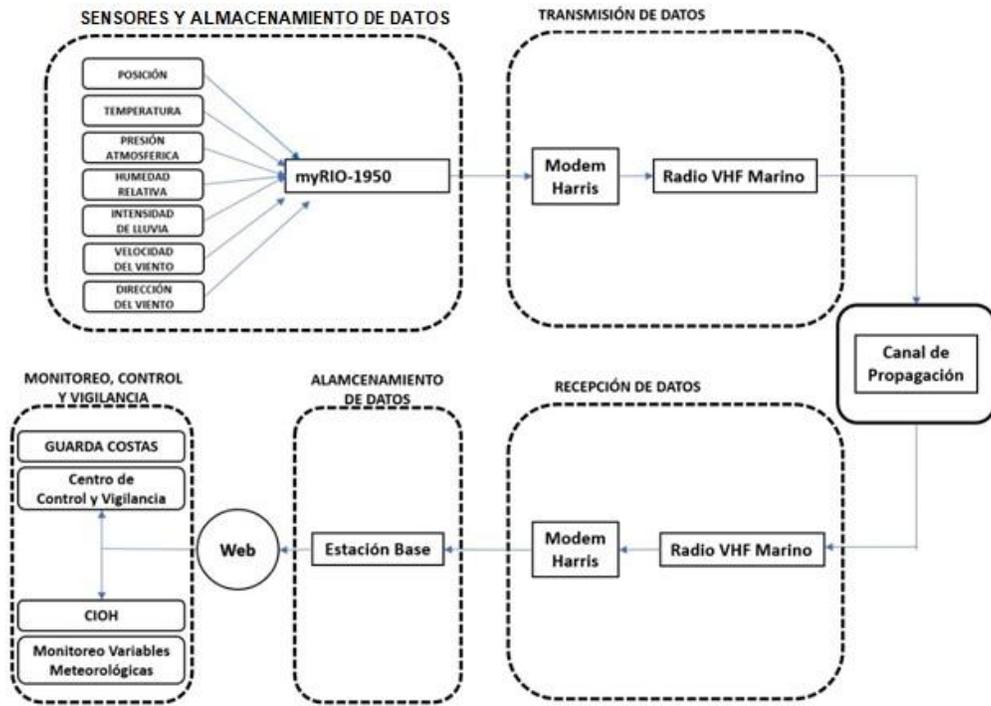


Figura 2-10 Diagrama general del sistema II



Figura 2-11 Sensores estación meteorológica

Las señales de los sensores se integran mediante la tarjeta de adquisición de datos MyRIO, como se presenta en la Figura 2-12 y en la Figura 2-13; en las cuales visualizan las conexiones.

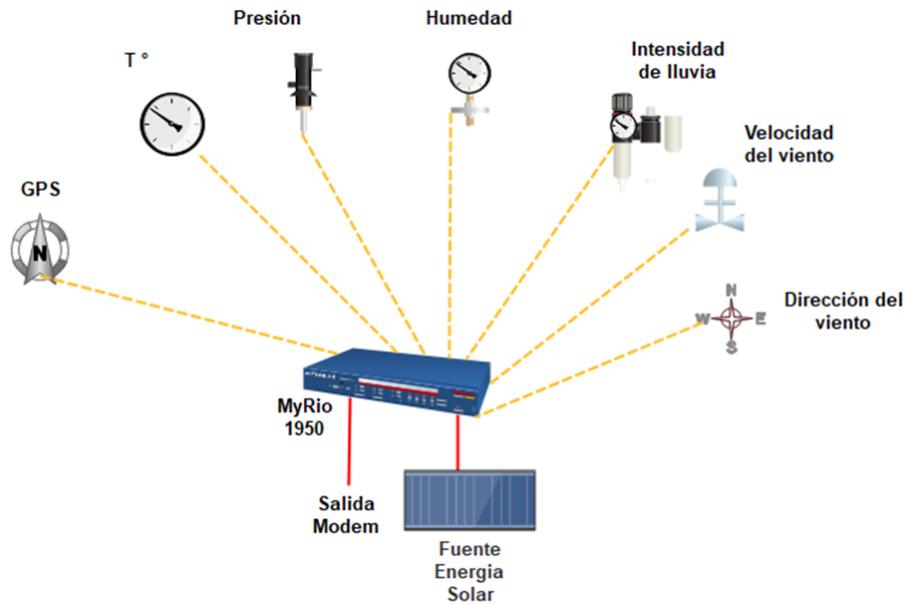


Figura 2-12 Sensores de la estación meteorológica e integración con la MyRIO

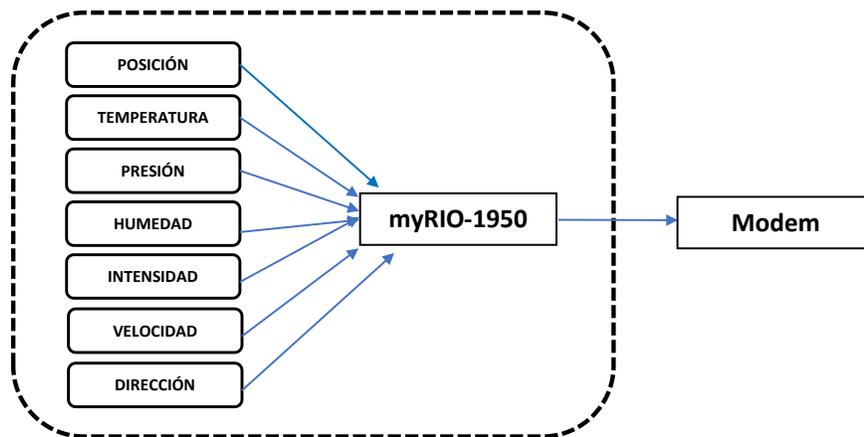


Figura 2-13 Diagrama estación meteorológica

2.3.1.1. Sensor de presión atmosférica, humedad y temperatura

El sensor SEN-13676 (Figura 2-14), tiene la capacidad de medir tres variables: presión barométrica, temperatura y humedad. El sensor entrega la información en formato digital y es un sensor con bajo consumo de energía. Las siguientes son las características del sensor:

- Voltaje de operación: 3,3V.
- Interfaz de comunicación: I2C y SPI.
- Rango de temperatura: -40°C a 85°C.
- Rango de humedad: 0 – 100% RH, \pm 3% de 20 - 80%.
- Rango de presión 30 kPa a 110 kPa, exactitud relativa de 12Pa, exactitud absoluta de 100 Pa.
- Rango de altitud: 0 a 30000 ft (9.2 km), exactitud relativa de 3.3 ft (1 m) a nivel del mar, 6.6 ft (2 m) a 30000 ft.

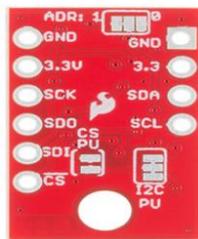


Figura 2-14 Sensor de presión, humedad y temperatura SEN-13676

2.3.1.2. Anemómetro

El anemómetro tipo copa que se presenta en la Figura 2-15, mide la velocidad del viento al cerrar un contacto a medida que un imán se mueve más allá de un interruptor, tal como se muestra en la Figura 2-16. Una velocidad del viento de 1.492 MPH (2.4 km/h) hace que el interruptor se cierre una vez por segundo, entonces la velocidad del viento depende del número de vueltas que realiza el sensor multiplicadas por el factor de conversión que entrega el fabricante en sus fichas técnicas.



Figura 2-15 Anemómetro

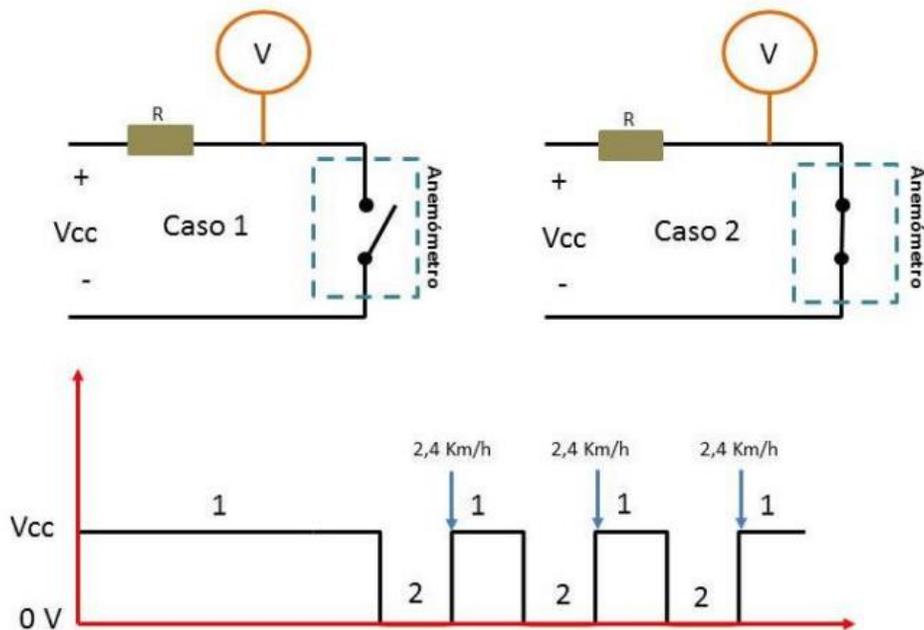


Figura 2-16 Funcionamiento sensor de velocidad

2.3.1.3. Pluviómetro

El nivel de precipitación se mide mediante el sensor incluido en el kit de estación meteorológica. Este kit de referencia 80422 es fabricado por la empresa Argent Data Systems, el cual se muestra en la Figura 2-17.



Figura 2-17 Sensor de precipitación

La Figura 2-18 muestra el funcionamiento del sensor de precipitación. En la cubeta que posee se almacena 0.2794 mm de lluvia, que cada vez que se almacena hace que al balancín se voltee y haga contacto con un interruptor, el cual genera una señal de control. La tarjeta controladora almacena la cantidad de veces que ha hecho contacto el sensor y se multiplica por el factor proporcionado en la ficha técnica del fabricante, lo cual permite estimar la cantidad de lluvia en un día.

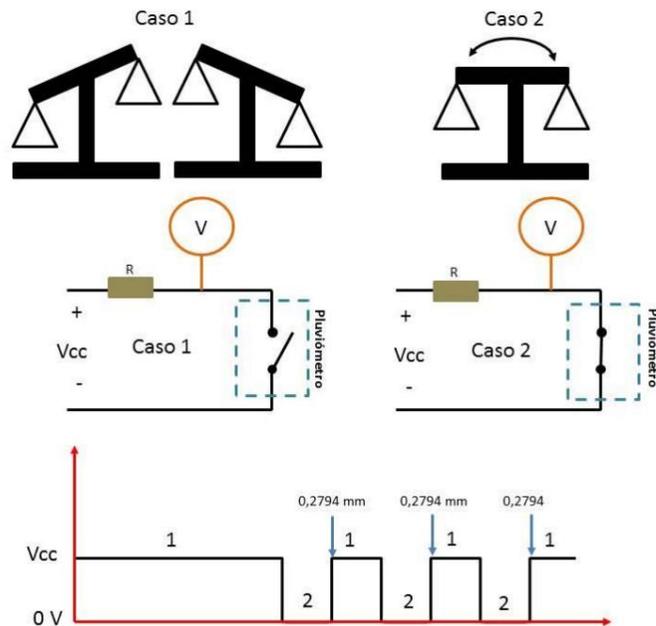


Figura 2-18 Funcionamiento sensor de precipitación

2.3.1.4. Veleta de Viento

El sensor de la dirección del viento se presenta en la Figura 2-19. Este sensor es fabricado por la empresa Argent Data Systems.



Figura 2-19 Sensor de dirección del viento

La veleta de viento indica la dirección del viento como un voltaje producido por la combinación de resistencias que hay dentro del sensor (Figura 2-20). Se encuentra conformada por un conjunto de interruptores magnéticos que pueden tener hasta un total de 16 posiciones diferentes, es decir, dependiendo de hacia dónde se dirija la ráfaga de viento, el sistema abre o cierra un sistema de resistencias.

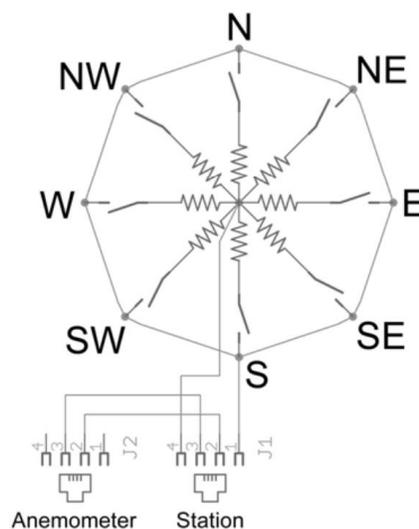


Figura 2-20 Funcionamiento del sensor de dirección del viento

2.3.2. Hardware y Software Empleados para el Prototipo de Pruebas

Aprovechando los recursos y equipos que se tienen a disposición en los laboratorios del Departamento de Armas y Electrónica³ se usó un modem Harris RF-5710A de estándar militar, que permite tomar la información de la tarjeta de adquisición de datos y generar una forma de onda que funciona como señal moduladora del radio VHF marino; y en el otro sentido convertir la forma de onda entregada por el receptor VHF marino para entregar la señal de información, la cual corresponde a posición y variables meteorológicas. Este equipo permite operar a diferentes velocidades de transmisión de datos, así como emplear diferentes esquemas de modulación y codificación de canal.

2.3.2.1. Sistema NI Compact RIO

MyRIO-1950 (Figura 2-21 y Figura 2-22) es una tarjeta de adquisición de datos para proyectos de ingeniería que incluye 8 entradas analógicas, 4 salidas analógicas, 32 líneas de Entrada /Salida (E/S) digitales, Diodos Emisores de Luz (LED, *Light-Emitting Diode*), un botón interruptor, un acelerómetro interno, un Arreglo de Compuertas Programables en Campo (FPGA, *Field Programmable Gate Array*) Xilinx y un procesador dual-core ARM Cortex-A9 (Figura 2-23). La tarjeta de adquisición de datos MyRIO-1950 puede ser programada con LabVIEW o C. Su diseño general permite su integración con otros dispositivos hardware y con aplicaciones embebidas.



Figura 2-21 Tarjeta adquisición de datos NI MyRIO-1950

³ Unidad encargada del mantenimiento de los equipos electrónicos de las unidades de la Armada Nacional

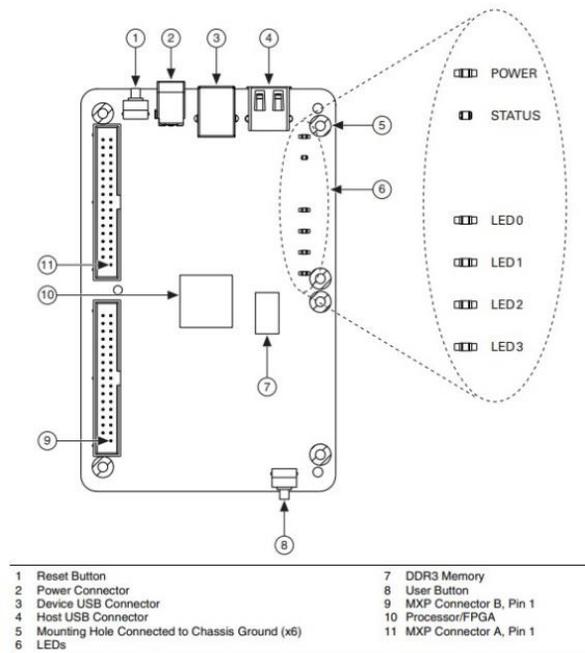


Figura 2-22 Puertos NI MyRIO-1950

2.3.2.2. Modem Harris

El RF-5710A-MD001 es un modem para comunicación de datos de la empresa Harris Corporation construido para comunicaciones en Alta Frecuencia (HF, *High Frequency*), y que puede ser utilizado en otras bandas de frecuencias de sistemas radio móvil como VHF. El modem genera en transmisión la forma de onda correspondientes al esquema de modulación seleccionado y codificación convolucional para diferentes velocidades de transmisión de datos (75 bps a 9600 bps). En recepción, el modem interpreta la forma de onda recibida y la convierte en una secuencia de bits de información que corresponde a la información transmitida (localización y variables meteorológicas), y para ello hace uso de un ecualizador adaptativo que elimina los efectos de la interferencia intersimbólica generada por multitrayecto. El diagrama en bloques del modem se presenta en la Figura 2-28.

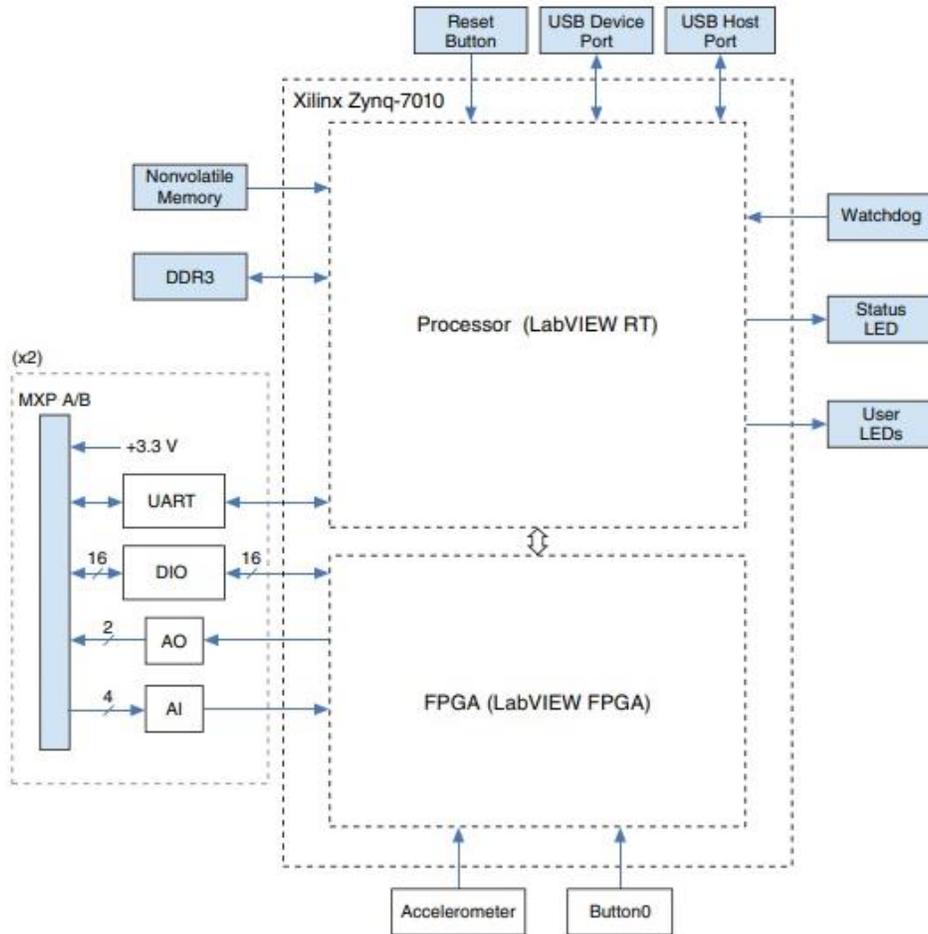


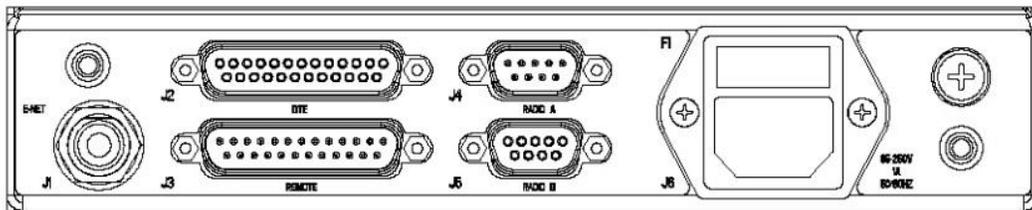
Figura 2-23 Diagrama de bloques NI MyRIO-1950

La forma de onda, la velocidad de transmisión de datos y otros parámetros del módem son seleccionables desde el panel frontal y la pantalla LCD o mediante la interfaz de control remoto. La Tabla 2-2 presenta los modos del modem.

Waveform	Mode	Data Rates
MIL-STD-188-110B, APP. C, STANAG 4539	Coded PSK/QAM Uncoded QAM	3200, 4800, 6400, 8000, 9600 bps 12800 bps
MIL-STD-188-110B, APP. F	Coded PSK/QAM	9600, 12800, 16000, 19200 bps
MIL-STD-188-110B, APP. B STANAG 5066, Annex G	Coded 39 Tone QDPSK Coded PSK/QAM Uncoded QAM	75, 150, 200, 600, 1200, 2400 bps 3200, 4800, 6400, 8000, and 9600 bps 12,800 bps
STANAG 4285	Coded PSK Uncoded PSK	75, 150, 300, 600, 1200, 2400 bps 1200, 2400, 3600 bps
MIL-STD-188-110A Serial Tone	Coded PSK Uncoded PSK	75, 150, 300, 600, 1200, 2400 bps 4800 bps
STANAG 4529	Coded PSK Uncoded PSK	75, 150, 300, 600 1200 bps 600, 1200, 1800 bps
STANAG 4415	Coded PSK	75 bps (NATO Robust Waveform)
STANAG 4481	Coded PSK FSK	300 bps 75 bps
FSK	FSK	50 to 600 bps (variable shift)
STANAG 5065	MSK (LF) FSK (LF)	300 bps 75 bps

Tabla 2-2. Parámetros del Modem Harris

La Figura 2-24 muestra los conectores en la parte posterior del modem Harris. La Figura 2-25 presenta el conector J2 y la función de los pines para la conexión de un equipo terminal de datos, conector al que se conectará la tarjeta MyRio. El conector J3 permite el control remoto del modem; sus pines y funcionalidades se presentan en la Figura 2-26. El conector J4 se conectará al radio.



Conector	Función	Tipo
J1	Interfaz Ethernet	Ethernet (BNC)
J2	Equipo Terminal de Datos (DTE)	25 Pines D, Hembra
J3	Control Remoto	25 Pines D, Macho
J4	Radio A (Principal)	9 Pines D, Macho
J5	Radio B (Secundaria)	9 Pines D, Hembra
J6	Alimentación (85 - 250 Vac)	3 Pines EIA

Figura 2-24 Conectores modem Harris

Conector DTE (No balanceado)	
Pin	Descripción de la Señal
1	Tierra del Chasis
2	Transmisión de Datos (TXD)
3	Recepción de Datos (RXD)
4	Solicitud de Envío (RTS)
5	Listo para Enviar (CTS)
6	Equipo de Datos preparado (DSR)
7	Tierra de la señal
8	Detectada Portadora
15	Reloj de Transmisión (Reloj TX)
17	Reloj de Recepción (Reloj RX)
24	Reloj de Transmisión Externo (Reloj EXT-TX)

Figura 2-25 Pines conector J2 Modem Harris

Conector Control Remoto		
Pin	Descripción de la Señal	Uso
1	Tierra de Chasis	
2	+Transmisión de Datos (TXD+)	RS-232D, RS-422, RS-423, RS-485
3	+Recepción de Datos (RXD+)	RS-232D, RS-422, RS-423
7	Tierra de la Señal	
14	-Transmisión de Datos (TXD-)	RS-422, RS-485 - Forma par balanceado con la señal TXD+ (pin 3)
16	-Recepción de datos (RXD-)	RS-422 - Forma par balanceado con la señal RXD+ (pin 3)

Figura 2-26 Pines Conector J3 – Modem Harris

2.3.2.3. LabView

LabView (*Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*) es una plataforma y entorno de desarrollo con un lenguaje de programación visual gráfico pensado para el diseño de sistemas hardware y software de pruebas, control y diseño, simulado o real y embebido. Este programa fue creado por NI (1976) para funcionar en máquinas MAC, y salió al mercado por primera vez en 1986, teniendo actualmente versiones para diferentes sistemas operativos. [15]

Los programas desarrollados con LabView se llaman Instrumentos Virtuales, o VIs, y su origen provenía del control de instrumentos, aunque hoy en día se ha expandido ampliamente no solo al control de todo tipo de electrónica (Instrumentación electrónica) sino también a su programación embebida,

comunicaciones, matemáticas, etc. Un lema tradicional de LabView es: "La potencia está en el Software", que con la aparición de los sistemas multinúcleo se ha hecho aún más potente. Entre sus objetivos están el reducir el tiempo de desarrollo de aplicaciones de todo tipo (no solo en ámbitos de pruebas, control y diseño) y el permitir la entrada a la informática a profesionales de cualquier otro campo. LabView permite su integración con todo tipo de software y hardware, tanto del propio fabricante como de otros fabricantes (Figura 2 27).

LabView ofrece un enfoque de programación gráfica que ayuda a visualizar cada aspecto de su aplicación, incluyendo configuración de hardware, datos de medidas y depuración. Esta visualización hace que sea más fácil integrar hardware de medidas de cualquier proveedor, representar una lógica compleja en el diagrama, desarrollar algoritmos de análisis de datos y diseñar Interfaces de usuario personalizadas.

LabView 2019 simplifica el diseño de sistemas distribuidos de pruebas, medidas y control disminuyendo su tiempo para llegar al mercado. NI recomienda LabView 2019 para las siguientes áreas de aplicación:

- Diseñar máquinas inteligentes o equipos industriales: los ingenieros pueden desarrollar equipos industriales y máquinas inteligentes más rápido con LabView. La plataforma de diseño embebido de NI combina un conjunto completo de software, hardware perfectamente integrado y personalizado y un ecosistema de usuarios.
- Enseñar a estudiantes de ingeniería: en el aula o el laboratorio, se puede enseñar a estudiantes con sistemas del mundo real, usando LabView para incrementar su grado de descubrimiento, desarrollar soluciones más rápido y mejorar su éxito.

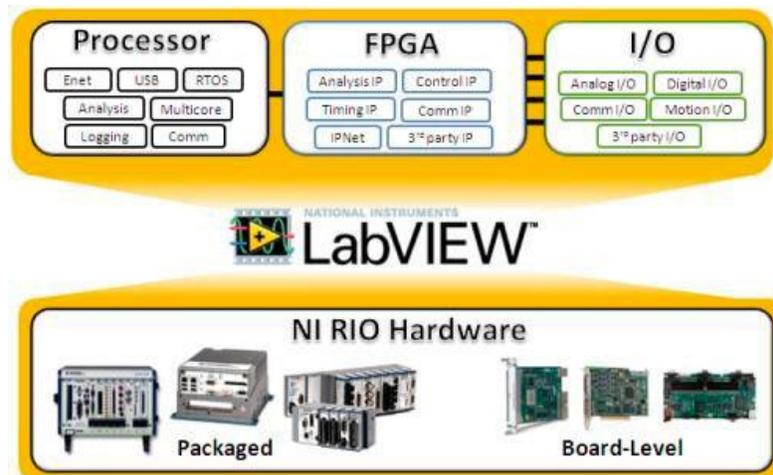


Figura 2-27 LabView

El uso de este software permitió configurar la tarjeta microcontroladora MyRIO, la cual actúa como una tarjeta de adquisición de datos para la recepción de las señales de la estación meteorológica y de localización, permitiendo el procesamiento de señales, actuando como equipo terminal de datos para el control del modem y el envío de datos.

2.3.3. Integración de Componentes y Plataformas

La integración de componentes del prototipo se presenta en la Figura 2-28, la cual se divide en tres partes, así:

- Equipos de la embarcación: comprende los equipos y sensores para la localización y medición de las variables meteorológicas, recepción, procesamiento, control y transmisión de las señales.
- Central de Monitoreo: comprende la recepción de la señal y su posterior demodulación a través del modem Harris, para ser clasificada, almacenada y compartida a las unidades de control.
- Unidades de Control: visualiza y descarga los archivos compartidos desde la central de monitoreo, con el fin de ejercer control y vigilancia a través de las unidades de Guardacostas de la Armada Nacional y supervisar las variables

meteorológicas creando bases de datos que permitan conocer el comportamiento meteorológico de los escenarios de pruebas.

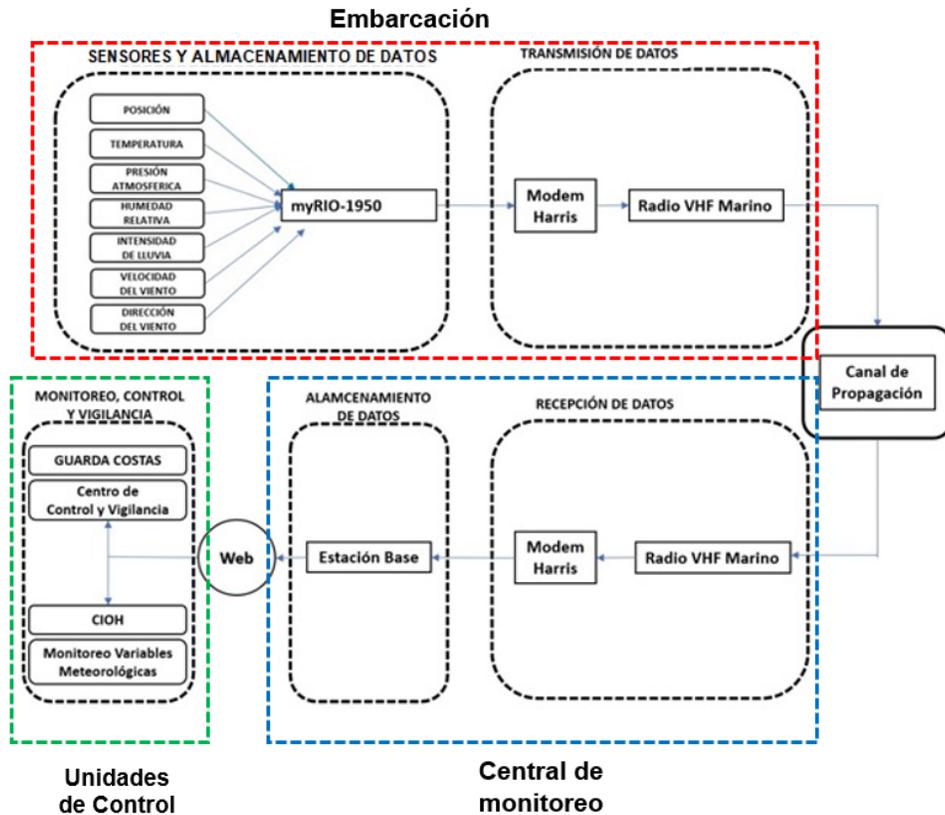


Figura 2-28 Esquema de bloques del sistema

2.3.3.1. Equipos de la embarcación

Para el desarrollo del prototipo de monitoreo de la embarcación se usaron sensores de presión, humedad, intensidad de lluvia, velocidad del viento y dirección, temperatura y GPS, como se presenta en la Figura 2-29. Cada uno de estos fue acondicionado acorde a su formato y protocolo de comunicación mediante la tarjeta de desarrollo de la NI MyRIO 1950. Esta tarjeta posee entradas analógicas y digitales las cuales fueron usadas para integrar y centralizar la información del prototipo desarrollado, usando comunicación serial y el puerto USB para la comunicación con el modem (haciendo uso de un adaptador USB a RS232), así mismo se desplego una interfaz de usuario (desarrollada en LabView) con la información recibida, para finalmente ser transmitida vía RF mediante el uso de un radio VHF Marino.

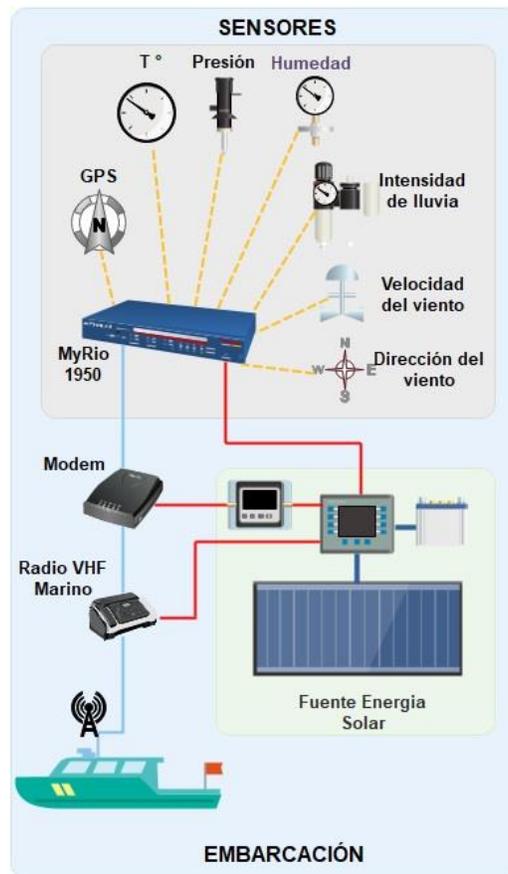


Figura 2-29 Equipos a bordo de la embarcación

LabView permite la configuración de la tarjeta MyRIO 1950, la cual hace parte de los equipos de la embarcación o equipo móvil. El programa está dividido en tres fases:

- Fase de adquisición.
- Fase de visualización y almacenamiento.
- Fase de transmisión.

Fase de Adquisición:

Para el proceso de adquisición y centralización de información proveniente de los sensores de las variables de la estación meteorológica (ver Figura 2-30) se hace uso de la tarjeta MyRIO 1950. La Figura 2-31 muestra las conexiones entre los sensores y la tarjeta MyRIO. La Figura 2-32 muestra los componentes de la estación meteorológica.

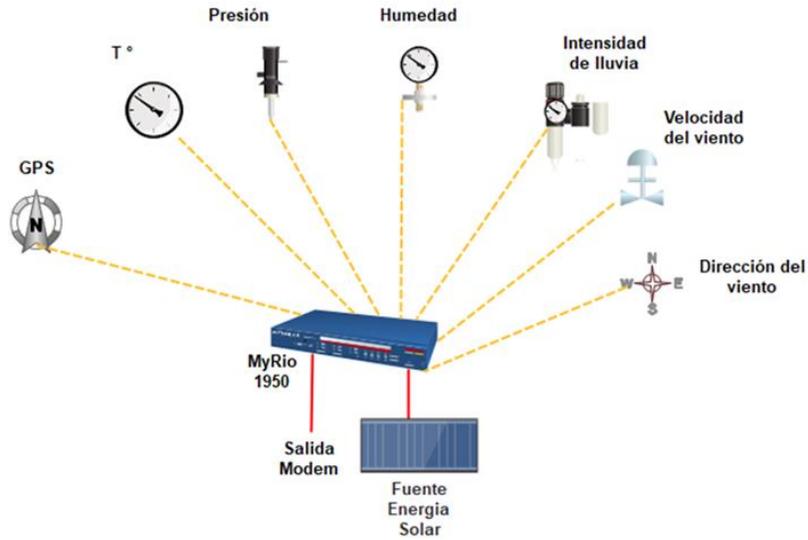


Figura 2-30 Esquema de captación de señales desde los sensores de variables meteorológicas y de posición.

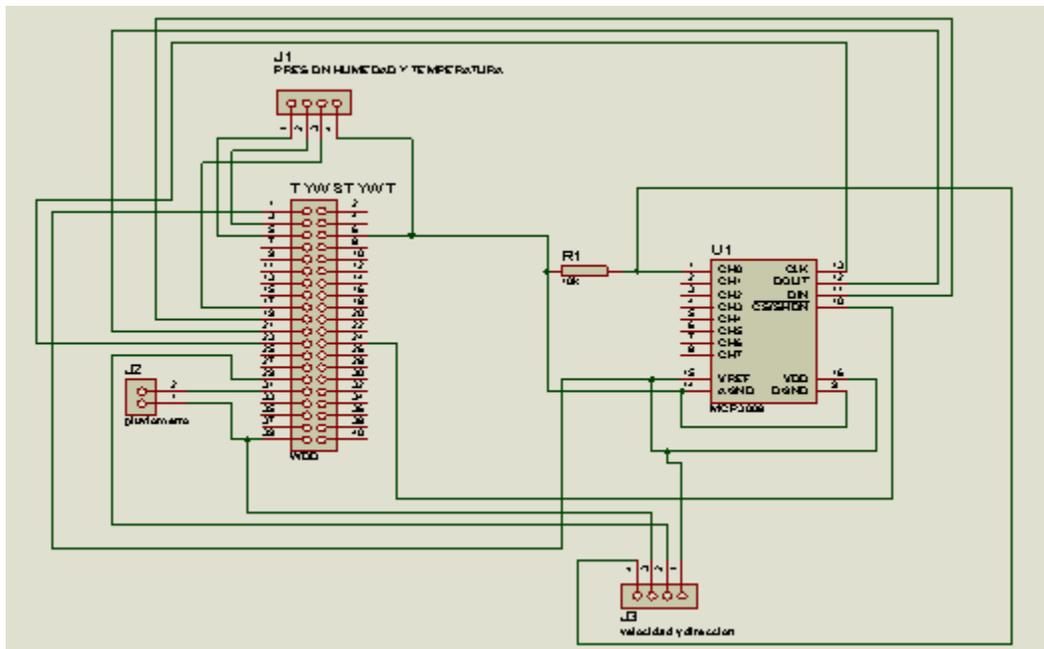


Figura 2-31 Conector puente entre la tarjeta MyRIO y los sensores

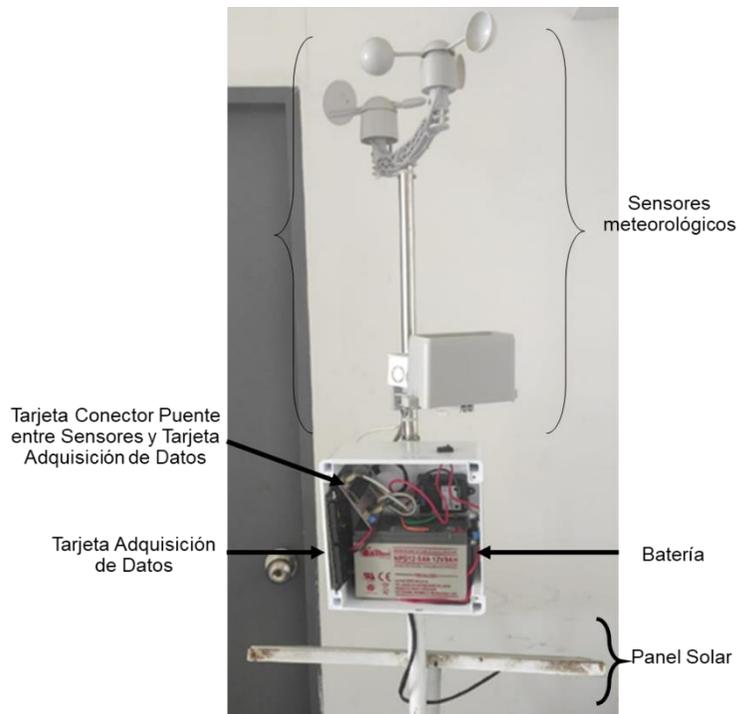


Figura 2-32 Componentes estación meteorológica portátil

En la implementación del software desarrollado en LabView se crea un Execute Nodo para FPGA en el proyecto, que permite leer los valores que están presentes en las entradas de la MyRIO puertos A10-A11-A12-A13-A00-A01 como se muestra en la Figura 2-33.

En la Figura 2-34 se observa los puertos de entrada etiquetados como Connector, donde se reciben los datos mediante el Execute Nodo e ingresan a los nodos de división, de multiplicación y comparación para su acondicionamiento; posteriormente, se concatenan para la creación de la trama de envío (TRAMA R), su almacenamiento y visualización en la interfaz de LabView.

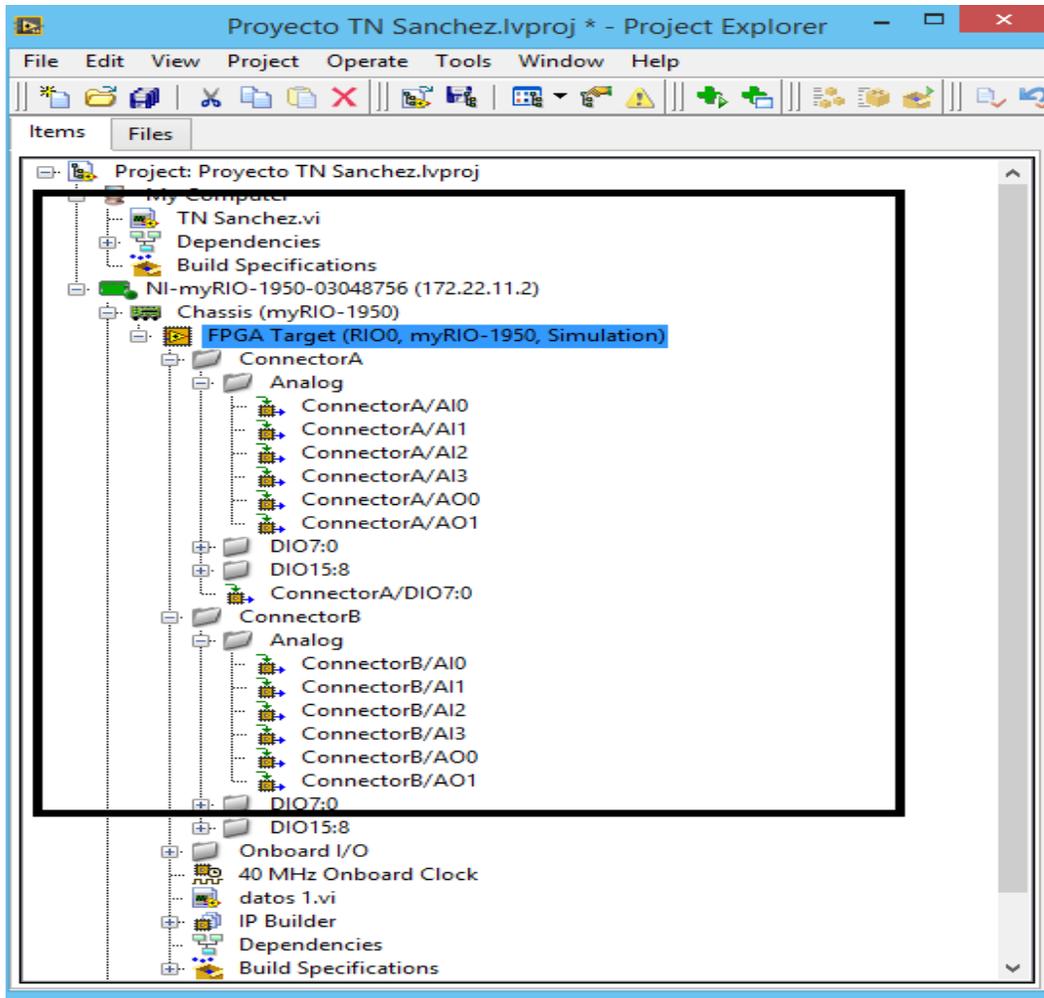


Figura 2-33 Configuración puertos de entrada

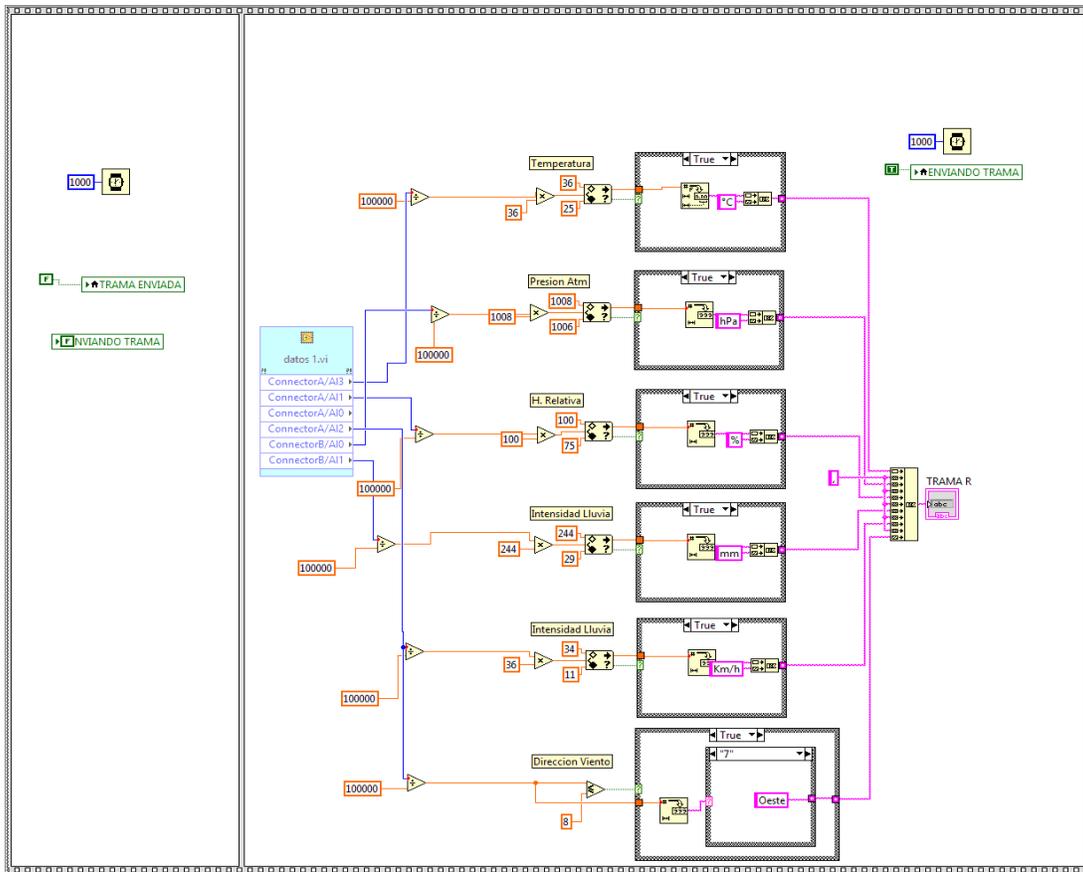


Figura 2-34 Nodos de división

Fase de Visualización y Almacenamiento

En esta fase mediante los bloques New Report VI y Excel Get Worksheet VI se crea la base de datos en Excel de cada una de las tramas generadas por el programa, a su vez se despliega la información de los valores medidos en tiempo real con el uso de la función Search/Split String, la cual permite tomar un segmento específico de la trama a ser enviada, para visualizar los respectivos valores de las variables de presión, humedad, intensidad de lluvia, velocidad del viento y dirección, temperatura y GPS. Finalmente, se desarrolla la interfaz de usuario para la simulación del envío de la trama de datos como se muestra en la Figura 2-35.

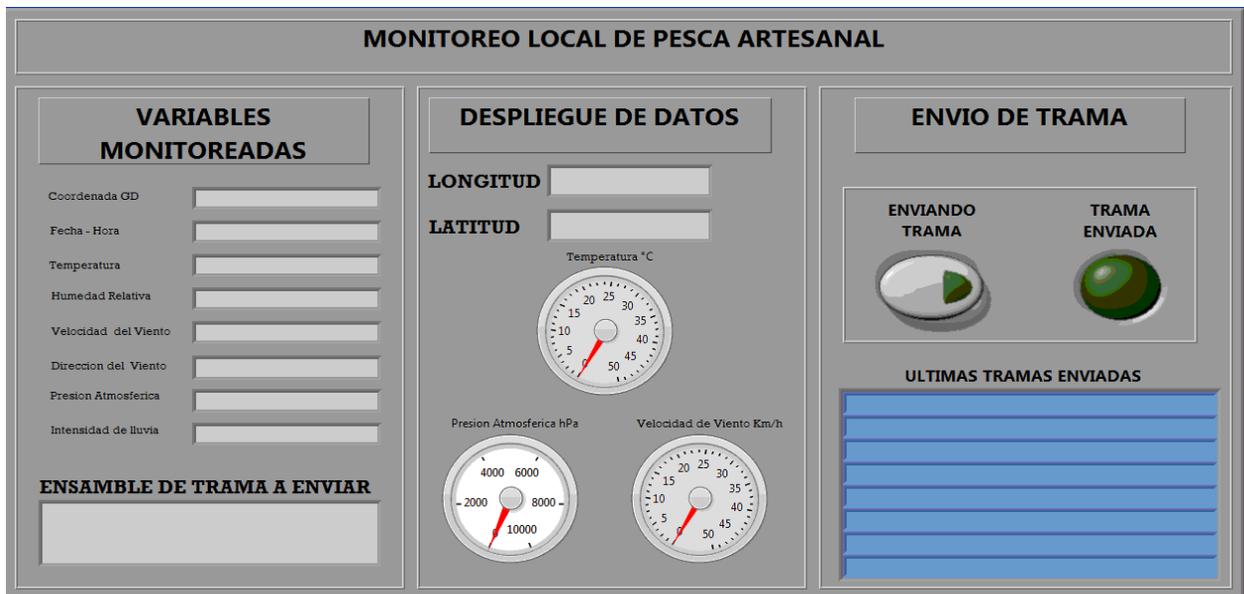


Figura 2-35 Interfaz de usuario

Fase de transmisión

En esta fase, mediante el uso de los nodos VISA Configure Serial Port VI y las funciones VISA Write and Read, se establece comunicación con el modem a una velocidad de 2400 baudios, con el fin de transmitir en un intervalo de tiempo, la trama ensamblada con la información de las variables meteorológicas monitoreadas; con el objetivo de ser enviadas vía VHF a la estación base de monitoreo.

2.3.3.2. Estación base

El programa está dividido en tres fases:

- Fase de programación de estación base.
- Fase de recepción de información del modem.
- Fase de visualización y almacenamiento.

Fase de Programación de Estación Base.

Para el desarrollo de este bloque se usó un radio VHF, un modem y un computador (ver Figura 2-36), el cual despliega la interfaz gráfica de usuario desarrollada en LabView.



Figura 2-36 Diagrama de diseño de la estación base

El diagrama general del software desarrollado consta de dos módulos interconectado como se muestra en la

Figura 2-37, uno de recepción y otro de almacenamiento y visualización.



Figura 2-37 Diagrama general del software de la estación base

Fase de Recepción de Información del Modem

En esta fase mediante el uso de los nodos VISA Configure Serial Port VI y las funciones VISA Write and Read, se establece comunicación con el modem a una velocidad de 2400 baudios con el fin de recibir en un intervalo de tiempo establecido la trama enviada por la embarcación con la información de las variables meteorológicas monitoreadas, con el objetivo de ser visualizadas en la estación base, y almacenadas para su análisis y procesamiento.

Fase de Visualización y Almacenamiento

En esta fase mediante los bloques New Report VI y Excel Get Worksheet VI se crea la base de datos en Excel de cada una de las tramas recibidas por el modem vía comunicación serial, a su vez se despliega la información de los valores recibidos con el uso de la función Search/Split String que permite tomar una segmento

especifico de la trama para visualizar en los respectivos indicadores las variables meteorológicas de presión, humedad, intensidad de lluvia, velocidad del viento y dirección, temperatura y GPS. Se desarrolla la interfaz de usuario para la estación base como se muestra en la Figura 2-38.



Figura 2-38 Interfaz de usuario estación base

2.3.3.3. Monitoreo, control y vigilancia

Las unidades de la Armada Nacional como son Guardacostas (control y vigilancia de las áreas marítimas) y el CIOH (monitoreo de las variables meteorológicas) (ver Figura 2-39), tendrán acceso a la información mediante servidor de intranet institucional, el cual dispondrá de la información en tiempo real de seguimiento de la embarcación monitoreada o las bases de datos con información de recorridos en fechas anteriores, así mismo, se dispone de la base de datos con la información de la estación meteorológica que permitirá el estudio del comportamiento meteorológico de las zonas de influencia de pesca artesanal.



Figura 2-39 Monitoreo, control y vigilancia

Con la información disponible para las unidades de la Armada de Colombia, cualquier unidad a nivel Nacional tendrá acceso a conocer el comportamiento meteorológico de las áreas donde frecuentemente se realizan faenas de pesca de manera artesanal y así predecir fenómenos atmosféricos. La Figura 2-40 muestra las sedes de las unidades de control a nivel nacional para el monitoreo meteorológico de las diferentes zonas del Caribe y Pacífico colombiano.

La Figura 2-41 muestra la trayectoria de una unidad de la Armada Nacional entre la Base Naval y la Estación Naval de Tierrabomba (ESNTB), en una prueba con el fin de recopilar datos de localización (8 muestras) desde una embarcación y su comparación con los datos obtenidos por el prototipo durante el plan de pruebas.



Figura 2-40 Sedes de CIOH a nivel nacional





Figura 2-41 Trayectoria unidad tipo BDA hacia la ESNTB

Así mismo, se recopiló información de la página web del CIOH de datos meteorológicos de la bahía de Cartagena, con el fin de correlacionar la información, determinando la confiabilidad de los datos medidos con el prototipo de la estación meteorológica y obteniendo un resultado gráfico del comportamiento de las variables medidas con el prototipo y corroboradas con la información del CIOH (ver Figura 2-42 y Figura 2-43).

CIOH Oceanografía Operacional
 CENTRO DE INVESTIGACIONES OCEANOGRÁFICAS E HIDROGRÁFICAS

Martes 03 de Agosto de 2021 03:54pm.

MENU PRINCIPAL

Tiempo

- Observaciones:
 - Meteorológicas
 - Oleaje
 - Imágenes de Satélite
- Pronósticos a 24h:
 - Costa Caribe:
 - Altamar
 - Principales Puertos
 - Fenómenos Adversos
 - Pronósticos Extendidos:
 - Meteorología Caribe
 - Meteorología Caratena

Observaciones Meteorológicas
 Coveñas | Turbo | Providencia | Cartagena || Barranquilla | Santa Marta | Isla Naval || Puerto Estrella | Puerto Veleiro | San Andrés Isla |

Cartagena

Temperatura	°C
Humedad	%
Presión	mb
Dirección del Viento	grados
Precipitación	mm
Velocidad del Viento	nudos

Error seleccionando la base de datos.

Figura 2-42 Información de variables meteorológicas suministradas por CIOH

Presión atmosférica, temperatura del aire, acumulado de precipitación y humedad relativa.

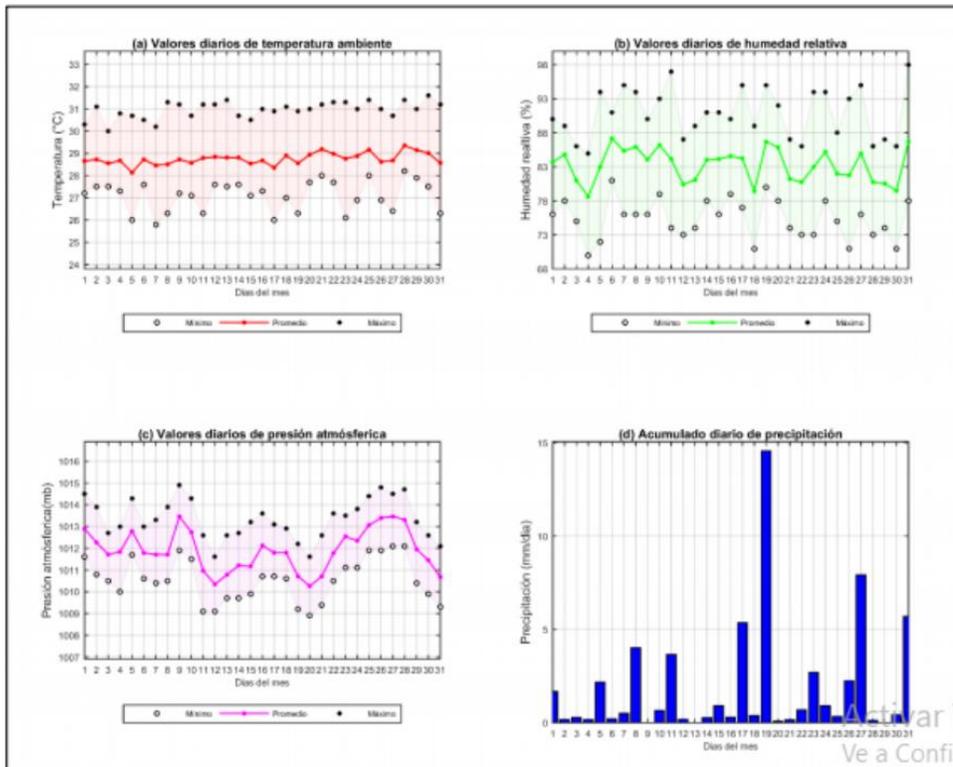


Figura 2-43 Comportamiento de variables meteorológicas

3. PRUEBAS DE EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO

3.1. DEFINICIÓN DEL ESCENARIO DE PRUEBAS

El escenario de pruebas se estableció en la bahía interna de Cartagena, por disponibilidad de los equipos para el desarrollo del prototipo y disposición de una embarcación para la ejecución del plan de pruebas.

3.2. SIMULACIÓN

En esta Sección se presentan resultados de simulación de cobertura y de enlaces radioeléctricos considerando el escenario de prueba, resultados que pueden compararse con los reportes del prototipo que permiten estimar el alcance del mismo.

3.2.1. Radio Mobile

Radio Mobile es un software de libre distribución para el cálculo de radio enlaces de larga distancia en terreno irregular y estimación de cobertura de sistemas de RF. La Figura 3-1 muestra la Interfaz de usuario inicial del programa. Para cumplir su función utiliza perfiles geográficos combinados con la información de los equipos (potencia de transmisión, sensibilidad del receptor, características de las antenas, pérdidas, etc.). Este software implementa el modelo de pérdidas de propagación de Longley-Rice, el cual es un modelo de predicción troposférica para transmisión radio sobre terreno irregular en enlaces de largo-medio alcance, además de contar con múltiples utilidades de apoyo al diseño y simulación de los enlaces y redes de comunicaciones inalámbricas.

Los parámetros a considerar en las simulaciones permiten modelar los equipos de RF del prototipo funcional. Radio Mobile utiliza para la evaluación de los enlaces, el perfil geográfico de las zonas de trabajo. La obtención de estos mapas puede realizarse directamente desde una opción del software que permite descargarlos de Internet. Hay tres tipos de mapas disponibles: los SRTM, los GTOPO30 y los DTED [16].

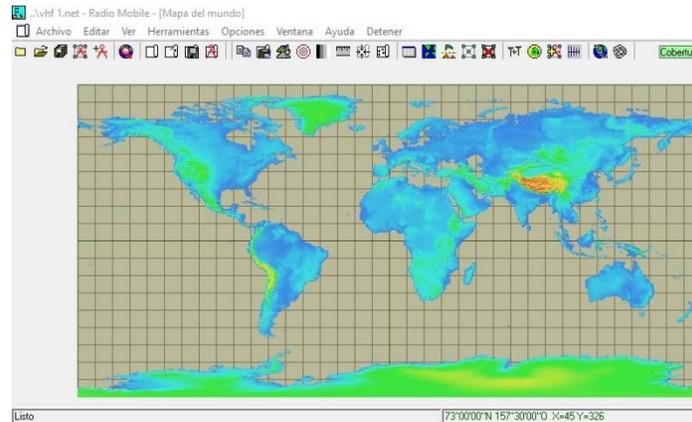


Figura 3-1 Programa Radio Mobile

Se usó el software de Radio Mobile con el fin de verificar el área de cobertura o alcance de un radio VHF en los escenarios de pruebas, como lo fue al interior de la bahía de Cartagena (Figura 3-2 y Figura 3-3), para lo cual se tomaron dos puntos de referencia, los cuales permitan visualizar el alcance del sistema de comunicación. Tomando como referencia la ESNTB, las alturas de las antenas de los equipos de estación base y móvil igual a 2 metros, potencia de transmisión de 25W, sensibilidad igual a -98 dBm, ganancias de antena de 30 dBi, radios VHF marinos, y los obstáculos presentes en la zona (Ver Figura 3-4).

Los resultados permiten visualizar un alcance aproximado de 7 km, considerando los obstáculos de línea de vista de la zona y edificios residenciales.

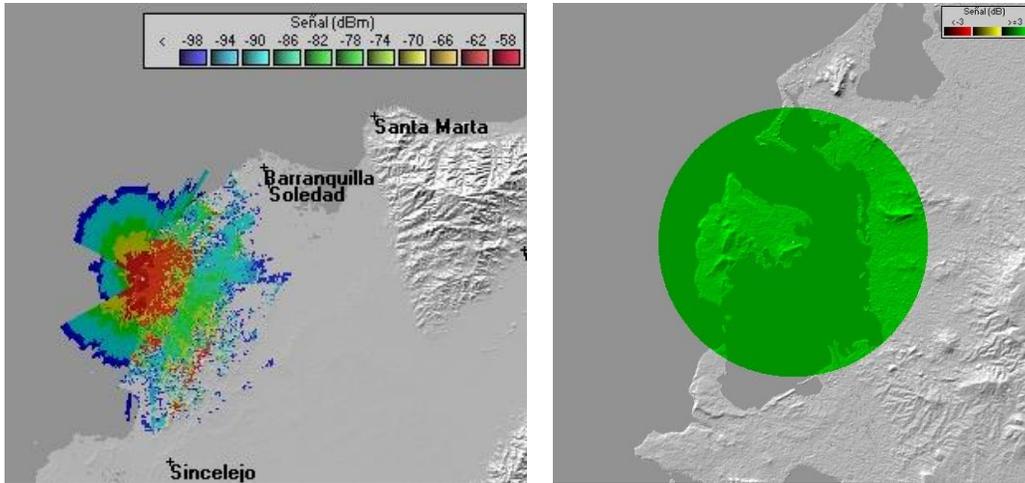


Figura 3-2 Simulación cobertura radio sistema VHF Marino



Figura 3-3 Radio enlace entre la Base Naval ARC "Bolívar" y ESNTB

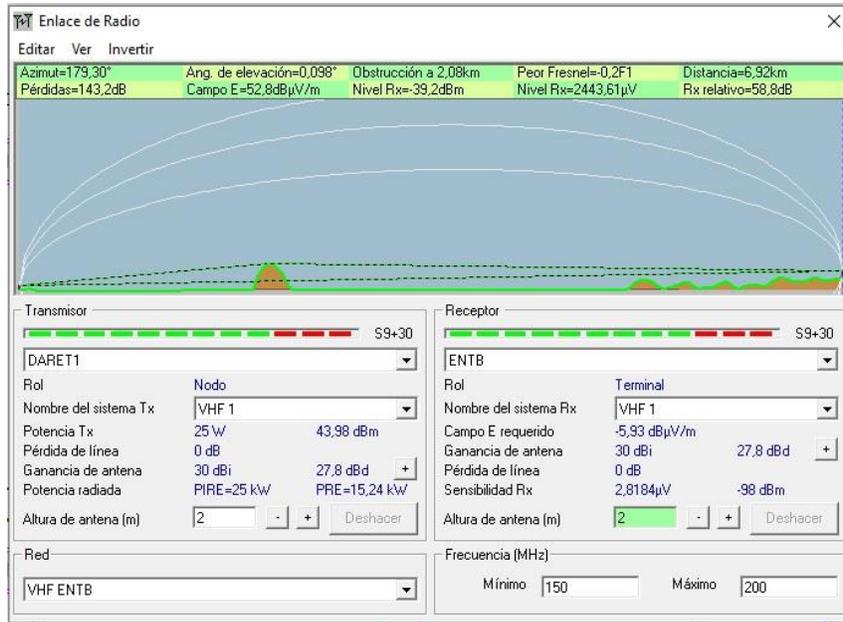


Figura 3-4 Zona Fresnel del Radio enlace entre la DARET1 y ENTB

3.3. PLAN DE PRUEBAS Y EJECUCIÓN

El plan de pruebas que se propone tiene tres etapas:

- Pruebas de verificación funcional de la interfaz.
- Prueba de transmisión punto a punto entre módems.
- Pruebas de transmisión desde la pequeña embarcación al centro de control.

3.3.1. Pruebas de Verificación Funcional de la Interfaz

La interfaz de usuario para la estación base de monitoreo de embarcaciones se desarrolló en LabView.

Para el desarrollo de esta prueba se creó una base de datos como se muestra en la Tabla 3-1, la cual consta de 7 ítems o valores fijos que componen la trama de datos a transmitir compuesta por las variables meteorológicas del prototipo funcional. Estas tramas son visualizadas por el aplicativo cada vez que se activa el despliegue de información.

#	T°	hPa	H	Intensidad de lluvia	Velocidad del viento	Dir. del Viento	Latitud	Longitud	Fecha - Hora
1	31,23	1006,2hPa	80%	232mm	16Km/h	Norte	10° 33' 9" N	076° 04' 13" E	25/08/2022 2:27PM
2	31,24	1006,2hPa	80%	232mm	16Km/h	Norte	10° 33' 19" N	076° 04' 14" E	25/08/2022 2:30PM
3	31,25	1006,2hPa	80%	232mm	16Km/h	Norte	10° 33' 30" N	076° 04' 15" E	25/08/2022 2:32PM
4	31,26	1006,2hPa	80%	232mm	16Km/h	Norte	10° 33' 56" N	076° 04' 16" E	25/08/2022 2:36PM
5	31,27	1006,2hPa	80%	232mm	16Km/h	Norte	10° 33' 58" N	076° 04' 17" E	25/08/2022 2:40PM
6	31,28	1006,2hPa	80%	232mm	16Km/h	Norte	10° 33' 60" N	076° 04' 18" E	25/08/2022 2:47PM
7	31,29	1006,2hPa	80%	232mm	16Km/h	Norte	10° 33' 99" N	076° 04' 19" E	25/08/2022 2:50PM

Tabla 3-1. Base de datos para simulación de datos transmitidos

El aplicativo desarrollado en LabView como interfaz de usuario gráfica de la estación base se visualiza en la Figura 3-5, así mismo se evidencia la recepción de la información durante la etapa de simulación.



Figura 3-5 Recepción de datos simulados en aplicativo

3.3.2. Prueba de Transmisión Punto a Punto entre Módems

Esta sección define la prueba de transmisión punto a punto con módems Harris conectados físicamente entre si mediante un cable de comunicación DB25. La prueba válida la recepción de la información en la interfaz gráfica de usuario de la estación base, al establecer un enlace punto a punto entre los módems Harris, los

cuales serán instalados en la embarcación a monitorear y en la estación base, cuya comunicación en el prototipo funcional será mediada por los radios VHF marino. La información a transmitir se toma de una base de datos previamente establecida para la prueba, simulando las tramas a ser enviada por la estación meteorológica de la unidad móvil. Para ello, se usa la base de datos que se presenta en la Tabla 3-2, la cual registra las tramas a ser recibidas por la estación base simulada.

#	T°	hPa	H	Intensidad de lluvia	Velocidad del viento	Dir. del viento	Lat	Long	Fecha - Hora
1	31,23	1006,2hPa	80%	232mm	16Km/h	Norte	10° 33' 9" N	076° 04' 13" E	25/08/2022 2:27PM
2	31,24	1006,2hPa	80%	232mm	16Km/h	Norte	10° 33' 19" N	076° 04' 14" E	25/08/2022 2:30PM
3	31,25	1006,2hPa	80%	232mm	16Km/h	Norte	10° 33' 30" N	076° 04' 15" E	25/08/2022 2:32PM
4	31,26	1006,2hPa	80%	232mm	16Km/h	Norte	10° 33' 56" N	076° 04' 16" E	25/08/2022 2:36PM
5	31,27	1006,2hPa	80%	232mm	16Km/h	Norte	10° 33' 58" N	076° 04' 17" E	25/08/2022 2:40PM
6	31,28	1006,2hPa	80%	232mm	16Km/h	Norte	10° 33' 60" N	076° 04' 18" E	25/08/2022 2:47PM
7	31,29	1006,2hPa	80%	232mm	16Km/h	Norte	10° 33' 99" N	076° 04' 19" E	25/08/2022 2:50PM

Tabla 3-2. Base de datos para simulación de datos transmitidos

La Figura 3-6 presenta una imagen de la prueba realizada entre dos equipos de cómputo, cada uno conectado a su respectivo modem Harris y estos conectados directamente entre sí, simulando la estación base y la embarcación de pesca artesanal. En el montaje desarrollado para la conexión punto a punto, se simuló la unidad pesquera mediante el desarrollo de un aplicativo y la información recibida por la estación base se presentó en otro aplicativo.

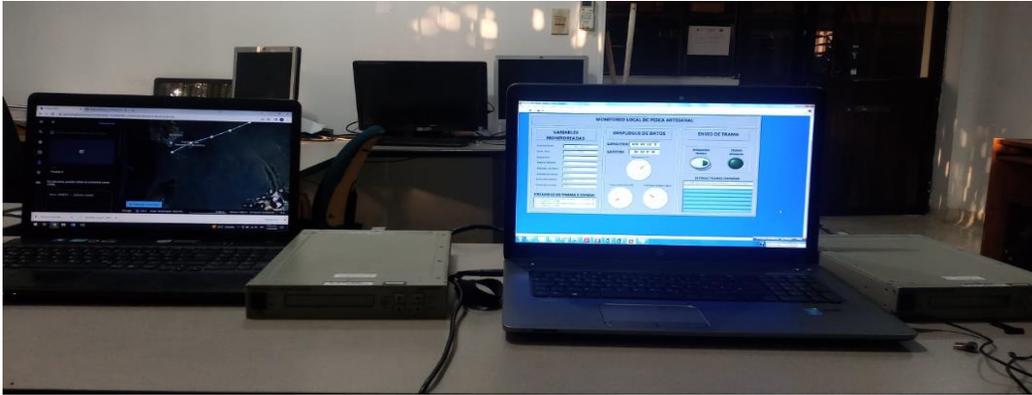


Figura 3-6 Conexión punto a punto mediante modem

3.3.3. Pruebas de Transmisión desde la Embarcación al Centro de Control

Esta prueba se relaciona con la transmisión en tiempo real de los datos adquiridos de la estación meteorológica de la embarcación a monitorear vía radio VHF marino a la estación base, y posteriormente al centro de control.



Figura 3-7 Embarcación de la Armada Nacional ARC "Kraken"



Figura 3-8 Pruebas Bahía Cartagena

La prueba válida la recepción de la información de la estación meteorológica en el centro de control, a través de los radios VHF marinos y los módems Harris. Para esta prueba se empleó una lancha propiedad de la Armada Nacional para realizar pruebas al interior de la Bahía de Cartagena como se aprecia en la Figura 3-7 y Figura 3-8. Esta prueba registró, la información adquirida por la estación meteorológica instalada en la embarcación y transmitida vía VHF a la estación base, en el centro de control. La ruta marítima se registró mediante el aplicativo Google Earth, considerando el punto de zarpe la Base Naval ARC “Bolívar” y el punto de atraque la ESNTB, como se presenta en la Figura 3-9.

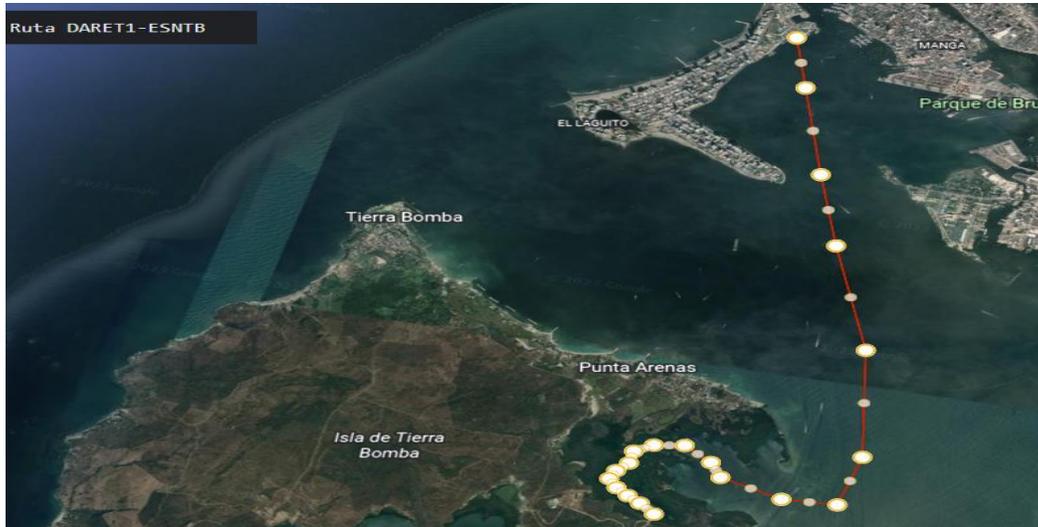


Figura 3-9 Ruta BN1 a ENTB mediante Google Earth

La información fue recibida en la estación base mediante el uso del radio VHF marino y el modem Harris, este último conectado a un computador portátil, en el cual estaba el aplicativo desarrollado con su interfaz de usuario, tal como se presenta en la Figura 3-10.

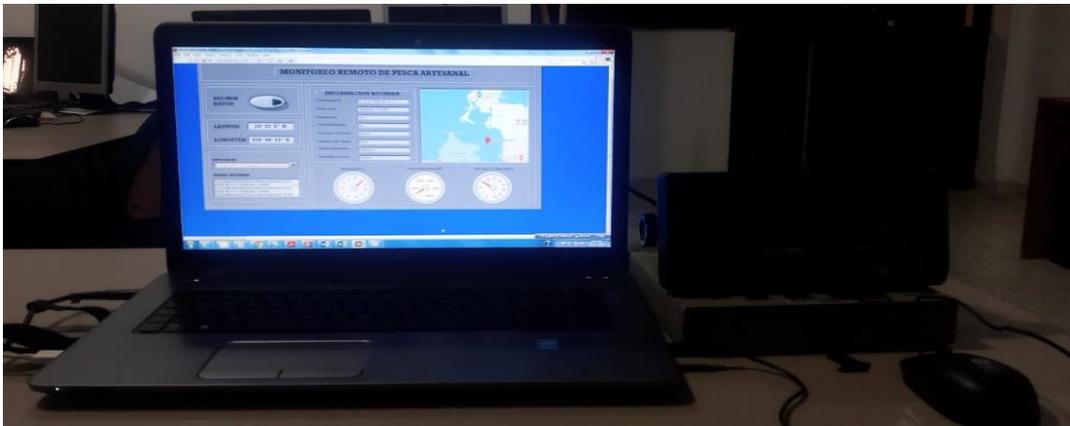


Figura 3-10 Interfaz gráfica de usuario

La información recibida que corresponde a los valores en tiempo real adquiridos por la estación meteorológica, fueron desplegados y almacenados en una base de datos, tal como se presenta en la Tabla 3-3.

#	Fecha	Tiempo	Long	Lat	T°	hPa	H	Int Lluvia	Vel Viento	Dir Viento	Código ha recibido
1	14/01/2023	07:22:31R	10°23,7380'N	075°32,6826'W	31	1006	62	0	36	N	*- 14/01/2023;07:22:31R;10°23,7380'N;075°32,6826'W;31;1006;62;0;36;N-*
2	14/01/2023	07:24:22R	10°23,5422'N	075°32,6135'W	31	1006	62	0	36	N	*- 14/01/2023;07:24:22R;10°23,5422'N;075°32,6135'W;31;1006;62;0;36;N-*
3	14/01/2023	07:27:08R	10°23,2463'N	075°32,5191'W	31	1006	62	0	36	N	*- 14/01/2023;07:27:08R;10°23,2463'N;075°32,5191'W;31;1006;62;0;36;N-*
4	14/01/2023	07:29:19R	10°23,01900'N	075°32,4505'W	31	1006	62	0	36	N	*- 14/01/2023;07:29:19R;10°23,01900'N;075°32,4505'W;31;1006;62;0;36;N-*
5	14/01/2023	07:32:17R	10°22,7165'N	075°32,3557'W	31	1006	62	0	36	N	*- 14/01/2023;07:32:17R;10°22,7165'N;075°32,3557'W;31;1006;62;0;36;N-*
6	14/01/2023	07:34:23R	10°22,5007'N	075°32,2850'W	31	1006	62	0	36	N	*- 14/01/2023;07:34:23R;10°22,5007'N;075°32,2850'W;31;1006;62;0;36;N-*
7	14/01/2023	07:36:12R	10°22,3559'N	075°32,2289'W	31	1006	62	0	36	N	*- 14/01/2023;07:36:12R;10°22,3559'N;075°32,2289'W;31;1006;62;0;36;N-*
8	14/01/2023	07:38:07R	10°22,1178'N	075°32,1568'W	31	1006	62	0	36	N	*- 14/01/2023;07:38:07R;10°22,1178'N;075°32,1568'W;31;1006;62;0;36;N-*
9	14/01/2023	07:40:13R	10°21,8978'N	075°32,0834'W	31	1006	62	0	36	N	*- 14/01/2023;07:40:13R;10°21,8978'N;075°32,0834'W;31;1006;62;0;36;N-*
10	14/01/2023	07:42:12R	10°21,6942'N	075°32,0143'W	31	1006	62	0	36	N	*- 14/01/2023;07:42:12R;10°21,6942'N;075°32,0143'W;31;1006;62;0;36;N-*
11	14/01/2023	07:44:07R	10°21,5002'N	075°31,9478'W	31	1006	62	0	36	N	*- 14/01/2023;07:44:07R;10°21,5002'N;075°31,9478'W;31;1006;62;0;36;N-*
12	14/01/2023	07:46:12R	10°21,2808'N	075°31,9404'W	31	1006	62	0	36	N	*- 14/01/2023;07:46:12R;10°21,2808'N;075°31,9404'W;31;1006;62;0;36;N-*

13	14/01/2023	07:48:06R	10°21,1506'N	075°31,9478'W	31	1006	62	0	36	N	*- 14/01/2023;07:48:06R;10°21,1506'N;075°31,9478'W;31;1006;62;0;36;N-*
14	14/01/2023	07:50:28R	10°21,0487'N	075°31,9734'W	31	1006	62	0	36	N	*- 14/01/2023;07:50:28R;10°21,0487'N;075°31,9734'W;31;1006;62;0;36;N-*

Tabla 3-3. Datos registrados por la estación base en tiempo real

En la base de datos se efectuó un registró de los datos recibidos, lo cual permitió confirmar la recepción exitosa y el funcionamiento adecuado de la interfaz gráfica de usuario. Para la validación de la recepción y de la interfaz gráfica de usuario se tomó como referencia 15 tramas transmitidas por la embarcación monitoreada como se relaciona en la Tabla. 3-4, con las cuales se verifica la recepción de las tramas en la estación base. Se evaluó el éxito de la prueba al revisar si se presentaba en promedio pérdida o variación en la trama de información, lo cual permitió medir la efectividad de trasmisión en cada una de las pruebas desarrolladas.

Teniendo como referencia la bahía interna de Cartagena como escenario de pruebas, se determinó que el tiempo de transmisión entre tramas no fue constante debido a diferentes factores tales como velocidad de la embarcación y pérdidas de trayecto durante el tiempo de las pruebas, por tal motivo el envío de la trama se efectuó de manera manual; a medida que incrementaba la distancia con la estación base el envío de las tramas se realizaba en tiempos más cortos.

Cabe resaltar que esta configuración se puede programar para que el envío de los datos se realice de manera automática en determinados intervalos de tiempo o de manera manual, incrementando la confiabilidad del prototipo.

Prueba	Trama enviada	Trama recibida	Éxito
1	31,23;1006,2hPa;0.8;232mm;16Km/h;Norte;10° 33' 9" N;076° 04' 13" E; 25/08/2022 2:27PM;	31,23;1006,2hPa;0.8;232mm;16Km/h;Norte;10° 33' 9" N;076° 04' 13" E; 25/08/2022 2:27PM;	Si
2	31,23;1006,2hPa;0.8;232mm;16Km/h;Norte;10° 33' 9" N;076° 04' 13" E; 25/08/2022 2:27PM;	31,23;1006,2hPa;0.8;232mm;16Km/h;Norte;10° 33' 9" N;076° 04' 13" E; 25/08/2022 2:27PM;	Si
3	31,24;1006,2hPa;0.8;232mm;16Km/h;Norte;10° 33' 19" N;076° 04' 14" E; 25/08/2022 2:30PM;	31,24;1006,2hPa;0.8;232mm;16Km/h;Norte;10° 33' 19" N;076° 04' 14" E; 25/08/2022 2:30PM;	Si
4	31,25;1006,2hPa;0.8;232mm;16Km/h;Norte;10° 33' 30" N;076° 04' 15" E; 25/08/2022 2:32PM;	31,25;1006,2hPa;0.8;232mm;16Km/h;Norte;10° 33' 30" N;076° 04' 15" E; 25/08/2022 2:32PM;	Si
5	31,26;1006,2hPa;0.8;232mm;16Km/h;Norte;10° 33' 56" N;076° 04' 16" E; 25/08/2022 2:36PM;	31,26;1006,2hPa;0.8;232mm;16Km/h;Norte;10° 33' 56" N;076° 04' 16" E; 25/08/2022 2:36PM;	Si

6	31,27;1006,2hPa;0.8;232mm;16Km/h;Norte;10° 33' 58" N;076° 04' 17" E; 25/08/2022 2:40PM;	31,27;1006,2hPa;0.8;232mm;16Km/h;Norte;10° 33' 58" N;076° 04' 17" E; 25/08/2022 2:40PM;	Si
7	31,28;1006,2hPa;0.8;232mm;16Km/h;Norte;10° 33' 60" N;076° 04' 18" E; 25/08/2022 2:47PM;	31,28;1006,2hPa;0.8;232mm;16Km/h;Norte;10° 33' 60" N;076° 04' 18" E; 25/08/2022 2:47PM;	Si
8	31,29;1006,2hPa;0.8;232mm;16Km/h;Norte;10° 33' 99" N;076° 04' 19" E; 25/08/2022 2:50PM;	31,29;1006,2hPa;0.8;232mm;16Km/h;Norte;10° 33' 99" N;076° 04' 19" E; 25/08/2022 2:50PM;	Si
9	31,23;1006,2hPa;0.8;232mm;16Km/h;Norte;10° 33' 9" N;076° 04' 13" E; 25/08/2022 2:27PM;	31,23;1006,2hPa;0.8;232mm;16Km/h;Norte;10° 33' 9" N;076° 04' 13" E; 25/08/2022 2:27PM;	Si
10	31,23;1006,2hPa;0.8;232mm;16Km/h;Norte;10° 33' 9" N;076° 04' 13" E; 25/08/2022 2:27PM;	31,23;1006,2hPa;0.8;232mm;16Km/h;Norte;10° 33' 9" N;076° 04' 13" E; 25/08/2022 2:27PM;	Si
11	31,24;1006,2hPa;0.8;232mm;16Km/h;Norte;10° 33' 19" N;076° 04' 14" E; 25/08/2022 2:30PM;	31,24;1006,2hPa;0.8;232mm;16Km/h;Norte;10° 33' 19" N;076° 04' 14" E; 25/08/2022 2:30PM;	Si
12	31,25;1006,2hPa;0.8;232mm;16Km/h;Norte;10° 33' 30" N;076° 04' 15" E; 25/08/2022 2:32PM;	31,25;1006,2hPa;0.8;232mm;16Km/h;Norte;10° 33' 30" N;076° 04' 15" E; 25/08/2022 2:32PM;	Si
13	31,26;1006,2hPa;0.8;232mm;16Km/h;Norte;10° 33' 56" N;076° 04' 16" E; 25/08/2022 2:36PM;	31,26;1006,2hPa;0.8;232mm;16Km/h;Norte;10° 33' 56" N;076° 04' 16" E; 25/08/2022 2:36PM;	Si
14	31,27;1006,2hPa;0.8;232mm;16Km/h;Norte;10° 33' 58" N;076° 04' 17" E; 25/08/2022 2:40PM;	31,27;1006,2hPa;0.8;232mm;16Km/h;Norte;10° 33' 58" N;076° 04' 17" E; 25/08/2022 2:40PM;	Si
15	31,28;1006,2hPa;0.8;232mm;16Km/h;Norte;10° 33' 60" N;076° 04' 18" E; 25/08/2022 2:47PM;	31,28;1006,2hPa;0.8;232mm;16Km/h;Norte;10° 33' 60" N;076° 04' 18" E; 25/08/2022 2:47PM;	Si
Desempeño de la transmisión en porcentaje			100%

Tabla 3-4. Evaluación de la transmisión simulación interfaz de usuario.

El resultado presentado en la Tabla 3-4 permitió evidenciar el buen funcionamiento de la interfaz gráfica de usuario y la recepción de la información con éxito de transmisión del 100%.

4. ANALISIS DE RESULTADOS

Se realizó una evaluación del desempeño del prototipo y un posterior análisis del mismo, para ello se definió un escenario de pruebas y un plan de pruebas. Como escenario de pruebas se estableció la Bahía Interna de Cartagena, por la facilidad del uso de una embarcación al momento de realizar las diferentes pruebas, y para evaluar el alcance hasta la estación base, la cual se ubicó en el laboratorio de comunicaciones de la Base Naval ARC “Bolívar”, y se realizó pruebas de campo en rutas distantes con el fin de evaluar el desempeño del prototipo.

Prueba de transmisión en tiempo real con datos adquiridos de la estación meteorológica de la embarcación a monitorear vía VHF

Para esta prueba se evaluó 5 rutas distribuidas por el rango marítimo de navegación turística en Cartagena, teniendo como referencia la demarcación de radios (Figura 4-1) de cobertura cada 5 km acorde al radio VHF marino instalado en la estación base ubicada en la Base Naval ARC “Bolívar”.

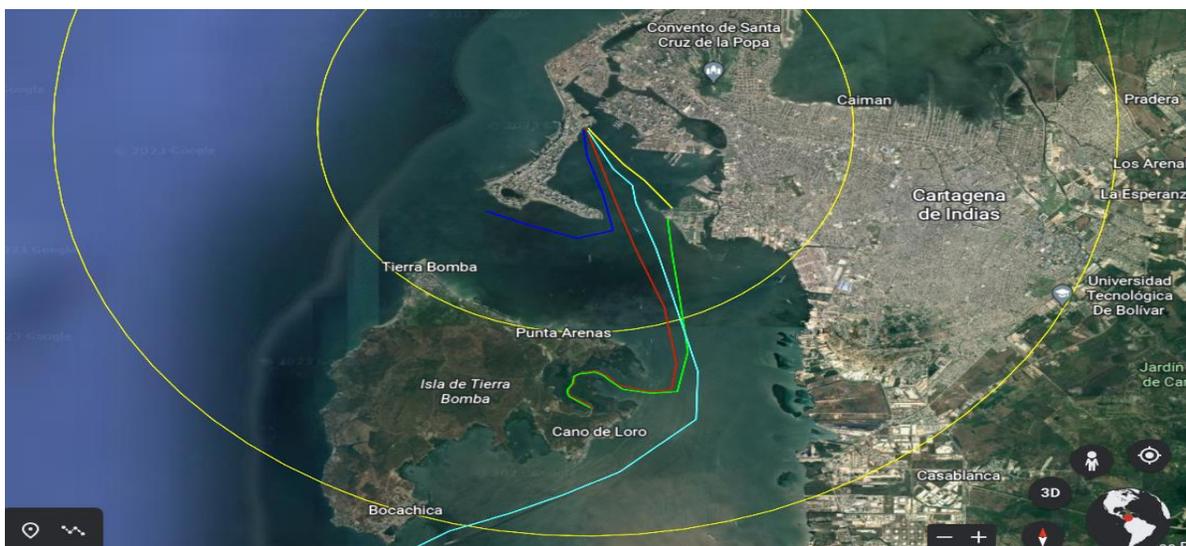


Figura 4-1 Rutas trazadas con radios por cobertura

En la Tabla 4-1 se presentan las características y resultado de desempeño de cada una de las pruebas realizadas registrando transmisión y recepción de 15 muestras en cada una de las diferentes rutas. Para las rutas con radio máximo de cobertura superiores a 7km en que se encuentra el destino se tiene un límite de cobertura de la estación base en VHF. de hasta 10km, mientras que para las inferiores a 2.7 km el límite de cobertura es inferior a 2.7km, lo cual indica que entre más amplio sea el radio máximo de cobertura se incrementa el límite de distancia. También se evidenció que el desempeño de la transmisión es superior al 80% cuando el radio máximo de cobertura es inferior a los 7km, mientras que para la prueba 5 donde el radio máximo de cobertura es de 11km, el desempeño de transmisión disminuye.

#	Ruta	Radio máximo de cobertura en que se encuentra el destino	Registró de los datos almacenados	Desempeño de transmisión	Límite de distancia
1	Base Naval ARC "Bolívar" hasta ESNTB (Figura 4-2)	7 km	Tabla 4.2	80%	10 km
2	Manzanillo hasta ESNTB (Figura 4-3)	7 km	Tabla 4.3	86.67%	10km
3	Base Naval hasta Manzanillo (Figura 4-4)	2.5 km	Tabla 4.4	80%	2.5km
4	Base Naval hasta sector cuatro calles (Figura 4-5)	2.7km	Tabla 4.5	93%	2.7km
5	Base Naval hasta canal de bocachica (Figura 4-6)	11 km	Tabla 4.6	73.33%	10km

Tabla 4-1. Evaluación de la transmisión de rutas distribuidas por el rango marítimo de navegación turística en Cartagena

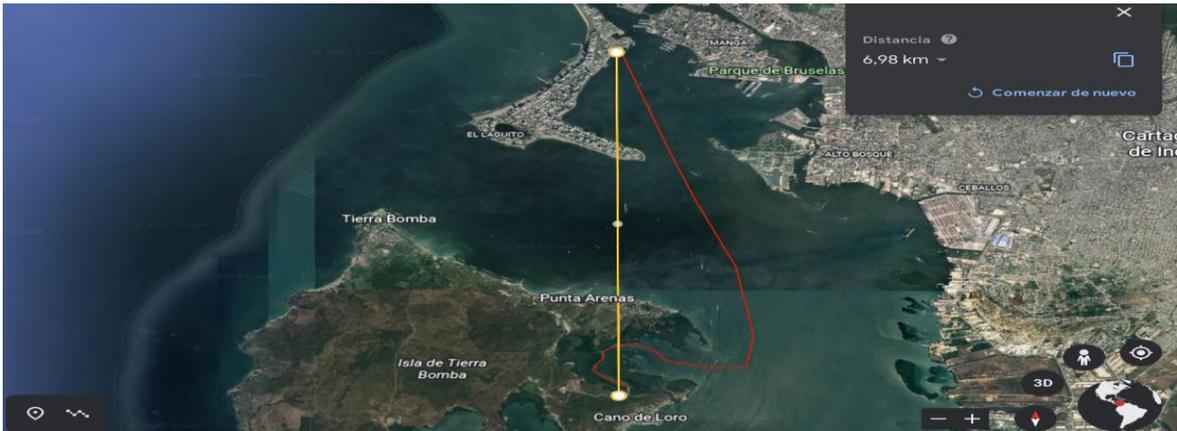


Figura 4-2 Ruta desde la base naval hasta la ENTB

Muestra	Trama enviada	Trama recibida	Éxito
1	*_ 14/01/2023;07:19:24R;10°24,0675'N;075°32 ,8010'W;31;1006;62;0;36;N-*	*_ 14/01/2023;07:19:24R;10°24,0675'N;075°32, 8010'W;31;1006;62;0;36;N-*	Si
2	*_ 14/01/2023;07:22:31R;10°23,7380'N;075°32 ,6826'W;31;1006;62;0;36;N-*	*_ 14/01/2023;07:22:31R;10°23,7380'N;075°32, 6826'W;31;1006;62;0;36;N-*	Si
3	*_ 14/01/2023;07:24:22R;10°23,5422'N;075°32 ,6135'W;31;1006;62;0;36;N-*	*_ 14/01/2023;07:24:22R;10°23,5422'N;075°32, 6135'W;31;1006;62;0;36;N-*	Si
4	*_ 14/01/2023;07:27:08R;10°23,2463'N;075°32 ,5191'W;31;1006;62;0;36;N-*	*_ 14/01/2023;07:27:08R;10°23,2463'N;075°32, 5191'W;31;1006;62;0;36;N-*	Si
5	*_ 14/01/2023;07:29:19R;10°23,01900'N;075°3 2,4505'W;31;1006;62;0;36;N-*	*_ 14/01/2023;07:29:19R;10°23,01900'N;075°32 ,4505'W;31;1006;62;0;36;N-*	Si
6	*_ 14/01/2023;07:32:17R;10°22,7165'N;075°32 ,3557'W;31;1006;62;0;36;N-*	*_ 14/01/2023;07:32:17R;10°22,7165'N;075°32, 3557'W;31;1006;62;0;36;N-*	Si
7	*_ 14/01/2023;07:34:23R;10°22,5007'N;075°32 ,2850'W;31;1006;62;0;36;N-*	*_ 14/01/2023;07:34:23R;10°22,5007'N;075°32, 2850'W;31;1006;62;0;36;N-*	Si
8	*_ 14/01/2023;07:36:12R;10°22,3559'N;075°32 ,2289'W;31;1006;62;0;36;N-*	*_ 14/01/2023;07:36:12R;10°22,3559'N;075°32, 2289'W;31;1006;62;0;36;N-*	Si
9	*_ 14/01/2023;07:38:07R;10°22,1178'N;075°32 ,1568'W;31;1006;62;0;36;N-*	*_ 14/01/2023;07:38:07R;10°22,1178'N;075°32, 1568'W;31;1006;62;0;36;N-*	Si
10	*_ 14/01/2023;07:40:13R;10°21,8978'N;075°32 ,0834'W;31;1006;62;0;36;N-*	Esperando Confirmación	No
11	*_ 14/01/2023;07:42:12R;10°21,6942'N;075°32 ,0143'W;31;1006;62;0;36;N-*	*_ 14/01/2023;07:42:12R;10°21,6942'N;075°32, 0143'W;31;1006;62;0;36;N-*	Si
12	*_ 14/01/2023;07:44:07R;10°21,5002'N;075°31 ,9478'W;31;1006;62;0;36;N-*	*_ 14/01/2023;07:44:07R;10°21,5002'N;075°31, 9478'W;31;1006;62;0;36;N-*	Si
13	*_ 14/01/2023;07:46:12R;10°21,2808'N;075°31 ,9404'W;31;1006;62;0;36;N-*	Esperando Confirmación	No
14	*_ 14/01/2023;07:48:06R;10°21,1506'N;075°31 ,9478'W;31;1006;62;0;36;N-*	Esperando Confirmación	No
15	*_ 14/01/2023;07:48:06R;10°21,1506'N;075°31 ,9478'W;31;1006;62;0;36;N-*	*_ 14/01/2023;07:48:06R;10°21,1506'N;075°31, 9478'W;31;1006;62;0;36;N-*	Si
Desempeño de la trasmisión en porcentaje			80%

Tabla 4-2. Registro de datos almacenados ruta Base Naval hasta ENTB

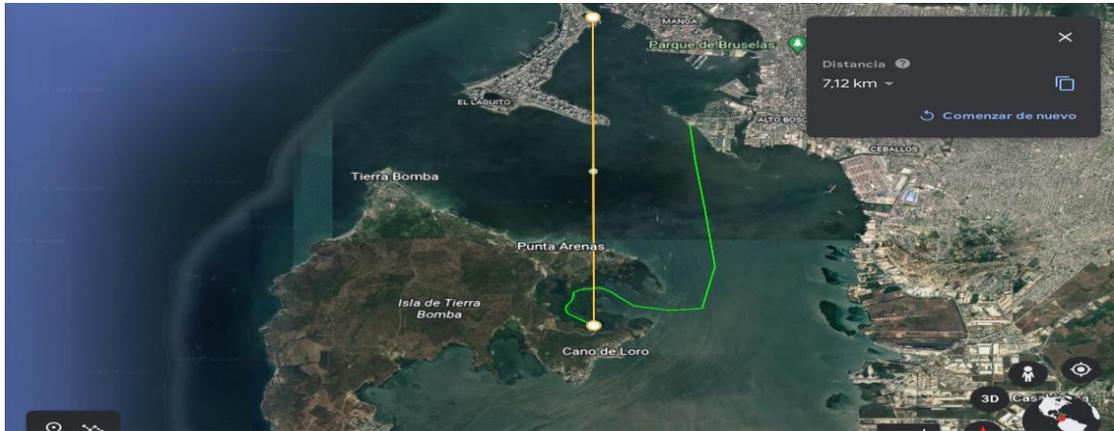


Figura 4-3 Ruta desde Manzanillo hasta ENTB

#	Trama enviada	Trama recibida	Éxito
1	16/01/2023;07:19:24R;10°22,4075'N;075°27,5410'W ;31;1006;62;0;36;N;	16/01/2023;07:19:24R;10°22,4075'N;075°27,5410'W ;31;1006;62;0;36;N;	Si
2	16/01/2023;07:22:31R;10°21,3780'N;075°31,4926'W ;31;1006;62;0;36;N;	16/01/2023;07:22:31R;10°21,3780'N;075°31,4926'W ;31;1006;62;0;36;N;	Si
3	16/01/2023;07:24:22R;10°21,0922'N;075°31,5435'W ;31;1006;62;0;36;N;	16/01/2023;07:24:22R;10°21,0922'N;075°31,5435'W ;31;1006;62;0;36;N;	Si
4	16/01/2023;07:27:08R;10°21,0963'N;075°32,2891'W ;31;1006;62;0;36;N;	16/01/2023;07:27:08R;10°21,0963'N;075°32,2891'W ;31;1006;62;0;36;N;	Si
5	16/01/2023;07:29:19R;10°21,1690'N;075°32,3605'W ;31;1006;62;0;36;N;	16/01/2023;07:29:19R;10°21,1690'N;075°32,3605'W ;31;1006;62;0;36;N;	Si
6	16/01/2023;07:32:17R;10°21,2265'N;075°32,4357'W ;31;1006;62;0;36;N;	16/01/2023;07:32:17R;10°21,2265'N;075°32,4357'W ;31;1006;62;0;36;N;	Si
7	16/01/2023;07:34:23R;10°21,2307'N;075°32,4650'W ;31;1006;62;0;36;N;	16/01/2023;07:34:23R;10°21,2307'N;075°32,4650'W ;31;1006;62;0;36;N;	Si
8	16/01/2023;07:36:12R;10°21,2259'N;075°32,5189'W ;31;1006;62;0;36;N;	16/01/2023;07:36:12R;10°21,2259'N;075°32,5189'W ;31;1006;62;0;36;N;	Si
9	16/01/2023;07:38:07R;10°21,1978'N;075°32,5968'W ;31;1006;62;0;36;N;	Esperando confirmación	No
10	16/01/2023;07:40:13R;10°21,1378'N;075°33,0034'W ;31;1006;62;0;36;N;	16/01/2023;07:40:13R;10°21,1378'N;075°33,0034'W ;31;1006;62;0;36;N;	Si
11	16/01/2023;07:42:12R;10°21,0742'N;075°33,0343'W ;31;1006;62;0;36;N;	16/01/2023;07:42:12R;10°21,0742'N;075°33,0343'W ;31;1006;62;0;36;N;	Si
12	16/01/2023;07:44:07R;10°20,5402'N;075°32,4878'W ;31;1006;62;0;36;N;	Esperando confirmación	No
13	16/01/2023;07:44:07R;10°20,5402'N;075°32,4878'W ;31;1006;62;0;36;N;	16/01/2023;07:44:07R;10°20,5402'N;075°32,4878'W ;31;1006;62;0;36;N;	Si
14	16/01/2023;07:44:07R;10°20,5402'N;075°32,4878'W ;31;1006;62;0;36;N;	16/01/2023;07:44:07R;10°20,5402'N;075°32,4878'W ;31;1006;62;0;36;N;	Si
15	16/01/2023;07:44:07R;10°20,5402'N;075°32,4878'W ;31;1006;62;0;36;N;	16/01/2023;07:44:07R;10°20,5402'N;075°32,4878'W ;31;1006;62;0;36;N;	Si
Desempeño de la transmisión en porcentaje			86%

Tabla 4-3 Registro de datos almacenados ruta Manzanillo hasta ENTB

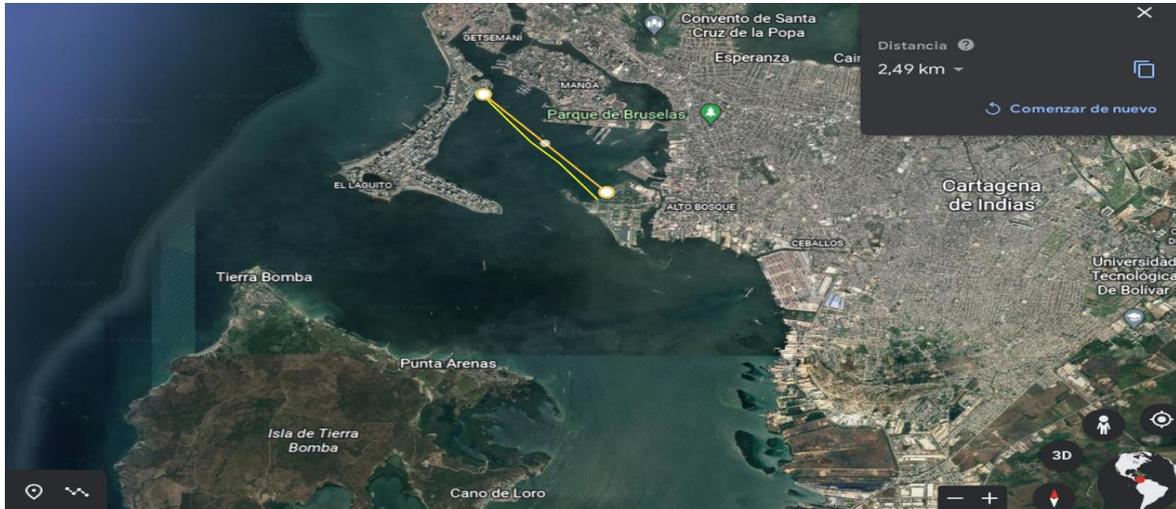


Figura 4-4 Ruta desde la base naval hasta Manzanillo

#	Trama enviada	Trama recibida	Éxito
1	19/01/2023,07:19:24R,10°24,3675'N,075°32,5510'W,31,1006,62,0,36,N,	19/01/2023,07:19:24R,10°24,3675'N,075°32,5510'W,31,1006,62,0,36,N,	Si
2	19/01/2024,07:22:31R,10°24,1580'N,075°32,4826'W,31,1006,62,0,36,N,	19/01/2024,07:22:31R,10°24,1580'N,075°32,4826'W,31,1006,62,0,36,N,	Si
3	19/01/2025,07:24:22R,10°24,5922'N,075°32,4535'W,31,1006,62,0,36,N,	19/01/2025,07:24:22R,10°24,5922'N,075°32,4535'W,31,1006,62,0,36,N,	Si
4	19/01/2026,07:27:08R,10°24,2663'N,075°32,4191'W,31,1006,62,0,36,N,	19/01/2026,07:27:08R,10°24,2663'N,075°32,4191'W,31,1006,62,0,36,N,	Si
5	19/01/2027,07:29:19R,10°24,2090'N,075°32,3705'W,31,1006,62,0,36,N,	19/01/2027,07:29:19R,10°24,2090'N,075°32,3705'W,31,1006,62,0,36,N,	Si
6	19/01/2028,07:32:17R,10°24,1565'N,075°32,3257'W,31,1006,62,0,36,N,	19/01/2028,07:32:17R,10°24,1565'N,075°32,3257'W,31,1006,62,0,36,N,	Si
7	19/01/2029,07:34:23R,10°24,0807'N,075°32,2750'W,31,1006,62,0,36,N,	19/01/2029,07:34:23R,10°24,0807'N,075°32,2750'W,31,1006,62,0,36,N,	Si
8	19/01/2030,07:36:12R,10°24,0359'N,075°32,2189'W,31,1006,62,0,36,N,	19/01/2030,07:36:12R,10°24,0359'N,075°32,2189'W,31,1006,62,0,36,N,	Si
9	19/01/2031,07:38:07R,10°23,5678'N,075°32,1768'W,31,1006,62,0,36,N,	19/01/2031,07:38:07R,10°23,5678'N,075°32,1768'W,31,1006,62,0,36,N,	Si
10	19/01/2032,07:40:13R,10°23,5070'N,075°32,1034'W,31,1006,62,0,36,N,	19/01/2032,07:40:13R,10°23,5070'N,075°32,1034'W,31,1006,62,0,36,N,	Si
11	19/01/2033,07:42:12R,10°23,4442'N,075°32,0543'W,31,1006,62,0,36,N,	19/01/2033,07:42:12R,10°23,4442'N,075°32,0543'W,31,1006,62,0,36,N,	Si
12	19/01/2034,07:44:07R,10°23,3902'N,075°32,0278'W,31,1006,62,0,36,N,	19/01/2034,07:44:07R,10°23,3902'N,075°32,0278'W,31,1006,62,0,36,N,	Si
13	19/01/2035,07:44:07R,10°23,3902'N,075°32,0278'W,31,1006,62,0,36,N,	19/01/2035,07:44:07R,10°23,3902'N,075°32,0278'W,31,1006,62,0,36,N,	Si
14	19/01/2036,07:44:07R,10°23,3902'N,075°32,0278'W,31,1006,62,0,36,N,	19/01/2036,07:44:07R,10°23,3902'N,075°32,0278'W,31,1006,62,0,36,N,	Si
15	19/01/2037,07:44:07R,10°23,3902'N,075°32,0278'W,31,1006,62,0,36,N,	19/01/2037,07:44:07R,10°23,3902'N,075°32,0278'W,31,1006,62,0,36,N,	Si
Desempeño de la trasmisión en porcentaje			100 %

Tabla 4-4. Registro de datos almacenados ruta BN1 hasta ENAP

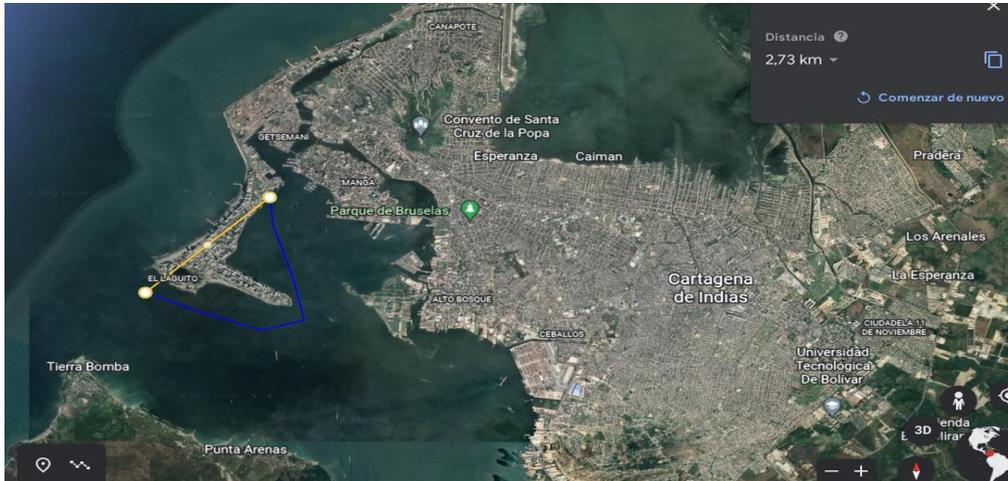


Figura 4-5 Ruta desde la base naval hasta sector Cuatro Calles

#	Trama enviada	Trama recibida	Éxito
1	21/01/2023,07:19:24R,10°24,3675'N,075°32,5210' W,31,1006,62,0,36,N,	21/01/2023,07:19:24R,10°24,3675'N,075°32,5210' W,31,1006,62,0,36,N,	Si
2	21/01/2024,07:22:31R,10°24,15580'N,075°32,5126' W,31,1006,62,0,36,N,	21/01/2024,07:22:31R,10°24,15580'N,075°32,5126' W,31,1006,62,0,36,N,	Si
3	21/01/2025,07:24:22R,10°23,5922'N,075°32,5135' W,31,1006,62,0,36,N,	21/01/2025,07:24:22R,10°23,5922'N,075°32,5135' W,31,1006,62,0,36,N,	Si
4	21/01/2026,07:27:08R,10°23,4563'N,075°32,4591' W,31,1006,62,0,36,N,	21/01/2026,07:27:08R,10°23,4563'N,075°32,4591' W,31,1006,62,0,36,N,	Si
5	21/01/2027,07:29:19R,10°23,3190'N,075°32,4005' W,31,1006,62,0,36,N,	21/01/2027,07:29:19R,10°23,3190'N,075°32,4005' W,31,1006,62,0,36,N,	Si
6	21/01/2028,07:32:17R,10°23,1465'N,075°32,3657' W,31,1006,62,0,36,N,	21/01/2028,07:32:17R,10°23,1465'N,075°32,3657' W,31,1006,62,0,36,N,	Si
7	21/01/2029,07:34:23R,10°23,1307'N,075°32,3450' W,31,1006,62,0,36,N,	21/01/2029,07:34:23R,10°23,1307'N,075°32,3450' W,31,1006,62,0,36,N,	Si
8	21/01/2030,07:36:12R,10°23,0959'N,075°32,4689' W,31,1006,62,0,36,N,	21/01/2030,07:36:12R,10°23,0959'N,075°32,4689' W,31,1006,62,0,36,N,	Si
9	21/01/2031,07:38:07R,10°23,1678'N,075°32,5868' W,31,1006,62,0,36,N,	21/01/2031,07:38:07R,10°23,1678'N,075°32,5868' W,31,1006,62,0,36,N,	Si
10	21/01/2032,07:40:13R,10°23,2270'N,075°33,1534' W,31,1006,62,0,36,N,	21/01/2032,07:40:13R,10°23,2270'N,075°33,1534' W,31,1006,62,0,36,N,	Si
11	21/01/2033,07:42:12R,10°23,2742'N,075°33,3343' W,31,1006,62,0,36,N,	21/01/2033,07:42:12R,10°23,2742'N,075°33,3343' W,31,1006,62,0,36,N,	Si
12	21/01/2034,07:44:07R,10°23,3302'N,075°33,4378' W,31,1006,62,0,36,N,	21/01/2034,07:44:07R,10°23,3302'N,075°33,4378' W,31,1006,62,0,36,N,	Si
13	21/01/2035,07:44:07R,10°23,3302'N,075°33,4378' W,31,1006,62,0,36,N,	Esperando confirmación	No
14	21/01/2036,07:44:07R,10°23,3302'N,075°33,4378' W,31,1006,62,0,36,N,	21/01/2036,07:44:07R,10°23,3302'N,075°33,4378' W,31,1006,62,0,36,N,	Si
15	21/01/2037,07:44:07R,10°23,3302'N,075°33,4378' W,31,1006,62,0,36,N,	21/01/2037,07:44:07R,10°23,3302'N,075°33,4378' W,31,1006,62,0,36,N,	Si
Desempeño de la transmisión en porcentaje			93%

Tabla 4-5. Registro de datos almacenados ruta Base Naval hasta Cuatro Calles

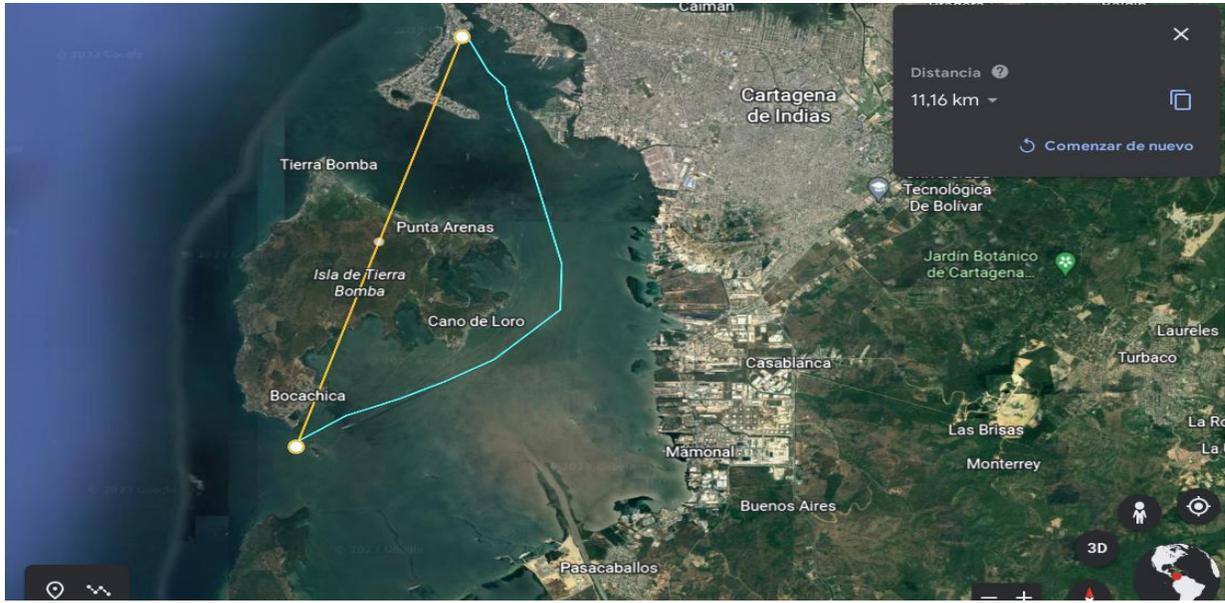


Figura 4-6 Ruta desde la base naval hasta canal de Bocachica

#	Trama enviada	Trama recibida	Éxito
1	22/01/2023,07:19:24R,10°24,3775'N,075°32,4910 'W,31,1006,62,0,36,N,	22/01/2023,07:19:24R,10°24,3775'N,075°32,49 10'W,31,1006,62,0,36,N,	Si
2	22/01/2024,07:22:31R,10°23,5480'N,075°32,3326 'W,31,1006,62,0,36,N,	22/01/2024,07:22:31R,10°23,5480'N,075°32,33 26'W,31,1006,62,0,36,N,	Si
3	22/01/2025,07:24:22R,10°23,2122'N,075°32,2135 'W,31,1006,62,0,36,N,	22/01/2025,07:24:22R,10°23,2122'N,075°32,21 35'W,31,1006,62,0,36,N,	Si
4	22/01/2026,07:27:08R,10°21,5663'N,075°32,0991 'W,31,1006,62,0,36,N,	22/01/2026,07:27:08R,10°21,5663'N,075°32,09 91'W,31,1006,62,0,36,N,	Si
5	22/01/2027,07:29:19R,10°21,0490'N,075°31,5805 'W,31,1006,62,0,36,N,	22/01/2027,07:29:19R,10°21,0490'N,075°31,58 05'W,31,1006,62,0,36,N,	Si
6	22/01/2028,07:32:17R,10°23,1465'N,075°31,4357 'W,31,1006,62,0,36,N,	22/01/2028,07:32:17R,10°23,1465'N,075°31,43 57'W,31,1006,62,0,36,N,	Si
7	22/01/2029,07:34:23R,10°20,4407'N,075°32,0750 'W,31,1006,62,0,36,N,	22/01/2029,07:34:23R,10°20,4407'N,075°32,07 50'W,31,1006,62,0,36,N,	Si
8	22/01/2030,07:36:12R,10°20,0559'N,075°32,3189 'W,31,1006,62,0,36,N,	22/01/2030,07:36:12R,10°20,0559'N,075°32,31 89'W,31,1006,62,0,36,N,	Si
9	22/01/2031,07:38:07R,10°19,3878'N,075°32,4768 'W,31,1006,62,0,36,N,	22/01/2031,07:38:07R,10°19,3878'N,075°32,47 68'W,31,1006,62,0,36,N,	No
10	22/01/2032,07:40:13R,10°19,1670'N,075°33,2134 'W,31,1006,62,0,36,N,	22/01/2032,07:40:13R,10°19,1670'N,075°33,21 34'W,31,1006,62,0,36,N,	Si
11	22/01/2033,07:42:12R,10°19,0642'N,075°33,3431 'W,31,1006,62,0,36,N,	22/01/2033,07:42:12R,10°19,0642'N,075°33,34 31'W,31,1006,62,0,36,N,	Si
12	22/01/2034,07:44:07R,10°18,5602'N,075°33,3450 'W,31,1006,62,0,36,N,	Esperando Confirmación	No
13	22/01/2035,07:44:07R,10°18,5602'N,075°33,3450 'W,31,1006,62,0,36,N,	Esperando Confirmación	Si
14	22/01/2036,07:44:07R,10°18,5602'N,075°33,3450 'W,31,1006,62,0,36,N,	Esperando Confirmación	No
15	22/01/2037,07:44:07R,10°18,5602'N,075°33,3450 'W,31,1006,62,0,36,N,	Esperando Confirmación	No
Desempeño de la transmisión en porcentaje			73%

Tabla 4-6. Registro de datos almacenados ruta Base Naval hasta Islas de Rosario

Acorde al prototipo desarrollado de localización y comunicación de datos meteorológicos a ser utilizado en pequeñas embarcaciones marítimas, en el cual se integraron equipos y plataformas disponibles en la Armada Nacional como base guía para su desarrollo, se obtuvo un sistema que permitió efectuar el seguimiento a una embarcación desde una estación base ubicada en las instalaciones de la Base Naval y que permite mediante el análisis de la información enviada por la embarcación contar con datos relevantes como su ubicación y las condiciones climáticas en su entorno.

Con las pruebas efectuadas se encontró limitaciones en la transmisión de la embarcación al momento de llegar o sobrepasar el límite de cobertura establecido por los radios VHF marinos. Esto se refleja directamente en la pérdida del enlace con la embarcación monitoreada, específicamente, en pérdidas de tramas de información enviadas desde la embarcación a la estación base.

Adicionalmente, se evidenció que acorde a las pruebas efectuadas, los obstáculos como edificaciones y las condiciones climáticas disminuyen el éxito de la transmisión, a pesar que la unidad monitoreada este dentro del rango de cobertura.

No obstante, el sistema desarrollado cumple con los objetivos planteados cumpliendo con el diseño del prototipo funcional y básico de localización, su implementación y la evaluación y análisis de su desempeño.

Como mejoras, se plantea en futuros proyectos incluir estaciones repetidoras para incrementar el rango de cobertura y minimizar perdidas de comunicación en las áreas de tránsito de las embarcaciones pequeñas, en el área marítima turística de Cartagena.

5. CONCLUSIONES

- Se diseñó el prototipo funcional y básico de localización y comunicación de datos meteorológicos; el diseño general del sistema consideró elementos como sensores, microcontrolador y módem en el equipo móvil, así como elementos similares en el equipo de control, considerando la visualización de la información almacenada en base de datos para ser analizada por los entes de control; lo que permitió tener un diagrama para utilizar e integrar los diferentes elementos, equipos y plataformas a considerar para la implementación, así como también los equipos disponibles en la Armada Nacional y sus centros de investigación, innovación y desarrollo.
- La implementación del prototipo funcional de localización y comunicación de datos meteorológicos para pequeñas embarcaciones marítimas, fue posible considerando equipos de embarcación, central de monitoreo y unidades de control, haciendo uso del software desarrollado en LabView donde se transmitieron las diferentes variables asociadas a variables de presión, humedad, intensidad de lluvia, velocidad del viento y dirección, temperatura y GPS.
- Implementar el prototipo funcional de localización y comunicación de datos meteorológicos requiere tener en cuenta que los equipos de radiocomunicaciones para la transmisión de señales están condicionados por la distancia donde se requieren ubicar los equipos que enviarán y recibirán la señal, así como la adecuada selección de los componentes de acuerdo al diseño establecido.
- Las pruebas funcionales de validación de los equipos de manera independiente del prototipo de localización y comunicación de datos meteorológicos verificaron su adecuado funcionamiento permitiendo la integración posterior de los equipos.
- Las pruebas en laboratorio para la transmisión de los datos entre los módems verificaron el envío correcto de la información, al transmitir información previa de una base de datos y corroborar la recepción correcta de la información.

- Evaluar el desempeño del prototipo funcional de localización y comunicación de datos meteorológicos permite identificar las mejores ubicaciones para los equipos para lograr un desempeño de transmisión adecuado y factible, ya que en las pruebas efectuadas se encontró limitaciones en la transmisión de la embarcación al momento de llegar o sobrepasar el límite de cobertura establecido por los radios VHF marinos, específicamente en las pérdidas de tramas de información enviadas desde la embarcación a la estación base.
- A través del plan de pruebas en el escenario de la bahía interior de Cartagena, específicamente, entre la Base Naval ARC “Bolívar” y las diferentes trayectorias (ESNTB, Manzanillo, Cuatro Calles y Bocachica) se verifica el funcionamiento del prototipo y la cobertura del sistema de acuerdo a los equipos utilizados y el escenario empleado, encontrando que para los casos de radio máximo de cobertura entre 2.5km y 7 Km el desempeño de transmisión es ente el 80 y 93%, mientras que para el caso de 11km es de 73.33%.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] INCODER - Instituto Colombiano de Desarrollo, Proyectos Exitosos en Pesca y Agricultura, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2013.
- [2] DIRENA, CETMAR, Plan Estratégico y operativo del sector de la pesca artesanal en el Pacífico, 2016.
- [3] Armada Nacional, Plan de Desarrollo Naval 2042, Bogotá, 2021.
- [4] Armada de Colombia, «Guardacostas de Colombia,» [En línea]. Disponible: <https://www.armada.mil.co/es/content/comando-de-guardacostas>. [Último acceso: Septiembre 2019].
- [5] Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas, «Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas,» [En línea]. Disponible: <https://www.cioh.org.co/index.php/es/>. [Último acceso: Septiembre 2019].
- [6] M. L. Cardenas, «Las condiciones ambientales y la conservación documental,» Archivo general de la Nación, 2018.
- [7] A. Tobajas García, Diseño e implementación de una estación meteorológica con Raspberry Pi, Barcelona: Universidad Oberta de Catalunya, 2016.
- [8] A. Avilés Bastidas, G. Sánchez Jordán y F. Villao Quezada, «Sistema de monitoreo de embarcaciones de pesca artesanal de Anconcito, provincia de Santa Elena, Ecuador, utilizando tecnología AIS - Automatic Identification System,» *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, vol. IV, nº 1, pp. 194-202, 2017.
- [9] D. A. García Álvarez, «Sistemas GNSS (Global Navigation Satellite System),» Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, 2008.
- [10] Topografía y servicios del sureste, «Servis Topografía y Servicios del Sureste,» 2014. [En línea]. Disponible: <https://toposervis.com/diferencia-entre-gnss-y-gps/>. [Último acceso: Septiembre 2019].
- [11] Sali and trip, «Sail and Trip,» 9 Octubre 2016. [En línea]. Disponible: <https://sailandtrip.com/vhf-marino-frecuencias-canales/>.
- [12] A. P. Acosta, «Pesca artesanal evita su desaparición con embarcaciones a base de energías renovables,» *Periodico UNAL*, 26 Octubre 2022.

- [13] R. S. Pressman, *Ingeniería del software, un enfoque práctico*, México DF: Mc Graw Hill, 2005.
- [14] A. Benavides, *Diseño y construcción de un prototipo de estación meteorológica portátil para medición de parámetros atmosféricos en la expedición Seaflower*, Cartagena: Escuela Naval de Cadetes Almirante Padilla.
- [15] «electronicsnotes,» [En línea]. Disponible: <https://www.electronic-notes.com/articles/test-methods/labview/what-is-labview.php>. [Último acceso: 2023].
- [16] P. García Garnacho, *Manual de uso de radio móvil*, Universidad Politécnica de Catalunya, 2006.