



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

## **Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS DE UNA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS QUE MIDEN VARIABLES OCEANOGRÁFICAS EN EL PERFIL COSTANERO DE SANTA ELENA, USANDO TECNOLOGÍA LORA”

### **INFORME DE MATERIA INTEGRADORA**

Previo a la obtención del Título de:

### **INGENIEROS EN ELECTRONICA Y TELECOMUNICACIONES**

MIGUEL ANGEL GAYBOR MURILLO

MARIO DAVID MARIDUEÑA CHUNGA

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2017

## AGRADECIMIENTO

Gracias a Dios y a mi familia por su amor y comprensión a través del desarrollo de esta idea que me permite alcanzar uno de mis más importantes logros, a mis amigos a lo largo de esta etapa universitaria por su constante apoyo, por los buenos y malos momentos, los consejos y más. Al coautor de esta tesis Mario por la colaboración, a los ingenieros Andrés Ortega y Hernán Ullón, su ayuda infinita en este proyecto fue invaluable con sus conocimientos brillantes en temas navales y de programación, de igual manera a Luigi Rubio y Erick Lucin quienes hicieron posible el épico traslado de los equipos que usamos en el desarrollo de nuestro proyecto.

Agradezco a nuestro tutor de tesis el máster Cesar Yépez por su paciencia y por ser un ejemplo como profesional en las Telecomunicaciones, al máster Luis Vásquez revisor de la tesis, por la facilidad de comunicación, al máster Jonathan Cedeño por sus asesorías en la parte oceanográfica y a todos los que de una manera u otra me dieron apoyo a lo largo de esta bonita etapa de mi vida. Gracias ESPOL por todo.

Miguel Angel Gaybor Murillo

Agradezco a Dios por no permitir que renuncie cuando las cosas se ponían difíciles, porque mi fe siempre se mantuvo viva y me ilumino para que hallara una solución o aprendiera de mis errores y fuera formando mi carácter.

A mis padres Mario Maridueña y Fátima Chunga, por sus enseñanzas, consejos, cuidados y paciencia y porque siempre están conmigo apoyándome y motivándome a ser mejor persona; a mis hermanos Melissa Maridueña y Sebastián Maridueña que a pesar de las diferencias siempre estamos para apoyarnos los unos a los otros; a mi abuela Ana Hidalgo y a mi tía Rocio Maridueña que sin importar la distancia me apoyan y demuestran su cariño y siempre estoy presente en sus oraciones. También a mis demás familiares que están pendientes de mí y me hacen sentir su apoyo, a mis amigos que a lo largo de la carrera compartimos gratos momentos y fuimos creciendo profesionalmente en especial al Sr. Andrés Ortega y el Ing. Hernán Ullon por aportar con sus conocimientos en el área naval y de programación respectivamente y haber servido de guía sugiriéndonos alternativas cuando nos encontramos con obstáculos en el desarrollo del proyecto. Finalmente agradezco a mis maestros por impartir sus conocimientos tanto teóricos como experiencias en el ámbito laboral y prepáranos para este campo.

Mario Maridueña Chunga

## DEDICATORIA

Dedico esto a Dios, por tanto, que me has dado, la esperanza que me brindas en momentos complejos y situaciones donde no supe que hacer y pude dar un salto de Fe gracias a ti.

A todos los errores que cometí en esta etapa universitaria, que me han dado la oportunidad de mejorar, actuar con honestidad, ser paciente, de crear nuevas ideas y fortalecer mi carácter frente a las nuevas adversidades.

La felicidad se puede encontrar hasta en los más oscuros momentos, si somos capaces de usar bien la luz.

A pesar de los problemas, la Familia es lo primero y su amor invariante en el tiempo. Ernesto, Jacqueline, Daniel, Gabriela y Verónica ustedes son todas mis mejores razones para mis logros.

Y después de tanto tiempo...excelsior

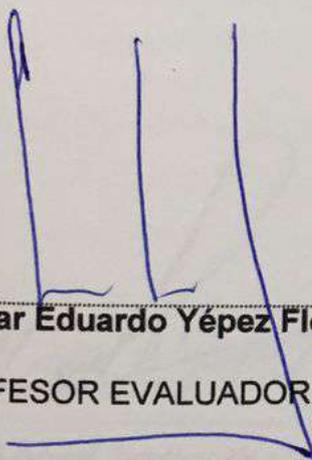
Miguel Angel Gaybor Murillo

Dedico este trabajo en primer lugar a Dios por ser mi fuerza y guía en todo momento y permitirme llegar hasta este punto tan importante en mi vida.

También lo dedico a mis padres por su apoyo, confianza y amor incondicional, a mi hermana por su motivación y a mi hermano esperando ser un buen ejemplo para él y además a mi familia, amigos y maestros que de alguna u otra manera siempre estuvieron y formaron parte de mi formación tanto profesional como personal.

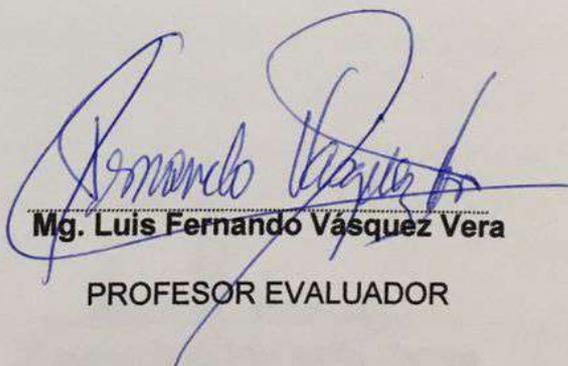
Mario Maridueña Chunga

## TRIBUNAL DE EVALUACIÓN



**Msc. Cesar Eduardo Yépez Flores**

PROFESOR EVALUADOR

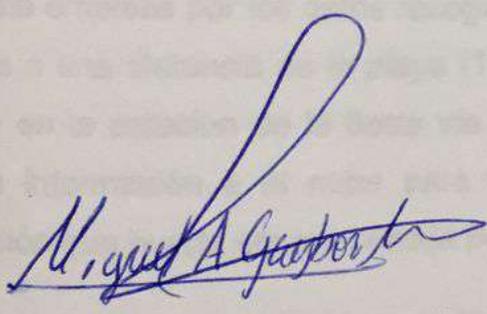


**Mg. Luis Fernando Vásquez Vera**

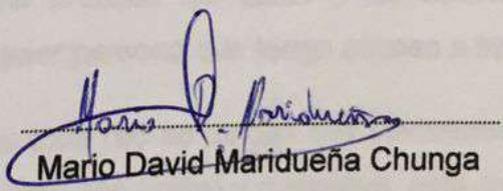
PROFESOR EVALUADOR

## DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, nos corresponde exclusivamente; y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



Miguel Ángel Gaybor Murillo



Mario David Maridueña Chunga

## RESUMEN

Los estudios sobre las variables oceanográficas solo son efectuados por un número reducido de entidades, lo que genera un difícil acceso a la información oceanográfica en línea, provocando que este recurso sea limitado y no genere un mayor beneficio económico o académico.

El paradigma del Internet de las cosas (IoT) el cual se refiere a la interconexión de objetos cotidianos a la red, es donde se basa el proyecto, las tecnologías alrededor de IoT son relativamente nuevas en la que encontramos LoRa, la cual se refiere a una técnica de modulación de espectro ensanchado por salto de frecuencia similar a FSK y una variación de chirp spread spectrum (CSS), que modula los datos sobre diferentes canales y velocidades además de incluir corrección de errores; su funcionamiento consiste en la activación periódica del dispositivo ahorrando de esta manera energía.

El sistema empieza por los datos recogidos por los sensores de las boyas oceanográficas ubicadas a una distancia de la playa (1 a 2 kilómetros) estos envían la información a un gateway en la estación de la tierra vía LoRa, en este paso este elemento concentrador envía la información a la nube para que esta procese los datos y los convierta en información que pueda ser consultada por cualquier persona que tenga acceso a internet.

LoRa funciona bajo la topología estrella y como toda red se ubican sus elementos como nodos (boyas con sensores que usan comunicación con LoRa) y gateways, esta red tiene el alcance de crecer en relación con el propósito de tener mayor data sobre las variables del mar, el modelamiento de la probabilidad de buen funcionamiento de esta red puede ser medido a través de la Fiabilidad de los sistemas.

Finalmente, los datos recogidos son llevados a la nube que los procesa y los convierte en información para ser accedidos desde cualquier sitio remoto con conexión a internet.

## ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
TRIBUNAL DE EVALUACIÓN.....	iv
DECLARACIÓN EXPRESA.....	v
RESUMEN .....	vi
ÍNDICE GENERAL .....	vii
CAPÍTULO 1 .....	1
1. Componente del proyecto.....	1
1.1 Descripción del Problema .....	1
1.2 Justificación .....	1
1.3 Objetivos .....	2
1.3.1 Objetivo General .....	2
1.3.2 Objetivos Específicos.....	2
1.4 Metodología .....	2
1.5 Resultados Esperados .....	3
CAPÍTULO 2 .....	4
2. Fundamentos teóricos .....	4
2.1 Variables Oceanográficas .....	4
2.1.1 Temperatura .....	4
2.1.2 Potencial de Hidrogeno del agua oceánica.....	4
2.1.3 Humedad .....	4
2.2 Comunicaciones Inalámbricas. ....	4
2.3 Internet de las Cosas .....	5
2.4 Descripción técnica de IoT.....	5
2.5 Características y requisitos fundamentales de IoT .....	8
Las características principales son [5]: .....	8

2.5.1	Interconectividad.....	8
2.5.2	Servicios relacionados con objetos.....	8
2.5.3	Heterogeneidad .....	9
2.5.4	Cambios dinámicos.....	9
2.5.5	Gran escalabilidad .....	9
2.6	LoRa y loRaWAN.....	9
2.6.1	LoraWAN .....	9
2.6.2	Propiedades de la modulación LoRa .....	11
2.7	Equipos para el proyecto: .....	15
2.7.1	Dragino LoRa Shield:.....	15
2.7.2	Sensor de PH:.....	17
2.7.3	DS18B20:.....	17
2.7.4	Módulo GY-GPS 6MV2: .....	18
2.7.5	Sensor DHT 11: .....	19
2.7.6	Módulo ESP8266: .....	20
2.7.7	Arduino:.....	20
2.8	CTD SeaBird.....	21
2.9	Computación en la Nube.....	21
CAPÍTULO 3 .....		23
3.	Estudio del medio y Diseño de la red y sus componentes.....	23
3.1	Deterioro en la propagación:.....	23
3.2	Presupuesto de enlace: .....	24
3.3	Diseño de boya oceanográfica:.....	27
3.4	Diagrama de Bloques y esquemas del sistema .....	30
3.4.1	Diagrama de bloques general .....	30
3.4.2	Esquema del transmisor: .....	30
3.4.3	Esquema del receptor:.....	32
3.5	Topología de la Red.....	33
3.5.1	Red en Estrella .....	33
CAPÍTULO 4 .....		38
4.	ANALISIS DE RED PROPUESTA.....	38

4.1	Análisis de la propagación .....	38
4.2	Fiabilidad del Sistema .....	38
4.3	Centralización de la Información en la Nube.....	51
4.4	LoraWan frente a otras tecnologías .....	53
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		54
BIBLIOGRAFÍA .....		55
Trabajos citados .....		55

# CAPÍTULO 1

## 1. Componente del proyecto.

### 1.1 Descripción del Problema

El Ecuador es un país que cuenta con salida al mar lo cual constituye un atractivo turístico y de gran riqueza pesquera por tal motivo se debe preservar la calidad de sus aguas para obtener un desarrollo sustentable, esto se logra mediante el estudio de los parámetros del mar de forma constante para posteriormente llevar un control. En la actualidad, encontramos la tecnología como clave esencial para este proceso, que conforma un sistema de información de interés nacional.

A lo largo del perfil costanero se miden parámetros marinos, donde la recolección de estos datos es de manera presencial tomando muestras o adquiriendo información de sensores los cuales almacenan datos que serán tomados por un operador o que son transmitidos a la costa involucrando enlaces satelitales o de radio, teniendo en cuenta que la propagación de señales cerca de cuerpos de agua se ve bastante afectada por diversos fenómenos.

El manejo de los proyectos de medición de variables oceanográficas no cuenta con un procedimiento de operación óptimo dado que incurren en métodos poco tecnológicos, como es el uso de instrumentos que van quedando obsoletos, y por otro lado tenemos el uso de tecnología que si bien es eficiente el costo de operación es elevado, haciendo que estos estudios solo sean efectuados por un número reducido de entidades, lo que genera un difícil acceso a la información oceanográfica en línea, provocando que este recurso sea limitado.

### 1.2 Justificación

Dado que el ser humano tiene la necesidad de estar comunicado, conocer su entorno, compartir información y retroalimentarla ha nacido el paradigma del Internet de las cosas (IOT) el cual se refiere a la interconexión de objetos cotidianos a la red. Basados en esto, un uso bastante apropiado es la creación de una red de dispositivos que midan ciertos parámetros en un determinado lugar para reunir información y

acceder a ella en tiempo real o crear una base de datos la cual nos sirva para futuros estudios.

La creación de una red de sensores debe involucra como punto fundamental la optimización de recursos y fiabilidad de información, características que reúne la tecnología LoRa (Long Range) la cual permite que sus dispositivos se adecúen a las limitaciones de consumo de energía, rango de comunicación y bajo costo frente a otras tecnologías.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo General**

- Diseñar una red basada en la tecnología LoRa (Long Range) la cual sirva para comunicar sensores montados en boyas capaces de medir variables oceanográficas, ubicados en el perfil costanero para obtener información actualizada.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Realizar un estudio de las condiciones para la propagación de la señal enviada por los sensores.
- Comparar tecnologías de comunicación existentes frente a la nueva propuesta.
- Presentar una opción de servicio en la Nube y dar una alternativa a los métodos de medición que se llevan en nuestros mares.
- Describir un análisis de la fiabilidad del sistema basado en la topología estrella.

### **1.4 Metodología**

- Definir las variables oceanográficas a medir.
- Usar un software de Propagación para comparar resultados(RadioMobile)
- Escoger una zona costera para el desarrollo del proyecto
- Diseñar una red de topología estrella para los nodos donde se ubicarán los sensores.

- Proponer alternativas para que la información sea accedida desde cualquier lugar. (Cloud)
- Analizar la eficiencia del sistema.

### **1.5 Resultados Esperados**

- Una red de largo alcance y bajo consumo de energía.
- Un monitoreo actualizado de las condiciones de las playas del Ecuador mejorando así el turismo y la pesca.
- Encontrar una alternativa más económica a los sistemas de comunicación actuales.
- Conocer de nuevas tecnologías LPWAN como parte del paradigma IoT.

## CAPÍTULO 2

### 2. Fundamentos teóricos

#### 2.1 Variables Oceanográficas

##### 2.1.1 Temperatura

Es una magnitud física que manifiesta la intensidad de calor o ausencia de este en un cuerpo, objeto o el medio ambiente.

El calor está relacionado con una temperatura más alta y el término frío se refiere a una temperatura más baja.

El instrumento que mide la temperatura se llama termómetro, y la mide en distintas unidades tales como grados Centígrados o grados Fahrenheit [1].

##### 2.1.2 Potencial de Hidrogeno del agua oceánica

El agua oceánica y su valor de pH está entre 7.5 y 8.4 es un tanto alcalina, esto se modifica en función de la temperatura; si esta sufre un cambio y aumenta, entonces el pH baja y se dirige a la acidez; otro factor que puede modificar el pH es la presión o profundidad, salinidad, etc. [2].

##### 2.1.3 Humedad

Es un factor del clima que se entiende como el vapor de agua que se encuentra en la atmósfera, este permite la formación de las nubes, y estas ayudan con la humedad ambiental, cuando al condensarse se precipitan a la tierra en forma de lluvia o nieve.

Existen varias formas de medir la humedad atmosférica entre ellas está el uso de un higrómetro [3].

#### 2.2 Comunicaciones Inalámbricas.

La comunicación inalámbrica funciona a través de ondas de radio, microondas e infrarrojas, que necesitan una antena para transmitir y otra para la recepción para llegar a tener un enlace de comunicación.

Una red inalámbrica, puede traer como beneficio un bajo costo de instalación y el escaso mantenimiento al no usar cables.

Como desventajas están las interferencias de otros transmisores, las limitaciones físicas de los equipos. La velocidad del traslado de la información se ve afectada por las largas distancias de los enlaces de comunicación. [4].

### **2.3 Internet de las Cosas**

En el entorno del mundo tecnológico, nos encontramos según los expertos en la Cuarta Revolución Industrial, lo que comprende el paso que deben dar las organizaciones hacia la integración de la tecnología en sus procesos. Una de las bases en que se fundamenta esta orientación es el paradigma del Internet de las Cosas (IoT), el cual comprende una infraestructura en la que permite la interconexión de objetos, dispositivos, cosas etc.

Esta nueva forma pretende conectar lo desconectado con diseños integrales y de estándares abiertos desde la nube a los dispositivos finales, mediante la operatividad de tecnologías de información y comunicación.

IoT como revolución tecnológica comprende que objetos físicos y virtuales, integren una red, tengan más importancia, mucho más valor al tener los objetos y dispositivos físicos conectados a internet y tengan la capacidad de recolectar, almacenar y transferir datos, sin necesidad de la presencia de una persona, proporcionando que esto se convierta en información que al ser analizada se transforma en conocimiento o información útil y significativa para contribuir a una toma de decisiones inteligente para algún fin, manteniendo la seguridad y la privacidad en él proceso.

Este paradigma apunta a la integración de tecnologías avanzadas como la comunicación de maquina a máquina, redes autónomas, que a través de big data da paso al análisis en tiempo real y esto se lleva a la nube para ejecutar futuras de decisiones al tener una información procesada [5].

### **2.4 Descripción técnica de IoT**

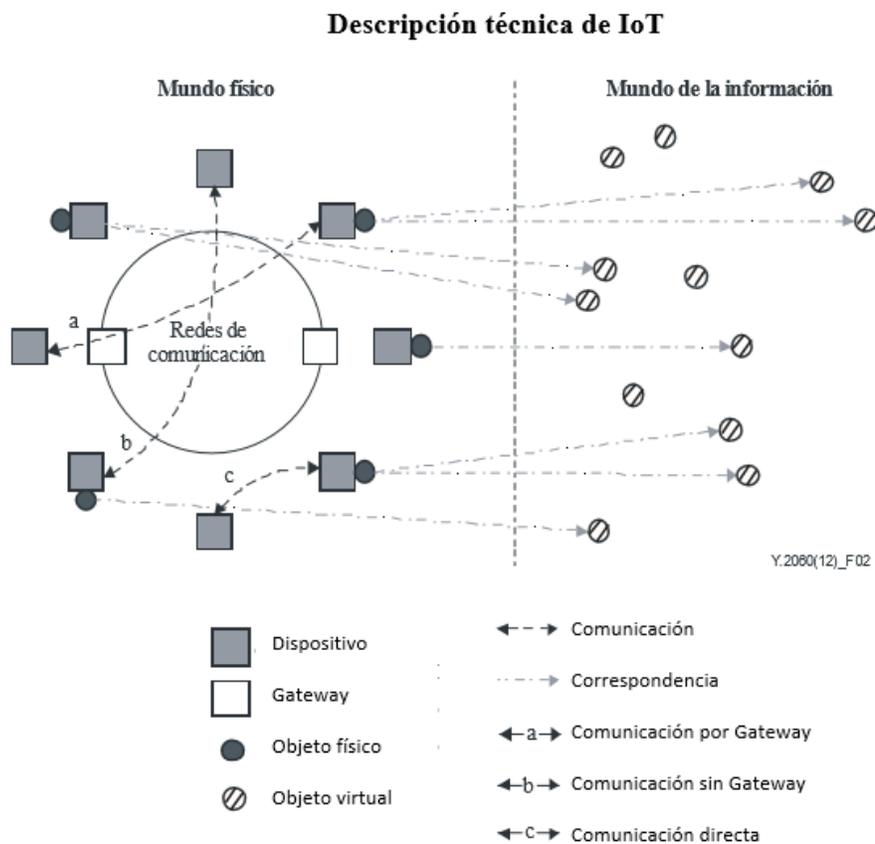
En el ambiente de IoT las cosas son elementos del mundo físico o del mundo de la información (virtual), estos componentes pueden ser identificados e integrarlos en una o más redes de comunicación. Las cosas poseen información relacionada que se pueden presentar como estática y dinámica.

Estos objetos que pueden ser físicos pueden ser detectados, conectados y se puede realizar alguna acción sobre ellos mientras que los objetos virtuales se refieren al entorno de la información y son capaces de almacenarla, transformarla y manejar su acceso.

El componente físico se puede interpretar en el ambiente de la información por uno o varios objetos virtuales, a pesar de que este último puede estar sin tener relación con un componente físico.

Un dispositivo es aquel que cuenta con funciones de comunicación además de contar con la capacidad de detección, accionamiento, adquisición, almacenamiento y procesamiento de datos. Estos recogen distintos tipos de información y la entregan a la red para su posterior procesamiento.

La comunicación que existe entre dispositivos se da por diferentes casos tales como se aprecia en la siguiente figura 2.1 [5].

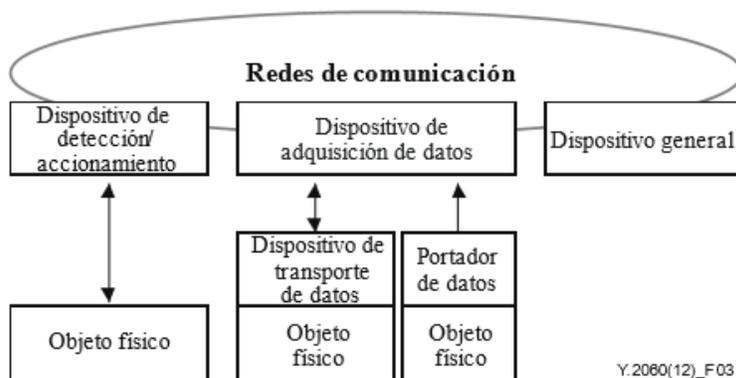


**Figura 2.1: Descripción Técnica de IoT**

En el caso 'a' se muestra la comunicación que existe entre los dispositivos mediante una red que contiene un Gateway entre ellos, para el caso 'b' se realiza a través de una red sin Gateway o de forma directa como el caso 'c' es decir es sin utilizar la red de comunicación. Se pueden dar otras combinaciones de los casos antes mencionados como la forma de 'a' y 'c' o también 'b' y 'c', por ejemplo, puede existir comunicación entre los dispositivos mediante una red local ( es decir una red que da conectividad en una zona local para que se comuniquen entre ellos y entre dispositivos y gateways , tal como una red ad-hoc) como en el caso 'c' para que se procedan a comunicar a través de la red por medio del Gateway del área local como el caso 'a'.

Las redes de comunicación reciben los datos adquiridos por los dispositivos y se los pasan a las aplicaciones, así como también pasan instrucciones a los dispositivos. La infraestructura de una red IoT puede crearse a través de redes actuales como las que son mediante el modelo TCP/IP y otras redes de próxima generación.

En la siguiente figura 2.2 se observa las distintas clases de dispositivos y la relación entre estos junto a los objetos físicos [5].



**Figura 2.2: Tipos de dispositivos y su relación objetos físicos**

Los dispositivos IoT deben cumplir al menos con ciertas capacidades de comunicación, por lo que se clasifican de la siguiente manera [5]:

### **Dispositivo de transporte de datos**

Dispositivo anexo a un objeto físico para conectar indirectamente el objeto físico con las redes de comunicación

### **Dispositivo de adquisición de datos**

Dispositivo de lectura/escritura con capacidad para interactuar con objetos físicos. La interacción puede suceder indirectamente a través de dispositivos de transporte de datos, o directamente a través de dispositivos de transporte de datos unidos a los objetos físicos. En el primer caso, el dispositivo de adquisición de datos lee la información sobre el dispositivo de transporte de datos y pueden también escribir información que suministran las redes de comunicación sobre el dispositivo de transporte de datos

### **Dispositivo de detección y accionamientos**

Detecta o mide información de su entorno y la convierte en señales electrónicas digitales. También puede convertir señales electrónicas digitales procedentes de las redes de información en operaciones. Por lo general, los dispositivos de detección y accionamiento forman redes locales que se comunican entre sí utilizando tecnologías de comunicación alámbricas o inalámbricas y utilizan pasarelas para conectarse con las redes de comunicación.

### **Dispositivo Genérico**

Dispositivo que cuenta con capacidades de procesamiento y comunicación y puede comunicarse con las redes de comunicación mediante tecnologías alámbricas e inalámbricas. Los dispositivos generales incluyen equipos y aplicaciones para diferentes dominios de aplicación IoT, tales como máquinas industriales, electrodomésticos y teléfonos inteligentes.

## **2.5 Características y requisitos fundamentales de IoT**

Las características principales son [5]:

### **2.5.1 Interconectividad**

Indica que todo está conectado al internet, personas, maquinas, objetos etc.

### **2.5.2 Servicios relacionados con objetos**

El paradigma de IoT es capaz de dar servicios como la protección de la privacidad y coherencia semántica entre la conexión del mundo físico con el virtual.

### **2.5.3 Heterogeneidad**

Se refiere a que soporta la interacción de dispositivos con diferentes plataformas de hardware y redes.

### **2.5.4 Cambios dinámicos**

Los dispositivos de IoT cuentan con distintos modos para realizar alguna tarea por ejemplo pasar del modo activo al reposo, eso los convierte en dinámicos.

### **2.5.5 Gran escalabilidad**

La gestión de nuevos dispositivos que se suman a esta red será mucho mayor a la de los dispositivos actuales al internet.

## **2.6 LoRa y LoRaWAN**

LoRa se refiere a la capa física de la modulación inalámbrica que nos permite lograr un enlace de largo alcance, para ello usa una técnica de modulación basada en técnicas de espectro ensanchado similar a FSK y una variación de chirp spread spectrum (CSS), que modula los datos sobre diferentes canales y velocidades logrando así que no haya interferencias entre sí, es decir que se crea un juego virtual de canales y de esta manera el Gateway (puerta de enlace) incrementa su capacidad. Esta técnica además de incluir corrección de errores; su funcionamiento consiste en la activación periódica del dispositivo ahorrando de esta manera energía [6].

### **2.6.1 LoraWAN**

LoraWan está destinado a satisfacer requerimientos de internet de las cosas tales como largo alcance, bajo consumo de energía y comunicación bidireccional, permitiendo así comunicar objetos de manera sencilla.

loraWAN define el protocolo de comunicación y la arquitectura para la red, que son los que influyen en el tiempo de vida de la batería, la seguridad, la capacidad de la red entre otros servicios [6].

#### **Tiempo de vida de la batería**

El tiempo de vida de la batería se alarga dado que los nodos sólo transmiten cuando tienen el dato listo, cuando no, están en reposo.

### **Capacidad de la red**

Los gateways tienen la capacidad de recibir información de un elevado número de nodos ya que son multicanales y la red tienen una tasa de datos adaptativa, esto en conjunto permite recibir mensajes simultáneos en múltiples canales.

Entre los factores críticos que afectan la capacidad de la red tenemos la tasa de datos, la longitud del payload, el número de canales concurrentes y la periodicidad con que los nodos transmiten. Dado que la modulación de LoRa está basada en espectro ensanchado, todas las señales son prácticamente ortogonales entre si cuando se utilizan diversos factores de propagación los cuales también varían la velocidad de transmisión de datos, con esto tenemos la ventaja de que un mismo canal del gateway puede recibir diferentes datos a distintas velocidades.

Mediante el desplazamiento de la tasa más alta de transmisión el tiempo en el aire se acorta lo cual abre más espacio para que los demás nodos transmitan, esta velocidad de datos adaptativa también influye en el tiempo de vida de la batería en los nodos. Para que la tasa de datos sea adaptable, el enlace de subida y de bajada deben ser simétricos y con alta capacidad en el enlace de bajada.

Estas características hacen de LoRaWAN una red escalable y de gran capacidad.

### **Seguridad:**

LoRaWAN posee dos capas de seguridad una para la red en donde se verifica la autenticidad del nodo y otra para la aplicación donde se garantiza que nadie más que el usuario final tengan acceso a los datos. Se utiliza encriptación AES (Advanced Encryption Standard) con cambio de clave utilizando un identificador IEEE EUI64.

La modulación por Chirp Spread Spectrum es robusta ante los mecanismos de degradación del canal tales como la atenuación, la creación de multi-trayectos, desvanecimiento, el efecto Doppler y las interferencias jamming.

LoRa realiza el ensanchamiento del espectro generando señales chirp que continuamente varían en frecuencia. Una ventaja de este método es que los

offsets de tiempo y frecuencia entre el transmisor y el receptor son equivalentes, reduciendo en gran medida la complejidad del diseño del receptor. El ancho de banda de frecuencia del chirp es equivalente al ancho de banda espectral de la señal.

La modulación de LoRa también incluye un esquema de corrección de errores variable que mejora la robustez de la señal transmitida a expensas de la redundancia.

#### **Rangos de frecuencia:**

LoRa trabaja en la banda de frecuencia ISM (Industrial, Scientific and Medical), son bandas libres es decir que no necesitan de licencia y son destinadas para la investigación y estudio. Dependiendo de la región la banda de frecuencias para LoRa varía, en Europa esta banda va desde los 863 MHz hasta los 870 MHz con ocho canales elegidos arbitrariamente y cada uno con un ancho de banda de 0,3 MHz, en Estados Unidos, Israel, Singapur, Australia, Canadá y otros la banda ISM para LoRa va desde los 902MHz a 928MHz con 13 canales y cada uno tiene un ancho de banda de 2.16 MHz [7].

### **2.6.2 Propiedades de la modulación LoRa**

Entre las principales características de LoRa tenemos [8]:

#### **Ancho de banda escalable:**

Esta modulación es escalable en ancho de banda y frecuencia. A diferencia de los esquemas existentes de modulación de banda estrecha o de banda ancha, LoRa puede adaptarse fácilmente a cualquiera de los dos modos de operación con sólo unos cuantos cambios de registro de configuración sencillos.

#### **Alta Robustez:**

Debido al alto producto ancho de banda-tiempo y la naturaleza asincrónica de la señal LoRa la hacen resistente a mecanismos de interferencia dentro y fuera de banda. Dado que el periodo de símbolos en LoRa puede ser más largo que duración de cada conmutación de los sistemas FHSS (Frequency-hopping spread spectrum), le proporciona una inmunidad excelente a los

mecanismos de interferencia de pulsos AM; pudiendo obtener receptor selectivo fuera de canal de 90 dB y un co-canal de rechazo de más de 20 dB.

### **Resistencia a los multi-trayectos y al desvanecimiento**

Debido a la banda ancha de los pulsos chirp, LoRa se vuelve ideal para ambientes urbanos.

### **Resistencia al efecto Doppler**

El efecto Doppler causa un pequeño cambio en la frecuencia lo que introduce un desplazamiento en el eje del tiempo de la señal banda base.

### **Capacidad de red mejorada**

La modulación de SemTech LoRa emplea factores de propagación ortogonales que permiten transmitir múltiples señales de propagación al mismo tiempo y en el mismo canal sin degradación mínima de la sensibilidad del receptor. Las señales moduladas con diferentes factores de propagación aparecen como ruido en el receptor destino y pueden ser tratadas como tales.

### **Alcance y localización**

Una propiedad inherente de LoRa es la capacidad de discriminar linealmente entre errores de tiempo y frecuencia. LoRa es la modulación ideal para aplicaciones de radar y, por lo tanto, es ideal para aplicaciones de alcance y localización en tiempo real.

Consideraciones para redes inalámbricas de comunicación.

### **Multi-trayectos mecanismo de propagación**

La reflexión de la señal en objetos como construcciones, elevaciones, grandes cuerpos de agua, ductos atmosféricos, reflexión ionosférica y la refracción, producen que esta llegue al receptor a través de dos o varios caminos; este fenómeno produce tanto interferencia constructiva como destructiva; destructiva por ejemplo la pérdida de la intensidad de la señal o la ocasionada cuando por el efecto Doppler en cada canal que se ha creado se produce desplazamiento de frecuencia.

Los mecanismos de desvanecimiento por multi-trayecto pueden ser desvanecimiento plano o desvanecimiento por frecuencia selectiva.

En el desvanecimiento plano el ancho de banda del canal es mucho mayor que la de la señal transmitida, mientras que en el receptor las propiedades espectrales de la señal no se ven alteradas, la amplitud de esta varía respecto al tiempo debido a los cambios en la ganancia del canal originado por los multi-trayectos. Es más común para la modulación FSK en banda estrecha.

En el desvanecimiento por frecuencia selectiva el ancho de banda del canal es menor que la de la señal transmitida.

LoRa al tener por naturaleza banda ancha y un elevado producto ancho de banda-tiempo, se vuelve casi inmune a los mecanismos de desvanecimiento de la señal.

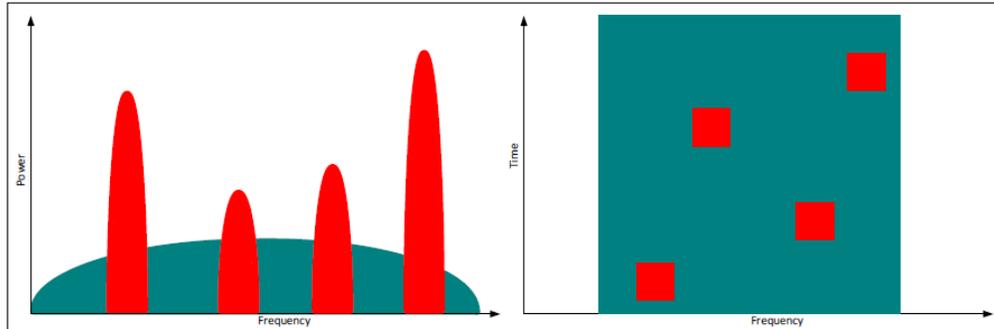
### **Coexistencia de red:**

Los cambios recientes en los procedimientos de guía de medición permitidos por la FCC en los Estados Unidos ahora permiten que los dispositivos de espectro ensanchado de banda ancha transmitan a niveles de potencia de salida significativamente más altos mientras siguen cumpliendo con los límites de densidad espectral de potencia.

Como se ha observado, con la modulación del espectro ensanchado, el impacto de las señales de interferencia se reduce por la ganancia del proceso que es inherente a la modulación. Estas señales de interferencia se extienden más allá del ancho de banda de información deseado y se pueden eliminar fácilmente mediante filtrado.

Una señal de modulación de banda ancha que está co-ubicada con una segunda señal de banda ancha de diferente factor o secuencia de dispersión aparecerá como ruido al receptor de destino y se tratará como tal.

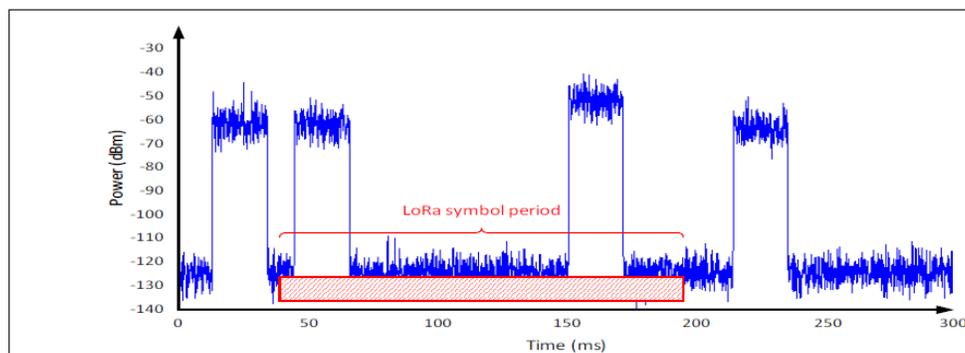
Dado que la duración en el aire de una señal de banda ancha puede ser mucho más larga que la de las señales de banda estrecha de salto de frecuencia, podemos esperar que múltiples señales de banda estrecha puedan incidir con la modulación de banda ancha, como se ilustra en la figura 2.4 [8].



**Figura 2.4: Señal banda ancha vs Interferencia banda angosta**

Se observa que cuatro señales de banda estrecha inciden sobre la señal de banda ancha. Sin embargo, la duración de las señales de banda estrecha es tal que en el dominio del tiempo el periodo de interferencia es corto con respecto a la señal de banda ancha.

Debido a la redundancia asociada con la modulación de espectro expandido de banda ancha, recordando que cada bit de datos se extiende de muchos chips, la modulación es bastante resistente al mecanismo de interferencia que aparece como las ráfagas de pulsos de corta duración, como se aprecia en la figura 2.5 [8].



**Figura 2.5: Resistencia a ráfagas de pulsos de corta duración**

La modulación LoRa puede tolerar mecanismos de interferencia de ráfaga de niveles de potencia arbitrarios hasta un 30% de la longitud del símbolo con menos de 6 dB de degradación de sensibilidad.

## 2.7 Equipos para el proyecto:

### 2.7.1 Dragino LoRa Shield:



**Figura 2.6: Shield LoRa Dragino**

Es un shield compatible con Arduino como podemos apreciar en la figura 2.6, que utiliza un módulo transceptor RFM95W de largo alcance y que funciona con librerías open source, permite cubrir rangos considerablemente grandes con bajas tasas de datos, además proporciona una alta inmunidad a interferencias y minimiza el consumo de corriente.

Este shield de Arduino está basado en el chip SX1276 / SX1278 de Semtech, y está diseñado para ser usado en aplicaciones inalámbricas de redes de sensores como ciudades inteligentes, automatización de edificios, mediciones inteligentes, etc.

Lora Shield puede lograr una sensibilidad de más de  $-148\text{dBm}$  usando un cristal de bajo costo. La alta sensibilidad combinada con el amplificador de potencia integrado de  $+20\text{ dBm}$  genera un presupuesto de enlace líder en la industria lo que lo hace óptimo para cualquier aplicación que requiera rango o robustez [9].

#### **Especificaciones inalámbricas:**

- 168 dB máximo en presupuesto de enlace.
- $+20\text{ dBm}$  - 100 mW de potencia de salida.
- $+14\text{ dBm}$  amplificador de potencia de alta eficiencia.
- Tasa de datos programable más de 300 kbps.

- Alta sensibilidad por debajo de -148 dBm.
- Corriente de RX 10.3 mA.
- Modulaciones: FSK, GFSK, MSK, GMSK, LoRaTM y OOK .

En la tabla 2.1 [9] se detalla el consumo de energía de los shield LoRa de Dragino:

Symbol	Description	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
IDDSL	Supply current in Sleep mode		-	0.2	1	uA
IDDIDLE	Supply current in Idle mode	RC oscillator enabled	-	1.5	-	uA
IDDST	Supply current in Standby mode	Crystal oscillator enabled	-	1.6	1.8	mA
IDDFS	Supply current in Synthesizer mode	FSRx	-	5.8	-	mA
IDDR	Supply current in Receive mode	<i>LnaBoost</i> Off, band 1	-	10.8	-	mA
		<i>LnaBoost</i> On, band 1	-	11.5	-	
		Bands 2&3	-	12.0	-	
IDDT	Supply current in Transmit mode with impedance matching	RFOP = +20 dBm, on PA_BOOST	-	120	-	mA
		RFOP = +17 dBm, on PA_BOOST	-	87	-	mA
		RFOP = +13 dBm, on RFO_LF/HF pin	-	29	-	mA
		RFOP = + 7 dBm, on RFO_LF/HF pin	-	20	-	mA

**Tabla 2.1: Consumo de energía del Shield LoRa Dragino**

### **Librería RadioHead Packet Radio para microprocesadores integrados.**

RadioHead consta de 2 grupos principales de clases: Drivers y Managers.

Cada programa RadioHead tendrá una instancia de un Driver para proporcionar acceso a la radio o transporte de datos y un Manager que utilice ese controlador para enviar y recibir mensajes para la aplicación. El programador está obligado a instanciar un Driver y un Manager, e inicializar al Manager. Posteriormente, los servicios del Manager se pueden utilizar para enviar y recibir mensajes.

También es posible utilizar un controlador por sí solo, sin un gestor, aunque esto sólo permite el transporte sin dirección y poco fiable a través de las instalaciones del conductor.

En algunos casos de uso especializados, es posible instanciar más de un controlador y más de un administrador.

Se admite una gama de diferentes plataformas comunes de microprocesadores incorporados, lo que permite que cualquier proyecto se ejecute en elección de procesador [10].

### 2.7.2 Sensor de PH:



**Figura 2.7: Sensor de pH**

El pH es una unidad de medida que establece la alcalinidad o el nivel de acidez de una sustancia. El pH indica la concentración de iones hidronio  $[H_3O^+]$  presentes en una disolución, la escala del pH va del 0 al 14.

El sensor está conformado por una placa controladora y una sonda. Para medir el pH la placa controladora determina un valor analógico proporcional a la medición, esto lo hace midiendo la diferencia de potencial entre un par de electrodos, uno de referencia (cloruro de plata) y uno de vidrio que es sensible al ion de hidrógeno, este conjunto conforma la sonda. En caso de inconsistencias en la medición se cuenta con un potenciómetro en la placa controladora que permite calibrar la sonda [11], físicamente el sensor luce tal como en la figura 2.7.

Este sensor necesita una alimentación de 5 voltios para su correcto funcionamiento, entre sus principales características tenemos un rango de medición que va desde 0 a 14 (nivel de pH), trabaja en temperaturas desde  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  con una precisión de  $\pm 0.1\text{pH}$  y el tiempo de respuesta desde que entra en contacto con la muestra hasta presentar el valor es menor de 1 min.

### 2.7.3 DS18B20:



**Figura 2.8: Sensor de Temperatura DS18B20**

El sensor que se muestra en la figura 2.8 tiene tres terminales, dos para alimentación (VCC y GND) y uno para datos. Está protegido por una capsula de acero inoxidable lo que lo hace resistente al ambiente y nos permite sumergirlo para medir temperatura de líquidos o de gases, se lo puede emplear tanto en el hogar como en la industria.

Utiliza el protocolo de comunicación OneWire, es decir que envía y recibe información por un solo cable, además de permitirnos conectar varios sensores en un mismo pin del Arduino, diferenciándolos gracias a que en su ROM interna cada uno posee una dirección identificativa única de 64 bits [12].

Este sensor digital para su correcto funcionamiento necesita una alimentación de 5 voltios, entre sus principales características tenemos su rango de operación el cual va desde los  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $125\text{ }^{\circ}\text{C}$  con una precisión de  $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$

#### 2.7.4 Módulo GY-GPS 6MV2:



**Figura 2.9: Modulo de GPS GY-GPS 6MV2**

El módulo que se muestra en la figura 2.9 está basado en el chip receptor NEO 6M, el cual mide parámetros de latitud, longitud, elevación y velocidad, conectándose automáticamente con los satélites. Posee una memoria EEPROM con datos de fábrica y una pila tipo botón para mantener los datos almacenados allí.

Tiene una sensibilidad para tracking de  $-165\text{ dBm}$  y de adquisición igual a  $-148\text{ dBm}$ , su precisión en cuanto a posición es de  $\pm 3\text{ mts}$  y en velocidad  $\pm 0.1\text{ m/s}$ . Opera a una altura máxima de  $18000\text{ m}$  y a una velocidad máxima de  $551\text{ m/s}$ .

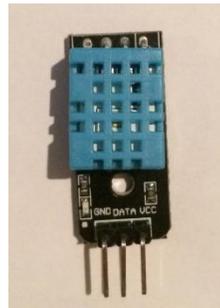
Su pequeña antena cerámica tiene una dimensión igual a  $18.2 \times 18.2 \times 4.0\text{ mm}$ , opera a una frecuencia de  $1575 \pm 3\text{ MHz}$  con un ancho de banda de

10MHz, posee polarización RHCP, radio axial de 3dB y una impedancia de  $50\Omega$  [13].

#### Características:

- Alimentación: 3.3 V
- 22 tracking/66 canales de lectura
- Soporta estándares WAAS/EGNOS/MSAS/GAGAN
- Frecuencia de actualización 5Hz
- Protocolo NMEA (National Marine Electronics Association) a 9600bps
- Rango de temperatura: -40 to 85 oC
- Cumple estándar RoHS
- Tamaño reducido 30mm x20mm x 11.4mm

#### 2.7.5 Sensor DHT 11:



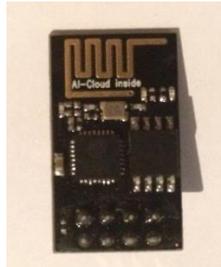
**Figura 2.10: Sensor de Humedad DHT 11**

El dispositivo mostrado en la figura 2.10 utiliza un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir la humedad y la temperatura respectivamente del aire circundante, en el pin de datos genera una señal digital. Entre las desventajas que presenta están que solo mide valores enteros por tanto no es recomendable en casos donde se necesita mayor precisión, por otro lado, los datos se toman como mínimo cada 2 segundos [14].

La alimentación para su correcto funcionamiento debe estar en el rango de 3.3 a 5 voltios y consume 2.5 mA máximo durante la conversión del valor censado, con una frecuencia de muestreo de 1Hz. Mide rangos de humedad

desde 20% a 80% con un margen de error del 5%; en cuanto a temperatura mide dentro del rango de 0 °C a 50 °C con un margen de error de  $\pm 2$  °C

### 2.7.6 Módulo ESP8266:



**Figura 2.11: Módulo de comunicación ESP8266**

El módulo mostrado en la figura 2.11 viene con librerías que permiten comunicarse a través de WiFi usando TCP y UDP, además configurar HTTP, mDNS, SSDP y servidores DNS, hacer actualizaciones OTA, utilizar un sistema de archivos en memoria flash, trabajar con tarjetas SD, servos, SPI y periféricos I2C [15].

Entre las principales características tenemos que cuenta con PLL (phase locked loop), reguladores, unidades de manejo de energía y un procesador integrado de 32 bits, el mismo que puede ser utilizado como procesador de aplicaciones. Para su alimentación se necesitan 3.3 voltios y consume menos de 10 uA, la potencia de salida de la señal llega a +19.5 dBm. Soporta los protocolos 802.11 b/g/n y se rige bajo el modelo TCP/IP.

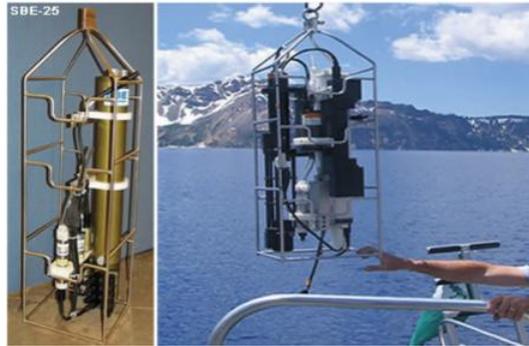
### 2.7.7 Arduino:

Es una plataforma electrónica de código abierto basado en hardware y software libre que implementa el lenguaje Processing/Wiring. Capaz de recibir señales analógicas y digitales y procesarlas, existen un gran número de sensores y módulos compatibles con esta placa lo que facilita la creación de prototipos más complejos.

En la familia de Arduino existen varias placas cada una se diferencia por sus capacidades y características, en este proyecto se emplea Arduino/Genuino UNO [16] [17].

Se empleó el Arduino/Genuino uno el cual cuenta con un microcontrolador ATmega328, tiene 14 pines digitales para entrada o salida de los cuales 6 pines manejan salidas PWM, además tiene 6 pines de entrada análogas; trabaja con un reloj de 16 MHz de velocidad y una memoria flash de 32 kb. Soporta voltajes de entrada desde los 5 a 12 voltios.

## 2.8 CTD SeaBird



**Figura 2.12: Equipo CTD de SeaBird**

Actualmente en el país los estudios de los medios ambientes marinos se los lleva a cabo con equipos costosos como es el caso del CTD (conductivity, temperature, depth ) el cual es un equipo diseñado para medir y almacenar datos de conductividad, temperatura y presión, también presenta puertos para agregar más sensores y medir variables tales como pH, fluorescencia, nivel de oxígeno, entre otros. Cabe destacar que los datos tomados por este equipo presentan una gran precisión y es allí donde radica su importancia y se justifica su gasto ya que está construido en materiales resistentes a la corrosión que soportan tanto agua dulce como salada. Físicamente se lo puede apreciar en la figura 2.12.

## 2.9 Computación en la Nube

El paradigma de IoT tiene dentro de sus pilares el de recoger los datos de sus dispositivos y estos convertirlos en información para el usuario final, aquí entra la computación en la Nube, su protagonismo y la necesidad de que en toda red de IoT este servicio se encuentre presente.

Hablar de computación en la nube según [18] se refiere a una situación en la cual el procesamiento de información se hace en un sitio remoto (en la nube), en lugar de hacerlo en un computador cercano, empleando una conexión a Internet.

Dentro de las características a destacar de trabajar con la nube esta:

La capacidad de trabajar en cualquier lugar.

- Seguridad
- Flexibilidad
- Actualizaciones automáticas de software
- Colaboración
- Consciencia Ambiental
- Recuperación de desastres

Existen diferentes tipos de Nubes, por una parte, basadas en su capacidad en la que se encuentran los siguientes [19]:

**SaaS:** El modelo de software como servicio, su objetivo consiste en hacer que la aplicación esté presente para el usuario a través de un navegador o el entorno de un programa [19].

**PaaS:** El modelo de plataforma como servicio, su enfoque es para desarrollar aplicaciones de software personalizadas. El método de acceso a la PaaS funciona de la misma manera que una aplicación de SaaS. [19].

**IaaS:** La infraestructura como servicio, es aquella donde las organizaciones tienen la habilidad de beneficiarse de las capacidades de servidor, por otra parte, el resto de la gestión de la plataforma y el software recae en la organización que la esté usando [19].

La otra clasificación que nos presenta la computación en la nube es mediante el tipo de acceso el cual puede ser:

**Nube pública:** Aquella que está dirigida para el público en general o para un gran grupo de industria [19].

**Nube privada:** Es la que es operada únicamente para una organización. Tiene la opción de ser administrada por la organización o por un tercero y puede existir dentro de la misma o fuera de la misma [19].

**Nube híbrida:** Se forma a partir de dos o más nubes, por ejemplo, privada y pública, que permanecen como entidades únicas pero que coexisten por tener tecnología que permite compartir datos o aplicaciones entre las mismas [19].

## CAPÍTULO 3

### 3. Estudio del medio y Diseño de la red y sus componentes

#### 3.1 Deterioro en la propagación:

Dentro de la atmosfera terrestre, el comportamiento de la propagación de una onda varia respecto al comportamiento que tiene en espacio libre y con línea de vista. Esto se da debido a efectos ópticos como la difracción, la refracción y reflexiones multi-trayectos [20].

- Difracción es el fenómeno de ondas electromagnéticas donde se redistribuye la energía dentro de un frente de onda cuando esta pasa por el borde de un objeto contundente, este fenómeno permite que las ondas de radio se propaguen en torno a esquinas.
- Refracción es el cambio en la dirección que sufren las ondas electromagnéticas, esto sucede cuando las ondas pasan de un medio a otro de distinta densidad y distinta velocidad de propagación.
- Reflexión Multi-trayecto es el efecto que se produce cuando la onda incidente muchas veces no penetra al objeto con que choca sino más bien se refleja y al existir múltiples objetos en el campo de visión se generan muchas copias diferentes de la onda que llega al receptor.

Entre los causantes del deterioro en la propagación tenemos:

- **Dispersión:** La dispersión se produce cuando una onda electromagnética es incidente sobre una superficie rugosa o irregular. Cuando se dispersa una onda, las reflexiones resultantes se producen en muchas direcciones diferentes.
- **Absorción:** Cada vez que una onda electromagnética está presente en un material distinto de espacio libre, habrá algo de pérdida de la fuerza con la distancia debido a las pérdidas óhmicas.
- **La despolarización:** Como se muestra anteriormente, los efectos de la transmisión y la reflexión dependerá de la orientación de la polarización relativa del incidente de onda al plano de incidencia. Esto puede tener el efecto de alterar la polarización de la onda transmitida y reflejada, en particular si el incidente de la onda es circular o elípticamente polarizada.

- **Refracción troposférica:** en la troposfera el contenido de vapor, los cambios de temperatura y la presión ocasionan que las ondas de radio sufran dispersión y refracción.

Cuando se presenta un decrecimiento grande de la refracción con respecto a la altura, se forma un conducto donde las ondas de radio quedan atrapadas.

Esto ocasiona inestabilidad en la comunicación, interferencias más allá del horizonte y afecta la línea de vista.

- **Conductos de evaporación:** Conducto superficial estrecho sobre superficies de agua. Se da debido a dos procesos:

Aire en contacto con el mar está saturado de vapor de agua o turbulencias que llevan vapor de agua a la zona superior.

Son mayores en los mares del Sur, en el verano y en las horas de la tarde. El conducto provoca transmisiones guiadas de baja atenuación y grandes alcances.

### 3.2 Presupuesto de enlace:

Para calcular el presupuesto de enlace en la modulación LoRa debemos considerar la potencia de transmisión y la sensibilidad del receptor como se lo hace en la ecuación 3.1, dado que estos valores nos permiten obtener la pérdida máxima que se admite en el receptor para poder demodular sin problemas [21].

$$Perdida_{m\acute{a}x}(dB) = P_{Tx}(dB) - S_{Rx}(dB) \quad (3.1)$$

Para simplificar el cálculo no consideramos las pérdidas en conectores ni cables, pero si la ganancia de las antenas.

La modulación LoRa al ser robusta ante las interferencias, pero vulnerable al ruido por su baja potencia de transmisión hacen de la SNR un factor decisivo al momento de analizar la potencia que llega al receptor. La sensibilidad en el receptor nos indica cual debe ser potencia mínima de llegada para que este pueda demodular correctamente los datos. Para ello utilizamos la ecuación 3.2:

$$S_{Rx}(dB) = -174 + 10 \log(BW) + NF(dB) + SNR \quad (3.2)$$

Donde:

$NF$ : es la figura de ruido en el receptor.

$SNR$ : es la mínima relación Señal- Ruido admitida en el receptor.

Calculando para nuestro escenario utilizamos las ecuaciones 3.1 y 3.2:

$$SNR = -20$$

$$NF = 6 \text{ dB}$$

$$BW = 300\text{KHz}$$

$$P_{Tx} = 23 \text{ dBm}$$

$$S_{Rx}(dB) = -174 + 10 \log(BW) + NF(dB) + SNR \quad (3.2)$$

$$S_{Rx}(dB) = -174 + 10 \log(300000) + 6(dB) - 20$$

$$S_{Rx}(dB) = -133 (dB)$$

$$Perdida_{m\acute{a}x}(dB) = P_{Tx}(dB) - S_{Rx}(dB) \quad (3.1)$$

$$Perdida_{m\acute{a}x}(dB) = 23(dB) + 133(dB)$$

$$Perdida_{m\acute{a}x}(dB) = 23(dB) + 133(dB)$$

$$Perdida_{m\acute{a}x}(dB) = 156(dB)$$

Lo cual indica que entre el emisor y el receptor se admite una pérdida de hasta 156 dB sin que haya problema en la demodulación.

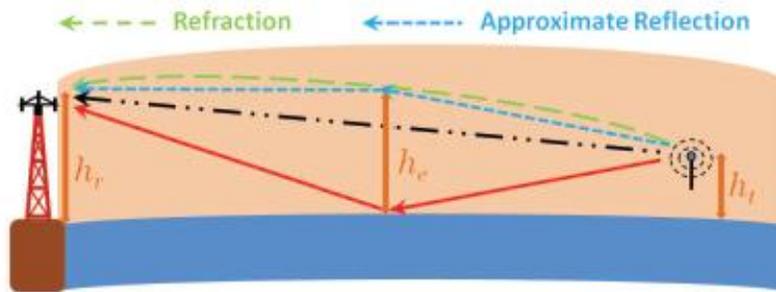
Para pérdidas en el espacio libre se utiliza la ecuación 3.3:

$$L_{FSL} = 32,45 + 20 \log(f) + 20 \log(d) \quad (3.3)$$

Donde  $f$  es la frecuencia de operación en MHz y  $d$  la distancia de separación entre equipos en Kilómetros.

A esta pérdida se le suma además las que se obtienen por los factores del entorno que en este caso son los propios del mar, teniendo así ligeros desalineamientos debido principalmente a la rugosidad de la superficie del mar y a la refracción de las ondas propagadas.

En la superficie del mar tropical casi todo el tiempo están presente los ductos de evaporación los cuales producen refracción de los rayos propagados. Por lo tanto, se considera un modelo que contemple estos efectos, llegando así al modelo de pérdida de trayectoria de tres rayos como se muestra en la figura 3.1 [22], el cual toma en consideración las señales atrapadas en un ducto troposférico, la señal reflejada sobre la superficie del mar y la señal directa con línea de vista.



**Figura 3.1: Modelo de los 3 rayos en ambiente marino**

Para el modelo de pérdida de trayecto de tres rayos, se supone que la capa del ducto de evaporación es horizontalmente homogénea. El coeficiente de reflexión para una onda polarizada verticalmente se aproxima a -1. Con estas suposiciones, el modelo de pérdida de trayectoria de 3 rayos se puede simplificar en la ecuación 3.4 [22]:

$$L_{3\text{-ray}} = -10 \log \left\{ \left( \frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 [2(1 + \Delta)]^2 \right\} \quad (3.4)$$

Con

$$\Delta = 2 \sin\left(\frac{2\pi h_t h_r}{\lambda d}\right) \sin\left(\frac{2\pi(h_e - h_t)(h_e - h_r)}{\lambda d}\right) \quad (3.5)$$

Donde  $h_t$  y  $h_r$  son las alturas del transmisor y del receptor en metros, y  $h_e$  es la altura de la capa del ducto troposférico.

Calculando:

Perdidas en el espacio libre:

$$L_{FSL} = 32,45 + 20 \log(f) + 20 \log(d) \quad (3.3)$$

$$L_{FSL} = 32,45 + 20 \log(868) + 20 \log(6,5)$$

$$L_{FSL} = 107.4786 \text{ dB}$$

Perdida de trayectoria de 3 rayos:

$$\Delta = 2 \sin\left(\frac{2\pi h_t h_r}{\lambda d}\right) \sin\left(\frac{2\pi(h_e - h_t)(h_e - h_r)}{\lambda d}\right) \quad (3.5)$$

$$\Delta = 2 \sin\left(\frac{2\pi(30)(1.5)}{(0.3456)(6.5)}\right) \sin\left(\frac{2\pi(75 - 1.5)(75 - 30)}{(0.3456)(6.5)}\right)$$

$$\Delta = 0.3148$$

$$L_{3\text{-ray}} = -10 \log\left\{\left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 [2(1 + \Delta)]^2\right\} \quad (3.4)$$

$$L_{3\text{-ray}} = -10 \log\left\{\left(\frac{0.3456}{4\pi(6.5)}\right)^2 [2(1 + 0.3148)]^2\right\}$$

$$L_{3\text{-ray}} = 39.0736 \text{ dB}$$

Pérdidas totales:

$$L = L_{FSL} + L_{3\text{-ray}} \quad (3.6)$$

$$L = 107.4786 + 39.0736$$

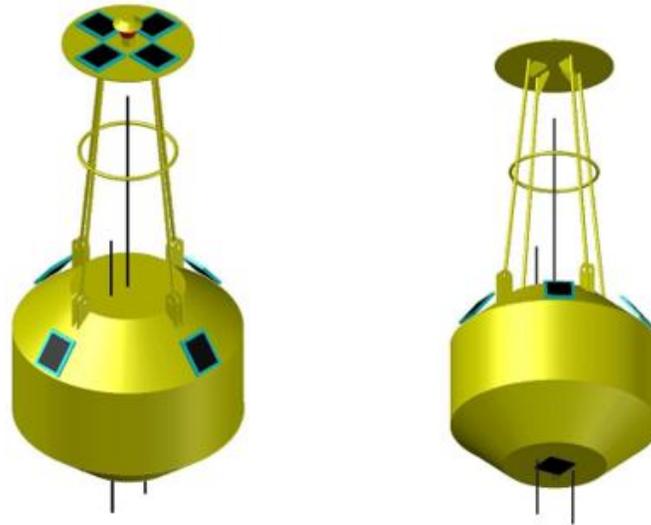
$$L = 146.5522 \text{ [dB]}$$

### 3.3 Diseño de boya oceanográfica:

Una boya es un objeto que flota sobre la superficie del mar u otro cuerpo de agua, puede estar fondeada o libre y cuya función es de señalar o recoger información, en este caso específico se diseñará una boya que recogerá y transmitirá información, a estas se las conoce como boyas oceanográficas. Las boyas oceanográficas están encargadas de medir ciertos factores medioambientales que se presentan en los medios marino para su posterior estudio y análisis.

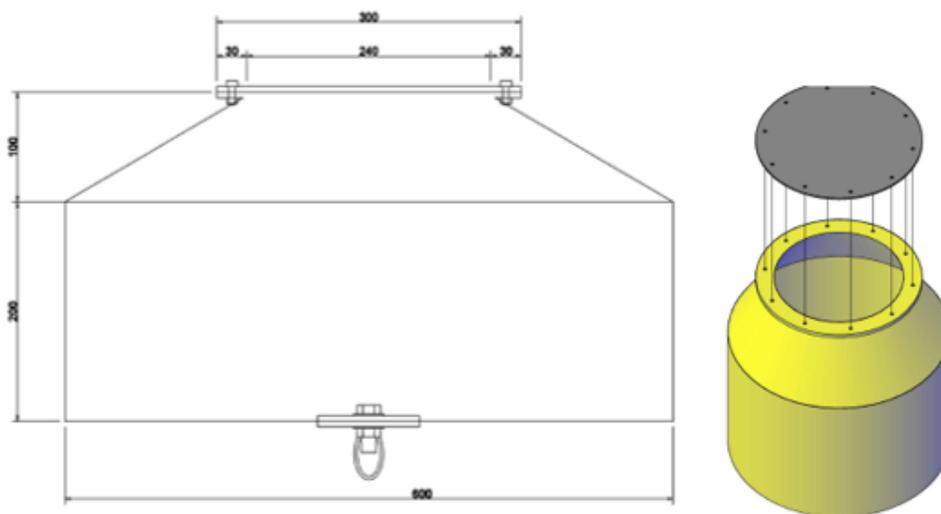
Como se aprecia en la figura 3.2 tenemos las medidas de nuestro diseño, el cual tiene 1.5 metros de altura por 70 centímetros de ancho y un interior hueco donde se protegen los componentes electrónicos, está calculada para que aguante un peso promedio de 75Kg. Elaborado con acero naval para obtener una boya robusta capaz de soportar un CTD sin ninguna complicación y que es resistente a las condiciones severas del ambiente marino.





**Figura 3.3: Vista lateral superior e inferior de la boya oceanográfica modelo 1**

En la figura 3.4 se presenta una propuesta alternativa para la boya la cual es de dimensiones más pequeñas pero del mismo material y características, la finalidad de esta es el estudio de corrientes marinas o de las mareas, este estudio se lo realiza dejando a la boya a la deriva a una distancia de más de un kilómetro de la costa y tomando los valores de latitud y longitud periódicamente para ver la variación de la posición de la boya respecto al tiempo, a más podemos anexar los demás sensores para tener más información disponible.



**Figura 3.4: Medidas y modelo 2 de boya oceanográfica**

### 3.4 Diagrama de Bloques y esquemas del sistema

#### 3.4.1 Diagrama de bloques general

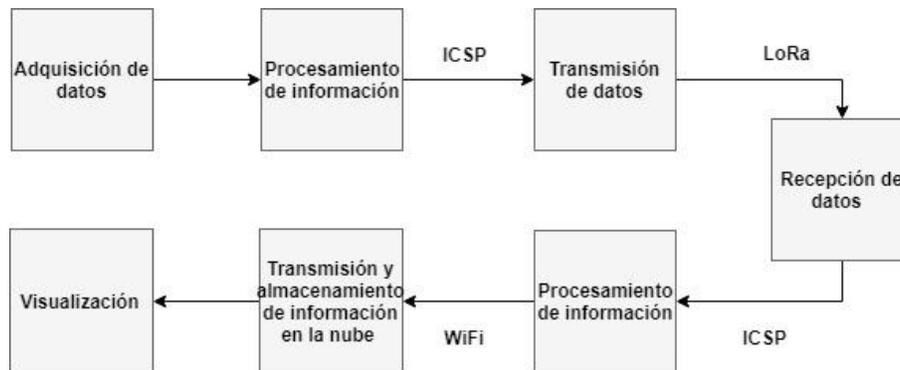


Figura 3.5: Diagramas de bloques y esquema del sistema

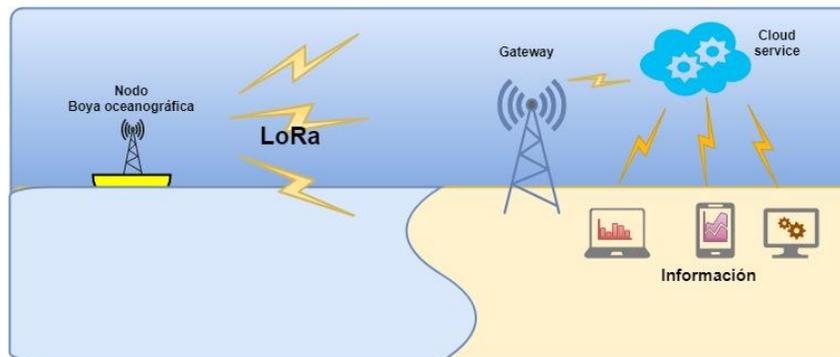


Figura 3.6: Esquema del sistema

#### 3.4.2 Esquema del transmisor:

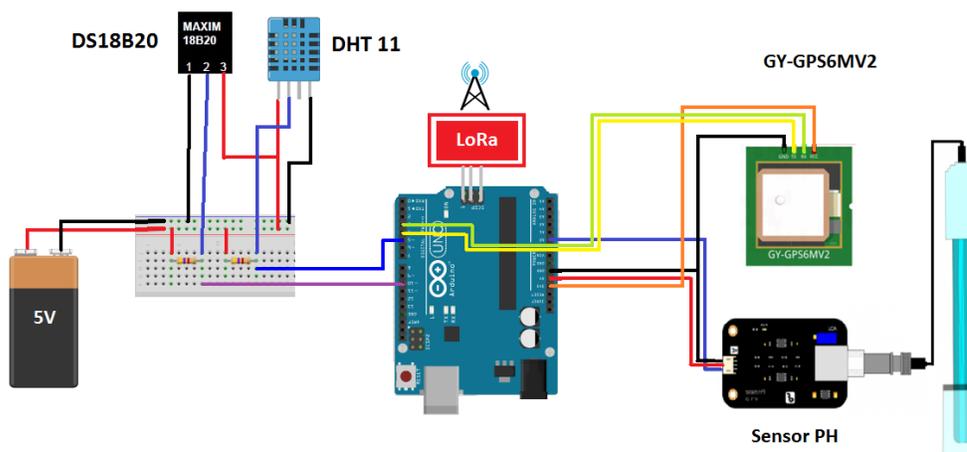
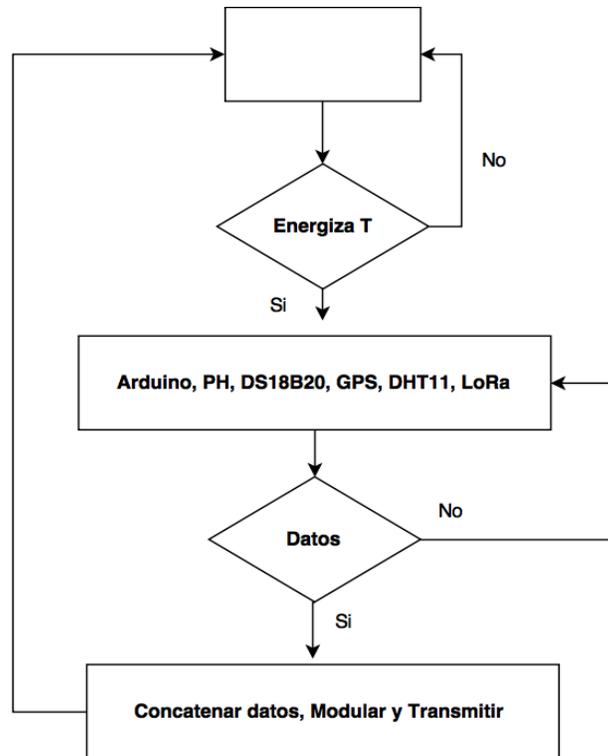


Figura 3.7: Esquema del transmisor

### Diagrama de bloque del transmisor:



**Figura 3.8: Diagrama de bloque del transmisor**

**Energiza T:** Mientras la fuente de alimentación del transmisor no presente problemas el sistema trabajará correctamente, caso contrario entrará en un estado fuera de servicio.

**Arduino, PH, DS18B20, GOS, DHT11, LoRa:** sensores y módulos trabajando.

**Datos:** si algún sensor falla, dejara de tomar datos sin afectar a los demás hasta que reciba el mantenimiento adecuado.

**Concatenar datos, Modular y transmitir:** mientras se estén generando datos, el procesador de Arduino se encargará de concatenarlos y crear una data que será modulada por LoRa para posteriormente transmitirla.

### 3.4.3 Esquema del receptor:

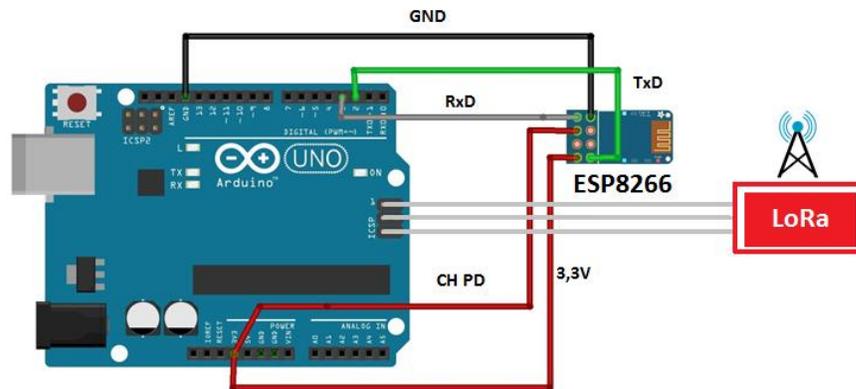


Figura 3.9: Esquema del receptor

### Diagrama de bloques del receptor

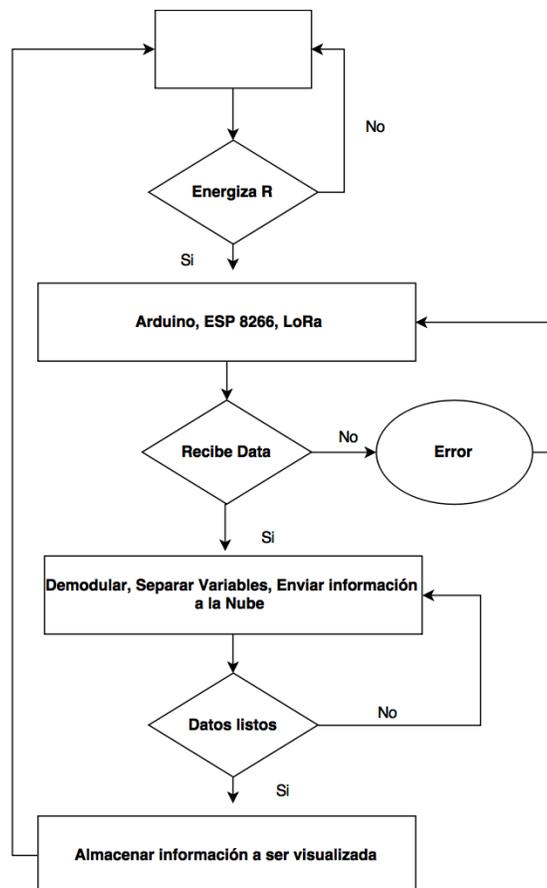


Figura 3.10: Diagramas de bloques del receptor

**Energiza R:** Mientras la fuente de alimentación del receptor no presente problemas el sistema trabajara correctamente, caso contrario entrara en un estado fuera de servicio.

**Arduino, ESP8266, LoRa:** módulos trabajando.

**Recibe Data:** Si la data no llega al receptor se activa una señal de alerta (Error) para tomar las medidas correctivas, caso contrario se continua con el proceso.

**Demodular, Separar variables, Enviar información a la nube:** El módulo LoRa se encarga de recibir la señal y demodularla para que luego la placa de Arduino la separe por variables que serán enviadas a la nube vía wifi por el módulo ESP 8266.

**Datos listos:** Se verifica si los datos están listaos para ser enviados.

**Almacenar información a ser visualizada:** Los datos enviados se convertirán en información útil y estarán a la disposición de usuarios finales.

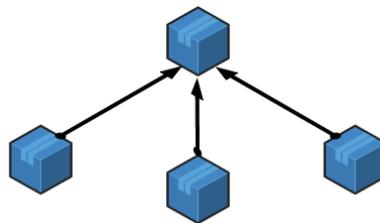
### 3.5 Topología de la Red

El diseño de una red empieza por los elementos involucrados, su disposición o estructura física y la función que toma cada uno entre otras características.

Esta red de sensores de variables oceanográficas es de tipo inalámbrico, basados en el paradigma de IoT se recomienda la siguiente topología física.

#### 3.5.1 Red en Estrella

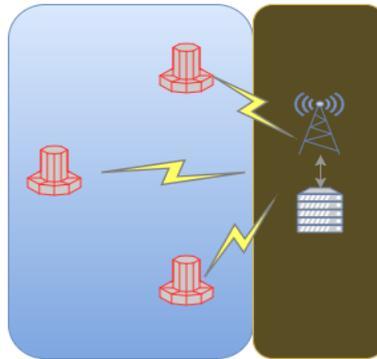
El diseño se logra a través de dispositivos finales conectados a un dispositivo intermedio central, esta disposición de sus elementos es ampliamente usada debido a la facilidad de instalación, la posibilidad de ser escalable y un manejo de fallos más viable que otras configuraciones.



**Figura 3.11: Topología de Red Estrella**

En su primera parte este tipo de arreglos tiene a los dispositivos finales o nodos que corresponden a la boya oceanográfica equipada con los sensores y el módulo de comunicación inalámbrico basado en LoRa.

El otro elemento dentro de esta topología de red es el que concentra la información recibida por los nodos para poder distribuirla hacia otro punto.



**Figura 3.12: Esquema de red estrella**

El esquema nos muestra la parte del mar donde tenemos a los nodos formados por las boyas oceanográficas que están censando las variables y estas son enviadas vía radiofrecuencia usando LoRa a la costa en una estación donde se concentra los datos recogidos, se los procesa y son llevados a la nube para su visualización en cualquier punto remoto.

Las zonas escogidas para este proyecto dentro de la provincia de Santa Elena para analizar los parámetros a través de las boyas oceanográficas son las siguientes:

- La entrada

Lat: -1,735580 Long: -80,780465

- Las Nuñez

Lat: -1,742571 Long: -80,776159

- Olon

Lat: -1,797560 Long: -80,758634

- Simón Bolívar

Lat: -1,872024 Long: -80,737708

- CENAIM (Centro Nacional de Acuicultura e Investigaciones Marinas)

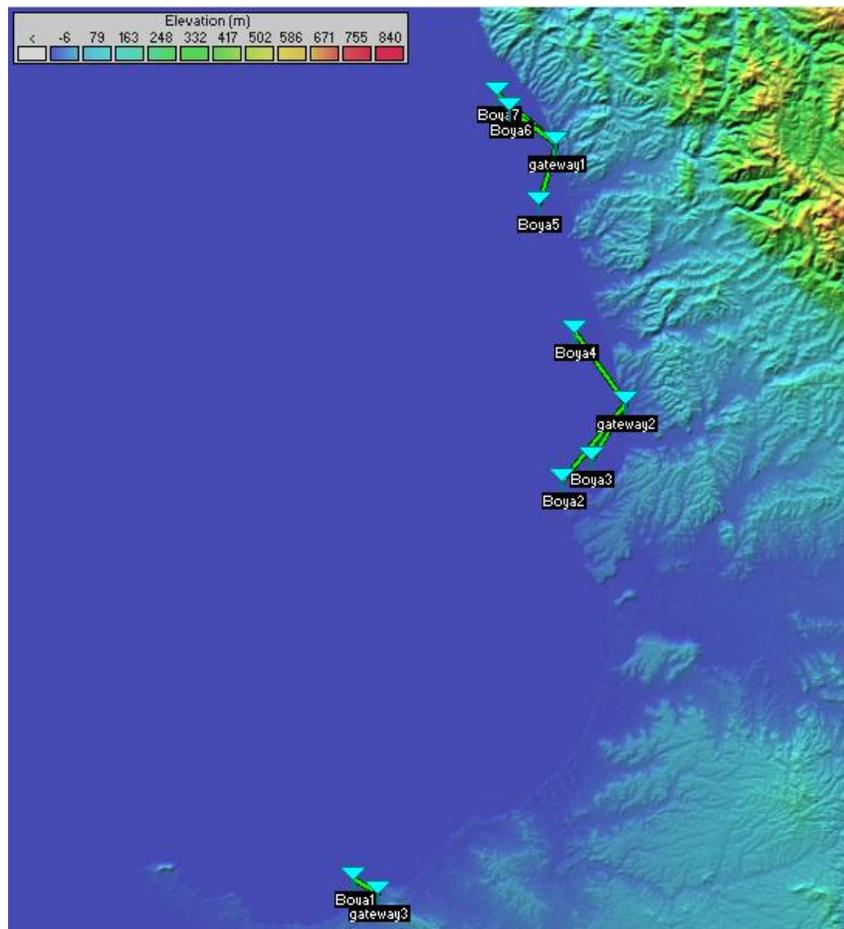
Lat: -1,955175 Long: -80,729301

- San Pedro

Lat: -1,972132 Long: -80,747575

- Ballenita

Lat: -2,204885 Long: -80,872137

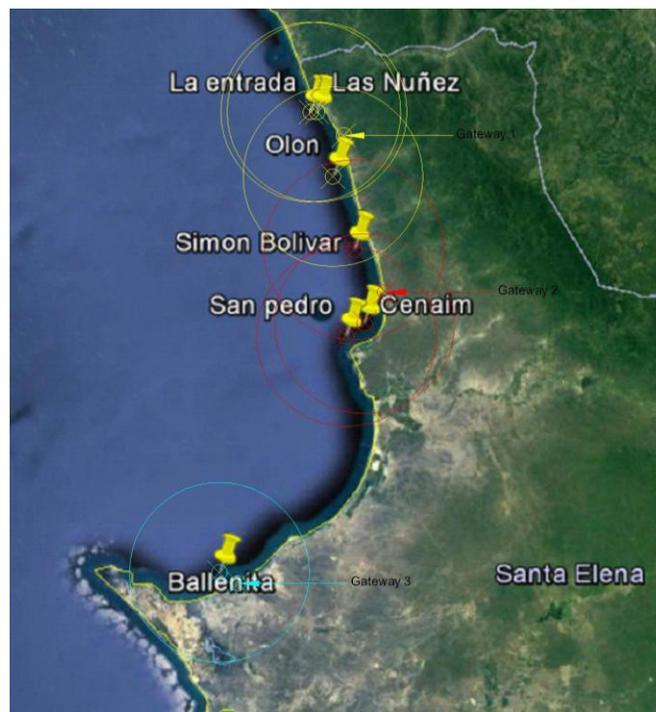


**Figura 3.13: Distribución geográfica de los nodos y gateways**

Estas ubicaciones han sido escogidas bajo el interés de un proyecto de vínculos con la sociedad de ESPOL, en el que los estudiantes hacen salidas de campo y miden de forma manual algunas de las variables oceanográficas. La selección de los lugares puede cambiar en relación con el deseo de medir datos de otras playas que podrían resultar de mayor interés para algún fin, pesquero, investigación etc.

La ubicación de los nodos en las distintas playas ha sido escogida a una distancia de la costa de 2km aproximadamente, y cada nodo con un radio de 10 km de cobertura, este valor puede variar y ser de mayor alcance según las especificaciones de los fabricantes de módulos de comunicación que usan LoRa.

La ubicación y selección del número de gateways se la escoge en base al radio de cobertura de los nodos, estos generan una zona de cobertura y al superponer estas zonas se generan intersecciones en la cual la que sea común al mayor número de boyas es donde debe ir el Gateway para lograr un punto que concentre la información y no incurrir en ubicar un concentrador por cada playa.



**Figura 3.14: Radio de cobertura de los nodos**

La figura 3.14 nos deja apreciar que estas disposiciones de siete playas generan tres zonas de intersección y junto a ellas el respectivo Gateway, producto de ubicarlo en la zona de intersección del radio de cobertura de los nodos.

En la siguiente tabla se describe la ubicación de los gateways junto a sus coordenadas para cada una de estas tres zonas

Playas cubiertas			Gateway	Coordenadas	
			Ubicación cercana	Latitud	Longitud
La Entrada	Las Núñez	Olon	Las Núñez	-1,763631	-80,767143
Simón Bolívar	CENAIM	San Pedro	Valdivia	-1,914999	-80,725992
Ballenita			Ballenita	-2,200416	-80,870967

**Tabla 2: Playas cubiertas**

Las ubicaciones de estos gateways quedan en zonas donde hay acceso a internet para que puedan transmitir la información a la nube.

Esta disposición de nodos y gateways forma subsistemas que son de topología estrella, dando así dos subsistemas que comprenden al menos 3 nodos y un gateway, y un subsistema formado al menos por un nodo y un gateway, todos estos pueden tener crecimiento ya sea añadiendo más boyas, lo cual los concentradores si están capacitados para soportar mayor recepción de datos para ser llevados a la nube.

El crecimiento de la red va enfocado a la necesidad de tener un mayor conocimiento de las variables del mar y esto puede ser utilizado por terceros para sacar algún beneficio económico, de investigación etc. Para ello este aumento puede ser medido a través de un parámetro conocido como Fiabilidad de sistema.

## CAPÍTULO 4

### 4. ANALISIS DE RED PROPUESTA

#### 4.1 Análisis de la propagación

Las condiciones que se planteó mediante el estudio de la propagación se comparan con el software RadioMobile que simula el enlace de un escenario, en este caso analizamos la Boya ubicada en la playa de San Pedro y el gateway en el poblado de Valdivia.

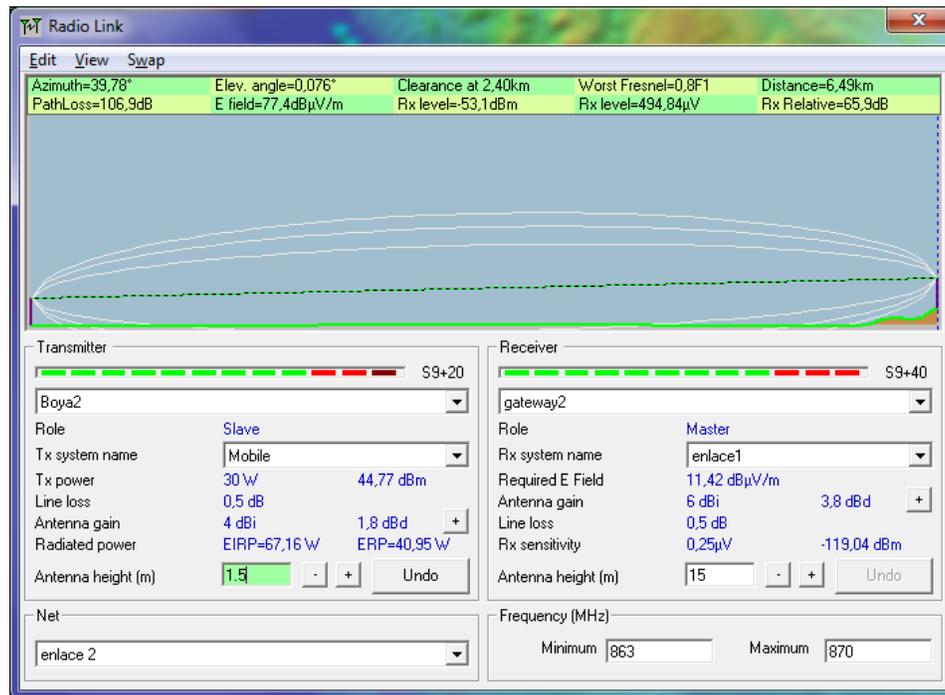


Figura 4.1: Simulación en RadioMobile de un escenario

#### 4.2 Fiabilidad del Sistema

Es la probabilidad de que la estructura que se plantea funcione durante un tiempo determinado bajo ciertas condiciones operativas propias del diseño del sistema a través de sus componentes [23].

El objetivo consiste en que un mayor entendimiento de las fallas de las componentes involucradas ayudará en la identificación de las futuras mejoras que pueden darse en los diseños de los sistemas para incrementar su tiempo de vida o al menos para controlar las consecuencias perjudiciales de las fallas.

Nuestro sistema se ve conformado por diferentes elementos:

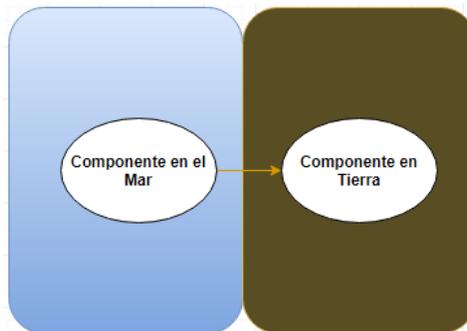
### Componente en el mar

Está conformado por la boya oceanográfica, junto al sistema de comunicación compuesto por el sensor de variables oceanográficas y los módulos que usan el protocolo LoRa.

### Componente en la tierra

Está conformado por la base donde se reciben los datos de los sensores

En el estudio de fiabilidad es necesario la independencia entre componentes o elementos, esto se ve reflejado en este proyecto tanto en las componentes del mar como los que están en Tierra, al tener las boyas oceanográficas separadas físicamente la una no influye sobre alguna otra, los componentes internos que conforman el sistema de comunicación, los sensores, antenas y alimentación eléctrica no se ven afectados por otra boya, y los elementos receptores de datos no influyen sobre otro posible receptor basados en LoRa.



**Figura 4.2: Configuración en serie de componentes en mar y tierra**

En este proyecto como parte inicial se plantea esta configuración en la que estén unidas mediante una disposición de sus componentes en Serie [24].

El análisis de fiabilidad para componentes en Serie viene dado por la siguiente expresión

$$Fiabilidad\ en\ Serie = \prod_{i=1}^n P(C_i) \quad (4.1)$$

Donde  $P(C_i)$  es la probabilidad de funcionamiento de cada componente involucrada en la configuración serie.

Para nuestro sistema la fiabilidad sería el producto de la probabilidad de sus 2 componentes en los distintos medios.

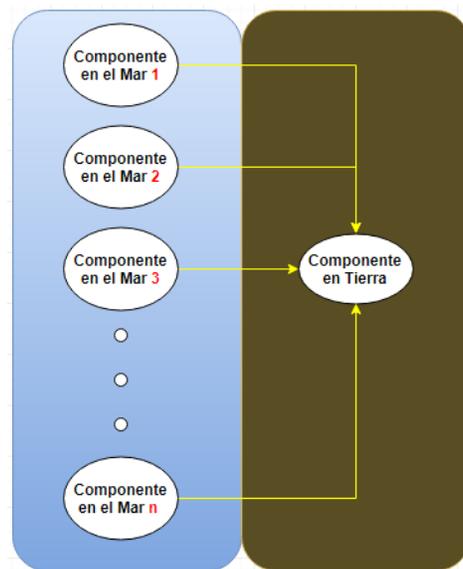
$$Fiabilidad\ en\ Serie = P(Componente\ en\ el\ Mar) * P(Componente\ en\ Tierra) \quad (4.2)$$

Esta configuración tiene la característica que, si una de sus componentes falla, el sistema en general lo hará de igual manera, generando inconvenientes en la transmisión de datos o el procesamiento de estos.

El tipo de problemas que se puede suscitar en la componente que está en el mar, puede ser debido a un inconveniente en la boya oceanográfica, en su estructura o también la parte electrónica en la que consta la alimentación eléctrica, el módulo de comunicación inalámbrica y la antena.

La componente en tierra que corresponde al centro de recepción de datos de los sensores puede presentar fallos en el receptor, en el equipo que procesa los datos etc.

Se puede formar otras configuraciones para aumentar la fiabilidad del sistema, estas tendrán sus ventajas y desventajas que se describe a continuación



**Figura 4.3: Configuración en paralelo de componentes en el mar**

Esta configuración presenta en su parte del mar, más componentes en una distribución en paralelo y están unidas mediante configuración en serie a la componente en tierra.

Para la parte en paralelo un sistema, su fiabilidad se define como [24]:

$$Fiabilidad\ en\ Paralelo = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P(C_i)) \quad (4.3)$$

Donde  $P(C_i)$  es la probabilidad de funcionamiento de cada componente involucrada en la disposición paralelo.

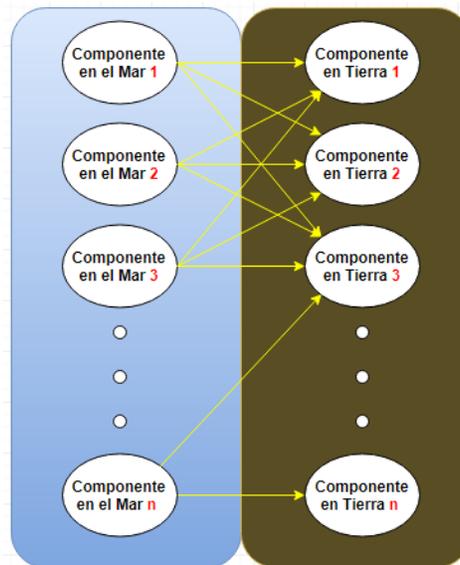
En este arreglo la fiabilidad del sistema sería de la siguiente manera

$$Fiabilidad\ del\ sistema = ( Fiabilidad\ en\ Paralelo ) * [ P(Componente\ en\ Tierra ) ] \quad (4.4)$$

Esta combinación en la parte donde se dispone las componentes en paralelo mejora la posibilidad de tener más opciones de la recepción de datos hacia la base que está en Tierra.

La desventaja que presenta esta configuración es la única componente en Tierra, resultando que, si esta tiene una falla, el sistema y la comunicación se ve interrumpida debido a que al estar en una disposición en serie la fiabilidad resulta el producto de las componentes anteriores en Mar con la que está en la Tierra.

La siguiente configuración presenta cambios en la componente en Tierra



**Figura 4.4: Configuración mixta de las componentes**

Esta configuración nos presenta diversas opciones por cada medio donde se encuentran las componentes, dando la apertura a más opciones para que el sistema funcione.

La fiabilidad para este sistema se mide de la siguiente manera

$$Fiabilidad\ del\ sistema = P(Componentes\ en\ el\ Mar) * P(Componentes\ en\ Tierra) \quad (4.5)$$

Donde:

$P(Componentes\ en\ el\ Mar)$  = Probabilidad de funcionamiento de componentes en una configuración en paralelo que se encuentran en el Mar.

$P(Componentes\ en\ Tierra)$  = Probabilidad de funcionamiento de componentes en una configuración en paralelo que se encuentran en la Tierra

Ambas componentes están en paralelo, por lo que el análisis de la fiabilidad resulta como el producto de ambas partes, es decir encontrar la fiabilidad en paralelo del primer medio que está en el mar y encontrar la que está en Tierra.

Este arreglo de tener en ambos medios configuraciones en paralelo es mucho mejor debido a que nos da más opciones para que la comunicación exista en distintas vías sin embargo el implementar mayor número de componentes se traduce en un mayor gasto monetario de elementos tales como gateways, nodos, antenas, boyas etc.

La topología que presenta el implementar una red basada en LoRa es tipo estrella, esta configuración presenta a sus nodos comunicados con un solo concentrador que hace de punto central, estos nodos no están conectados entre sí. Finalmente, esta comunicación que existe entre los nodos y el Gateway es llevada a la nube para que se convierta en información útil para algún propósito.

La implementación de una red de sensores en el mar conlleva un esquema para armar una topología que ayude a el estudio de las variables oceanográficas teniendo en cuenta el número de componentes involucradas sea adecuado en base a costo y capacidad de los equipos para que el funcionamiento de la red sea adecuado.

Los elementos que forman los nodos son:

- Boya oceanográfica (parte física)
- Equipo CTD o sensores de Variables oceanográficas
- Antena
- Alimentación eléctrica
- Módulos de comunicación basados en LoRa

Los elementos que forman el concentrador son:

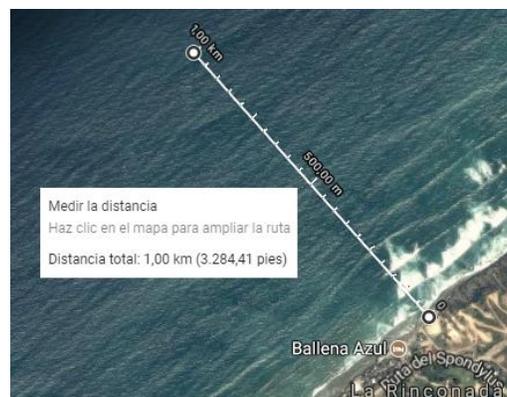
- Gateway
- Antena
- Alimentación Eléctrica
- Módulo de comunicación basados en Lora

Con esta información se muestra una topología en estrella en una de las playas de la zona escogida previamente de Santa Elena, que corresponde a “La Rinconada” ubicada en la zona de “la Entrada”.



**Figura 4.5: Topología propuesta en la playa “La Rinconada”**

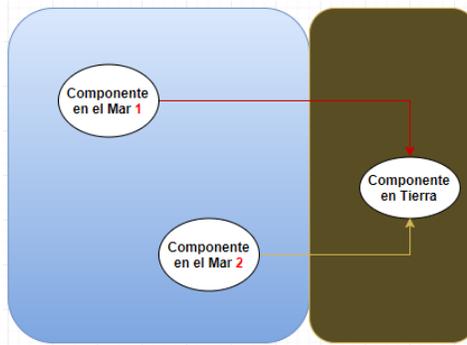
En esta playa las disposiciones de las componentes de la red serian de la siguiente manera



**Figura 4.6: Prueba del alcance en la playa “La Rinconada”**

Se toma como ejemplo la distancia de 1 Km, aunque esta puede variar dependiendo del estudio que se quiera hacer, llegando ser hasta 2 Km.

El modelo propuesto que corresponde a este ambiente



**Figura 4.7: Configuración propuesta inicial**

La configuración muestra dos componentes en el mar que funcionan como nodos en diferentes posiciones para hacer uso de distintas mediciones de variables oceanográficas y que pueda existir una mayor cantidad de información acerca de esta zona escogida.

Esta disposición de dos nodos y un concentrador se la recomienda en base a ser una distribución en la que se usa un número de dos nodos con los que se pueda hacer ambos estudios en función de la distancia para medir las variables oceanográficas en distintos puntos de interés del mar, junto a esto el costo se limita a dos boyas y que estos componentes se conecten a un solo punto central el cual está en tierra y es menos susceptible al deterioro por encontrarse en un mejor ambiente.

Estos elementos en el mar se comunican con un solo concentrador de información basado en el protocolo LoRa con el cual se envía mediante un Gateway la información a la Nube para que estos datos que son recogidos por los sensores de la boya oceanográfica se presenten en cualquier sitio remoto a través de internet.

La fiabilidad de esta configuración se presenta bajo el esquema de paralelo en los nodos conectados en serie al punto central o concentrador de la medida de los datos de los sensores.

$$Fiabilidad\ del\ sistema = P(Componentes\ en\ el\ Mar) * P(Componentes\ en\ Tierra)$$

$$Fiabilidad\ del\ sistema = \left( 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P(C_i)) \right) * P(Componentes\ en\ Tierra)$$

Se escoge una  $P(C_i)$  que es la probabilidad de funcionamiento de cada componente, en este caso como ejemplo nos basamos en un posible escenario adverso del 60% para cada componente en el mar, junto a esto la probabilidad de la componente en

Tierra se escoge un porcentaje de 60% como parte también de una condición probablemente mala.

Entonces se calcula esta fiabilidad para el caso de la playa de "La Rinconada"

$$P(\text{Componentes en el Mar}) = (1 - \prod_{i=1}^n (1 - P(C_i)))$$

$$P(\text{Componentes en el Mar}) = (1 - (1 - 0.6) * (1 - 0.6))$$

$$P(\text{Componentes en el Mar}) = 0.84$$

$$P(\text{Componentes en Tierra}) = 0.6$$

$$\text{Fiabilidad del sistema} = (0.84) * (0.6)$$

$$\text{Fiabilidad del sistema} = 0.504$$

Es decir, se tendría una fiabilidad de que este sistema en esta playa tenga al menos más del 50% de posibilidad de que funcione adecuadamente, cabe recalcar que esto crece en función de mejorar la probabilidad de funcionamiento que se encuentra en cada componente que hace de nodo esto involucra un buen material, lo que conlleve una mejora significativa de la boya oceanográfica, mejores transmisores basados en LoRa, mejor antena, etc.

La fiabilidad en esta configuración tiende a aumentar en relación con el número de nodos y su probabilidad de funcionamiento, esta última es una variable que dependerá de varios factores tales como el estado físico de la boya, condiciones atmosféricas, condiciones eléctricas del equipo, entre otras, alguno de los valores de las combinaciones de las probabilidades se puede apreciar en la siguiente tabla

Número de nodos	Probabilidad 1 de Nodos	Probabilidad 1 de Punto Central	Fiabilidad 1
2	0,6	0,6	0,504
3	0,6	0,6	0,5616
4	0,6	0,6	0,58464
5	0,6	0,6	0,593856
Número de nodos	Probabilidad 2 de Nodos	Probabilidad 2 de Punto Central	Fiabilidad 2
2	0,7	0,7	0,637
3	0,7	0,7	0,6811
4	0,7	0,7	0,69433
5	0,7	0,7	0,698299
Número de nodos	Probabilidad 3 de Nodos	Probabilidad 3 de Punto Central	Fiabilidad 3
2	0,8	0,8	0,768
3	0,8	0,8	0,7936
4	0,8	0,8	0,79872
5	0,8	0,8	0,799744

Tabla 3: Fiabilidad vs número de nodos

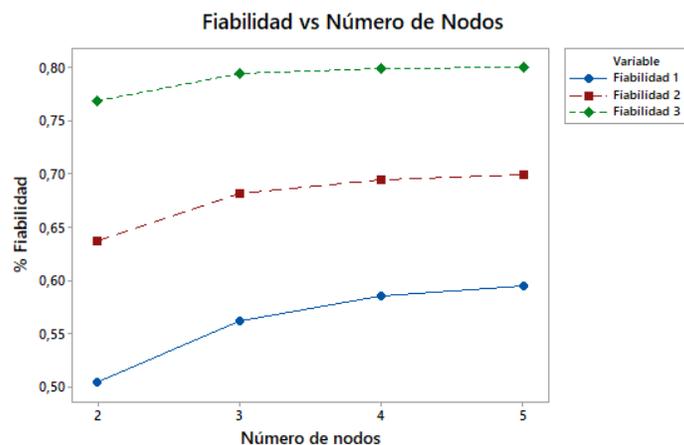


Figura 4.8: Curvas de Fiabilidad vs número de nodos

Esto indica que la tendencia es que a medida que crece el número de componentes mejora la probabilidad de operación del sistema puesto que existen mayores maneras

de que lleguen los datos de los sensores, cabe recalcar que esto ocasiona un mayor gasto monetario al tener que ser implementado y desplegado un mayor número de boyas oceanográficas siendo así también mayor cantidad de datos con lo que la información que recogen los nodos se vuelve más precisa para un mayor procesamiento y análisis por lo que se deja a consideración de la necesidad de los operadores del sistema en base a sus objetivos que quieran alcanzar al censar variables de interés para ellos.

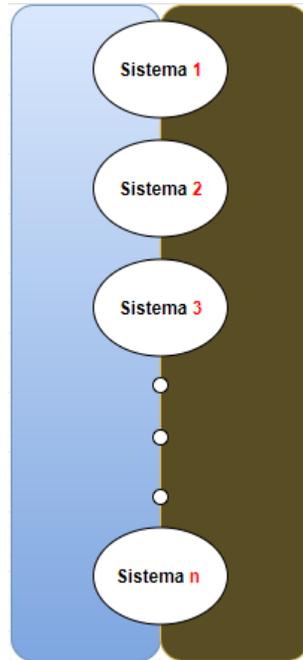
Este tipo de sistema se replica en cada zona escogida a lo largo del perfil costanero de Santa Elena que cubre aproximadamente 150 Km.



**Figura 4.9: Perfil Costanero de Santa Elena**

El número de estaciones que se quiera implementar a lo largo del perfil costanero de la provincia se deja a consideración de las entidades interesadas en la medición de las variables oceanográficas, teniendo en cuenta que mientras más estaciones tengamos en nuestras playas, mayor conocimiento se tendrá sobre los datos del mar lo que se traduce en información útil para distintos sectores tales como la investigación, el comercio etc.

El incrementar las subredes de sensores oceanográficos en distintos lugares da paso a tener un sistema más robusto de medición lo que da paso a una red de sensores inalámbricos basados en LoRa.



**Figura 4.10: Configuración en paralelo de los subsistemas**

Estos 'n' subsistemas conforman el sistema de Adquisición de datos de una red de sensores inalámbricos que miden variables oceanográficas en el perfil costanero de Santa Elena, usando la Tecnología Lora

Este sistema general se puede encontrar su fiabilidad al igual que en los subsistemas por cada playa, en este caso la disposición que se encuentran estas subredes es en paralelo por lo que la fiabilidad de la red en general tiene la siguiente expresión:

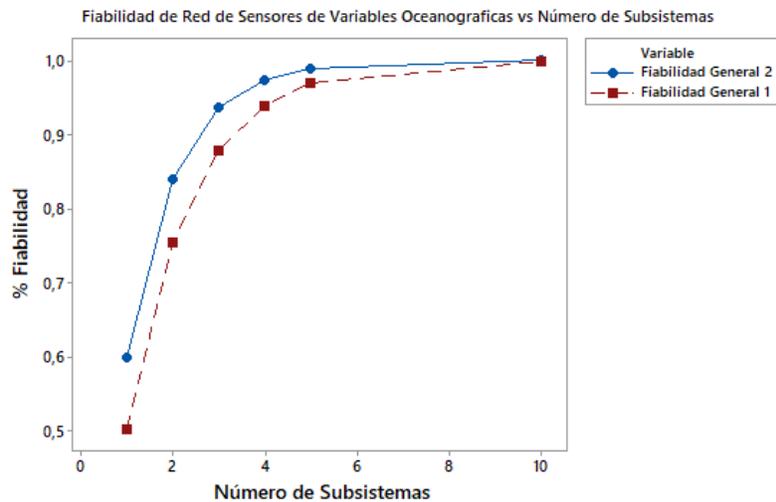
*Fiabilidad del sistema = Fiabilidad en Paralelo*

$$Fiabilidad\ del\ sistema = (1 - \prod_{i=1}^n (1 - P(C_i)))$$

Donde en este caso cada  $P(C_i)$  representa la probabilidad de funcionamiento de cada subsistema, es decir de cada lugar de análisis y medición a lo largo del perfil costanero de la provincia.

Numero de Subsistemas	Probabilidad Subsistema	Fiabilidad General
1	0,504	0,504
2	0,504	0,753984
3	0,504	0,877976
4	0,504	0,939476
5	0,504	0,96998
10	0,504	0,999098
Numero de Subsistemas	Probabilidad Subsistema	Fiabilidad General
1	0,6	0,6
2	0,6	0,84
3	0,6	0,936
4	0,6	0,9744
5	0,6	0,98976
10	0,6	0,999895

**Tabla 4: Fiabilidad vs número de subsistemas**



**Figura 4.11: Curvas de Fiabilidad vs número de subsistemas**

La red de sensores general a lo largo de Santa Elena usando tecnología LoRa presenta un porcentaje aceptable tomando como ejemplo una probabilidad de funcionamiento baja, frente a los actuales sistemas implementados que lo hacen de manera manual en los que se recogen pocos datos y que deben ser ingresados o cargados a un sistema, lo que hace del estudio un proceso que demora más tiempo, lo que conlleva un procesamiento de datos y análisis lento para alguna toma de decisión.

El diseño de la red incluye el hecho de usar el CTD como elemento que conforme el nodo ya que tiene una alta probabilidad de buen funcionamiento y es reconocido en

el ámbito profesional para las mediciones de variables en el mar con un preciso cálculo sobre estos datos, su robustez física por el material que está hecho, la variedad de sensores que posee entre otras característica que destacan a este equipo, solo presentando la desventaja de su precio el cual puede ser justificado por las entidades que podrían sacarle un gran provecho, resultando así una inversión viable al largo plazo.

Esta arquitectura no puede solo depender de un sensor que es costoso por lo que se puede optar por nodos de menor precio pero que cumplan las exigencias de las mediciones de las variables oceanográficas, lo que resulta en prototipos de boyas que junto a la instalación de los diferentes sensores conformen nodos que logren ser de un fácil manejo y buen funcionamiento para desplegarlos a lo largo del perfil costanero.

En lo que corresponde al elemento concentrador que recibe la información de los nodos para ser llevados a la red, este puede mejorar en base a distintos parámetros siendo los de mayor importancia la zona de cobertura de la comunicación y el número de nodos que admite, esto varía de acuerdo con el fabricante en precio y compatibilidad entre los nodos y gateways.

La red propuesta de siete playas, que contiene tres subsistemas en paralelos, dos de ellos formados por tres nodos y un gateway y el ultimo formado por un nodo y una gateway, tendría la siguiente expresión de fiabilidad:

*Fiabilidad del sistema = Fiabilidad en paralelo de los tres subsistemas*

Al tener dos subsistemas similares en disposición, tres boyas en paralelo que actúan como nodos, estas en serie a un gateway, su expresión de fiabilidad quedaría de la siguiente manera:

*Fiabilidad del subsistema 1 = P(Componentes en el Mar) \* P(Componentes en Tierra)*

$$Fiabilidad\ del\ subsistema\ 1 = \left( 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P(C_i)) \right) * (P(Componentes\ en\ Tierra))$$

Cada boya de medición conlleva una probabilidad de funcionamiento, y de igual manera para el gateway, por lo que:

$$Fiabilidad\ del\ subsistema\ 1 = P(S_1) \\ = \left[ 1 - [(1 - P(C_1)) * (1 - P(C_2)) * (1 - P(C_3))] \right] * [P(C_4)]$$

Siendo S1 el subsistema uno, C1, C2, C3 las componentes en el mar y C4 la componente en tierra

Para el subsistema 2 queda de manera análoga, con sus respectivas componentes del mar C5, C6, C7 y la que está en tierra C8 y S2 como subsistema dos

$$\begin{aligned} \text{Fiabilidad del subsistema 2} &= P(S_2) \\ &= \left[ 1 - \left[ (1 - P(C_5)) * (1 - P(C_6)) * (1 - P(C_7)) \right] \right] * [P(C_8)] \end{aligned}$$

El ultimo subsistema S3 se compone de dos componentes en serie, una boya y un gateway, por lo que lo denotaremos C9 y C10 respectivamente a las probabilidades de funcionamiento, dando la expresión:

$$\text{Fiabilidad del subsistema 3} = P(S_3) = [P(C_9)] * [P(C_{10})]$$

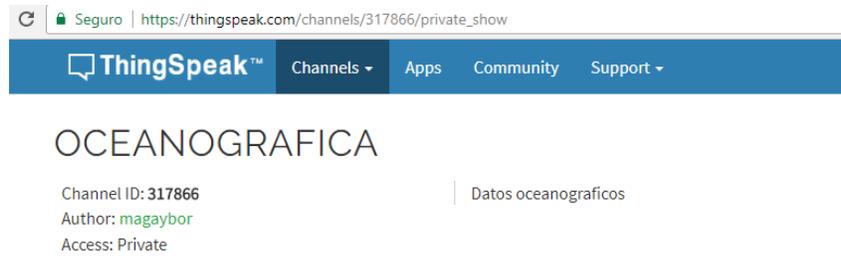
El resultado al tener todos los subsistemas previamente calculados resulta la siguiente fiabilidad general

$$\text{Fiabilidad del sistema} = \left[ 1 - \left[ (1 - P(S_1)) * (1 - P(S_2)) * (1 - P(S_3)) \right] \right]$$

Esta expresión nos indica la fiabilidad al conjunto formado por la disposición de los 3 subsistemas, esta dependerá de la probabilidad de funcionamiento de cada subsistema lo que conlleva que esto tiene relación con la probabilidad de funcionamiento de cada componente que puede ser en el mar o en tierra, por lo tanto el análisis para mejorar este valor de esta ecuación, incurre en tener mejores boyas hechas de un buen material, sensores de alta resistencia a las condiciones del mar, tener elementos de comunicación que tengan una comunicación estable, un lugar adecuado para la ubicación del gateway entre otros factores que pueden afectar a cada uno de las componentes de este sistema.

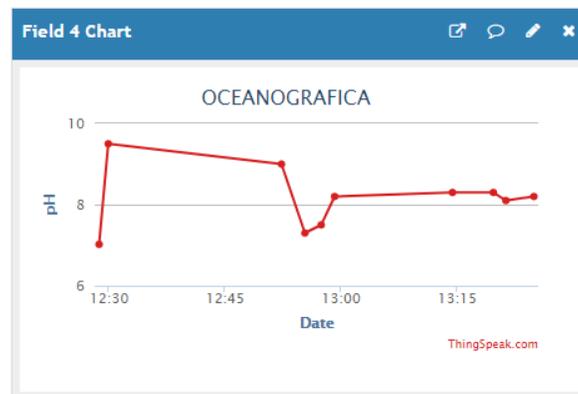
### 4.3 Centralización de la Información en la Nube

La elección de la nube, es abierta y se recomienda que dentro de sus características sea orientada a redes IoT, para este proyecto se usa 'Thingspeak', esta nube tiene integrada la aplicación para el procesamiento y visualización de los datos la ayuda de MATLAB.



**Figura 4.12: Cuenta en la Nube ThingSpeak**

Es necesario crear una cuenta como se indica en la figura [insertar número de foto], seguir los pasos para enlazarla con la boya oceanográfica para que reciba los datos de las mediciones de los sensores. Las variables oceanográficas medidas por los nodos pueden ser vistas a través de una serie de tiempo de forma independiente, para su respectivo análisis por parte de las entidades o personas interesadas en el estudio de estas.



**Figura 4.13: Datos presentados en la Nube ThingSpeak**

Los datos recogidos por los sensores ubicados en la boya oceanográfica se muestran en ThingSpeak al acceder por un navegador. La información se presenta a través de una serie de tiempo la que indica el desarrollo del comportamiento de alguna de las variables que miden los sensores montados sobre las boyas.

Este último proceso completa el sistema de la red de sensores inalámbricos que miden variables oceanográficas en la que finalmente se puede visualizar de forma remota y en periodos de tiempos constantes los datos de las boyas oceanográficas ya convertidos en información para el usuario, dando así un mayor monitoreo de las variables al tener un mayor muestreo lo que hace que la información sea más precisa.

#### 4.4 LoraWan frente a otras tecnologías

LoRaWAN es un protocolo dentro de las redes LPWAN (largo alcance y baja potencia). Está impulsado por LoRa Alliance, una asociación abierta sin ánimo de lucro iniciada por líderes industriales para estandarizar una red global que permita extender la tecnología del Internet de las Cosas (IoT), las smart cities y las aplicaciones industriales.

Feature	LoRaWAN	Narrow-Band	LTE Cat-1 2016 (Rel12)	LTE Cat-M 2018 (Rel13)	NB-LTE 2019(Rel13+)
Modulation	SS Chirp	UNB / GFSK/BPSK	OFDMA	OFDMA	OFDMA
Rx bandwidth	500 - 125 KHz	100 Hz	20 MHz	20 - 1.4 MHz	200 KHz
Data Rate	290bps - 50Kbps	100 bit/sec 12 / 8 bytes Max	10 Mbit/sec	200kbps – 1Mbps	~20K bit/sec
Max. # Msgs/day	Unlimited	UL: 140 msgs/day	Unlimited	Unlimited	Unlimited
Max Output Power	20 dBm	20 dBm	23 - 46 dBm	23/30 dBm	20 dBm
Link Budget	154 dB	151 dB	130 dB+	146 dB	150 dB
Batery lifetime - 2000mAh	105 months	90 months		18 months	
Power Efficiency	Very High	Very High	Low	Medium	Med high
Interference immunity	Very high	Low	Medium	Medium	Low
Coexistence	Yes	No	Yes	Yes	No
Security	Yes	No	Yes	Yes	Yes
Mobility / localization	Yes	Limited mobility, No loc	Mobility	Mobility	Limited Mobility No Loc

**Tabla 4.14: Comparación de LoRaWAN vs otros sistemas**

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El proyecto implemento el diseño de una red de boyas que cubren gran parte de la costa de la provincia de Santa Elena, en las cuales se miden Temperatura superficial y del mar, Humedad, pH y las coordenadas geográficas de la boya. La red de boyas se integra con 7 nodos y 3 gateways que se comunican usando la tecnología LoRa y la información se centraliza en la nube Thingspeak.

Para el estudio de la propagación, se escogió el modelo de 3-Rayos en base al análisis de las condiciones físicas del mar, el cual contempla las perdidas por reflexión y refracción tanto en el agua como en los ductos de evaporación, obteniendo una pérdida total de 146 [dB], lo que nos garantiza una demodulación de los datos confiable ya que el receptor admite una pérdida máxima de 156 [dB].

Se escogió la tecnología LoRa que presenta ventajas como el rango de cobertura, la diferencia de costos frente comunicaciones satelitales o enlaces de radio que involucran, además, un gasto energético elevado, y por su proyección en la tecnología IoT.

La alternativa propuesta facilita la toma de datos a partir de sensores ubicados en las boyas, actividad que hasta ahora se hace forma manual empleando métodos rústicos con una susceptibilidad a un mayor error de medición. El sistema propuesto en este trabajo recoge un mayor número de muestras mejorando la precisión y proporcionando comodidad a los usuarios para que puedan acceder a la información en Thingspeak a través de internet.

En base al estudio de fiabilidad de esta red, se determina que a un mayor número de componentes la probabilidad de buen funcionamiento aumenta, sin embargo, esta escalabilidad llega a un punto donde el número de elementos ya no contribuye a una mejora además que incurre en un mayor gasto.

Se recomienda usar una forma más segura se subir los datos a internet dado que el módulo ESP8266 puede presentar fallas por su diseño vulnerable por ello una alternativa más robusta es crear nuestro Gateway usando un Arduino Yun o una Raspberry ya que cuentan con conexión a internet por puerto de red o vía Wifi.

Utilizar materiales resistentes de acuerdo con el medio en que se van a ubicar los nodos para la protección de la parte electrónica evitando futuros daños.

Para mejorar la cobertura se debería invertir en mejores módulos de comunicación como lo son los creados por la empresa Semtech que es la pionera en impulsar esta tecnología.

Para el almacenamiento y procesamiento de los datos obtenidos, se recomienda tener un servidor local con la capacidad suficiente, ya que el servicio en la nube es limitado.

## BIBLIOGRAFÍA

### Trabajos citados

- [1] «Significados,»[Enlínea].Available:  
<https://www.significados.com/temperatura/>. [Último acceso: 2 Junio 2017].
- [2] J. L. C. Lemus, «EL OCÉANO Y SUS RECURSOS II. LAS CIENCIAS DEL MAR: OCEANOGRAFÍA GEOLÓGICA Y OCEANOGRAFÍA QUÍMICA,» [En línea]. Available:  
[http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/12/htm/sec\\_17.html](http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/12/htm/sec_17.html). [Último acceso: 22 junio 2017].
- [3] «Concepto definicion,»[Enlínea].Available:  
<http://concepto definicion.de/humedad/>. [Último acceso: 19 Junio 2017].
- [4] G. P. Maria Gracia Constate, «Análisis comparativo/técnico/económico y regulatorio para la provisión de servicios de telefonía en sectores de baja densidad poblacional,» Guayaquil, 2017.
- [5] U. I. d. Telecomunicaciones, «Y.2060 Descripción General de internet de los objetos,» Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT, Ginebra, 2012.
- [6] LoRa Alliance, «LoRaWAN What is it?,» San Ramon CA, 2015.
- [7] R. Pérez García, «Evaluación de LoRa/LoRaWAN para escenarios de Smart City,» Barcelona, 2017.
- [8] Semtech Corporation , «LoRa Modulation Basic,» 2015.
- [9] Dragino Technology Co., «LoRa Shield,» 2016 Julio 2016. [En línea]. Available: [http://wiki.dragino.com/index.php?title=Lora\\_Shield](http://wiki.dragino.com/index.php?title=Lora_Shield). [Último acceso: Julio 2017].
- [10] M. McCauley, «RadioHead,» 17 Agosto 2016. [En línea]. Available: <http://www.airspayce.com/mikem/arduino/RadioHead/>. [Último acceso: 25 julio 2017].

- [11] dcervantes , «Scidle Science and technology,» 10 Marzo 2017. [En línea]. Available: <http://scidle.com/es/como-usar-un-sensor-de-ph-con-arduino/>. [Último acceso: 5 Agosto 2017].
- [12] Dcervantes, «Scidle Science and Technology - Cómo usar sensor de temperatura DS18B20 con Arduino,» 27 Abril 2016. [En línea]. Available: <http://scidle.com/es/como-usar-sensor-de-temperatura-ds18b20-con-arduino/>. [Último acceso: 4 Agosto 2017].
- [13] BotScience EIRL, «Módulo GPS para Arduino UBlox NEO 6M,» 2013. [En línea]. Available: [http://botscience.net/store/index.php?route=product/product&product\\_id=73](http://botscience.net/store/index.php?route=product/product&product_id=73). [Último acceso: 4 Agosto 2017].
- [14] Adafruit, «DHT11 BASIC TEMPERATURE-HUMIDITY SENSOR,» [En línea]. Available: <https://www.adafruit.com/product/386>. [Último acceso: 4 Agosto 2017].
- [15] Geek Factory, «Módulo Wifi Serial ESP8266,» [En línea]. Available: <https://www.geekfactory.mx/tienda/radiofrecuencia/modulo-wifi-serial-esp8266-economico/>. [Último acceso: 15 Agosto 2017].
- [16] Arduino , «What is Arduino?,» 2006. [En línea]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>.
- [17] Arduino, «Arduino Uno R3,» [En línea]. Available: <http://arduino.cl/arduino-uno/>.
- [18] F. Rueda, «¿Qué es la computación en la nube?,» *SISTEMAS* , nº 112, pp. 72-79, 2009.
- [19] Salesforce.com, «SalesForce Mexico,» [En línea]. Available: <https://www.salesforce.com/mx/cloud-computing/>. [Último acceso: 27 Julio 2017].
- [20] T. Wayne, de *Sistema de comunicaciones electrónicas* , Mexico, Pearson Educación , 2003, pp. 353-357.
- [21] A. G. Martinez, «LoRaWAN Gateway and IoT,» España, 2017.
- [22] F. D. Y. S. M. Yee Hui LEE1, «Near Sea-Surface Mobile Radiowave Propagation at 5 GHz: Measurements and Modeling».

- [23] U. T. N. F. R. C. Moises Morales, «Academia.Edu,» [En línea]. Available: [http://www.academia.edu/8620519/Confiabilidad\\_Universidad\\_Tecnol%C3%B3gica\\_Nacional\\_Facultad\\_Regional\\_C%C3%B3rdoba](http://www.academia.edu/8620519/Confiabilidad_Universidad_Tecnol%C3%B3gica_Nacional_Facultad_Regional_C%C3%B3rdoba). [Último acceso: 5 Agosto 2017].
- [24] M. I. H. Hermoso, «<http://grupo.us.es/fqm331>,» [En línea]. Available: <http://grupo.us.es/fqm331/pdf/Fiabilidad.pdf>. [Último acceso: 7 Agosto 2017].