



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA DE
TSUNAMI UTILIZANDO TECNOLOGÍA SATELITAL, PARA EL
CASO EN QUE ECUADOR SEA GENERADOR DE TSUNAMIS”

INFORME DE PROYECTO INTEGRADOR

Previa a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

ALDAIR OSVALDO ALARCON RUBIO

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2015

AGRADECIMIENTO

A mis profesores, especialmente al profesor de la materia integradora, Ph.D. Freddy Villao Quezada, por compartir sus conocimientos y guiar la realización de este proyecto.

Al Centro de Monitoreo Oceánico del INOCAR, por proporcionar su información que ayudo a la propuesta de este proyecto.

A la Secretaria de Gestión de Riesgo del Ecuador, por proporcionar los diferentes planes de contingencia que posee el país para un evento de tsunami.

DEDICATORIA

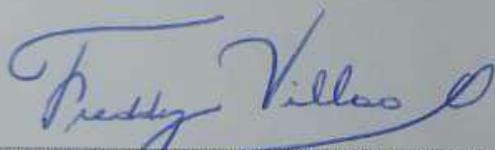
A Dios todopoderoso por darme las fuerzas día a día en seguir adelante y mantener mi fe intacta frente a toda adversidad.

A mis padres, Silvia Catalina y Rodrigo Oswaldo y mis hermanos, por su amor, apoyo y esfuerzo incondicional en toda mi etapa universitaria, agradeciéndole a Dios por tenerlos a mi lado.

A mis compañeros de clase que compartieron conmigo cada etapa de mi vida universitaria, y me ayudaron en los momentos más difíciles.

Aldair Oswaldo Alarcón Rubio

TRIBUNAL DE EVALUACIÓN



Ph.D. Freddy Villao Quezada

PROFESOR EVALUADOR



Ph.D. Germán Vargas López

PROFESOR EVALUADOR

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, me corresponde exclusivamente; y doy mi 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"



Aldair Osvaldo Alarcón Rubio

RESUMEN

Este proyecto integrador se basó en el estudio de las zonas de riesgo a tsunamis en el Ecuador y el análisis de los planes de contingencia que posee el país para este tipo de catástrofes. Se determinó que la única entidad en el país que regula la actividad sismológica en el mar es el Centro de Monitoreo Oceánico ubicado en las instalaciones del INOCAR en Guayaquil. Para objeto de recopilar información sobre el Centro de Monitoreo Oceánico se procedió a realizar una visita técnica a sus instalaciones en el INOCAR. En esta visita técnica se proporciona información sobre el sistema de monitoreo de boyas que posee el Ecuador, el cual corresponde a una red de dos Boyas DART II ubicadas en Manta y Esmeraldas que envían los datos al Centro de Monitoreo Oceánico por internet desde su sede en España. Debido a la posibilidad de que los eventos sísmicos afecten a las comunicaciones terrenas, este proyecto integrador diseñará un Sistema de Alerta Temprana de Tsunami utilizando tecnología satelital. El diseño constará de varias etapas para el envío de las alertas, estas etapas se denominaran estaciones, las cuales tendrán una actividad específica, ya sea recolección de datos, envío de mensajes, envío de alertas y monitoreo. Se usaran varias tecnologías para el diseño que junto a la comunicación satelital diseñará un sistema autónomo capaz de monitorear eventos de tsunami por el Centro de Monitoreo Oceánico del INOCAR y alertar a las poblaciones automáticamente en caso de existir una alerta de tsunami en el territorio ecuatoriano. Se detallarán a lo largo de los capítulos las metodologías como lo son los equipos de detección de actividad sísmica en el océano denominados boyas de tsunami, sistemas satelitales, comunicaciones inalámbricas, aplicaciones Web y software para lectura de datos. En el capítulo de diseño se establecerán 5 estaciones: Estación Remota de datos de Boyas de Tsunami, Sistema Satelital, Estación de Enrutamiento de mensajes, Estación de Alerta sonora y la Estación de monitoreo que corresponde al Centro de Monitoreo Oceánico del INOCAR, describiendo el hardware y software para las estaciones. En el caso de la estación de enrutamiento de mensajes y estación de monitoreo solo se diseñará el software debido a que el hardware corresponde a un ordenador, el cual se asume la previa adquisición. Al final se logra obtener una comunicación satelital entre las Boyas de Tsunami y el Centro de Monitoreo

Oceánico del INOCAR y con una red de 5 estaciones de alerta sonora gracias al diseño de una aplicación Web Cliente capaz de realizar varias conexiones TCP/IP.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO	II
DEDICATORIA	III
TRIBUNAL DE EVALUACIÓN	IV
DECLARACIÓN EXPRESA	V
RESUMEN	VI
ÍNDICE GENERAL.....	VIII
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Definición de Sismo y Tsunami	1
1.2 Entidades Nacionales e Internacionales de monitoreo y alerta de Tsunami.	3
1.2.1 Entidades Internacionales	3
1.2.1.1 Unión Internacional de Telecomunicaciones.....	3
1.2.1.2 Administración Nacional Oceánica y Atmosférica	3
1.2.1.3 Centro de Alerta de Tsunami del Pacífico.....	4
1.2.1.4 Centro Nacional de Datos de Boyas	4
1.2.2 Entidades Nacionales.....	4
1.2.2.1 Secretaria de Gestión de Riesgo	4
1.2.2.2 Instituto Oceanográfico de la Armada	5
1.3 Sistema de Alerta Temprana de Tsunami	5
1.3.1 Sistemas DART®.....	6
1.4 Registro de Tsunamis en el Ecuador	8
1.5 Zonas de riesgo a Tsunamis en las Costas Ecuatorianas.....	10
1.6 Diagnóstico del Problema	12
1.7 Objetivos	15
1.7.1 Objetivo General	15
1.7.2 Objetivos Específicos.....	16
1.8 Justificación del Problema.....	16

1.9	Metodología	18
CAPÍTULO 2.....		19
2.	ARQUITECTURA DE BOYAS DE TSUNAMI	19
2.1	Sistemas Mecánicos	20
2.2	Sistemas Eléctricos y Electrónicos.....	23
2.2.1	Fuente de Poder	23
2.2.2	Unidad Central de Procesamiento	24
2.2.3	Comunicaciones.....	25
2.3	Trama de mensajería de las Boyas de Tsunami MESEMAR	26
CAPÍTULO 3.....		30
3.	REDES SATELITALES.....	30
3.1	Sistemas Satelitales	30
3.2	Asignación de Frecuencias	31
3.3	Órbitas.....	32
3.4	Sistemas Móviles Satelitales.....	34
3.5	Arquitectura de las Redes Satelitales.....	35
3.5.1	Arquitectura Satelital “Bent-Pipe”	35
3.5.2	Arquitectura Satelital “Network in the sky”	36
3.5.3	Diferencias entre Arquitecturas Satelitales	36
3.6	Análisis de Redes Satelitales	36
3.6.1	Iridium	36
3.6.2	Globalstar.....	38
3.6.3	Inmarsat	39
3.7	Criterio de Selección de Red Satelital.....	42
3.8	SkyWave	42
3.8.1	IsatData Pro	42
3.8.2	IsatM2M	45
3.8.3	IPSCADA	47
CAPÍTULO 4.....		49

4.	PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN	49
4.1	Protocolo estándar IEEE 802.15.4	49
4.1.1	Canales del Estándar IEEE 802.15.4.....	50
4.1.2	Componentes de IEEE 802.15.4 WPAN.....	50
4.1.3	Topologías de Red.....	51
4.1.4	Arquitectura de Protocolo IEEE 802.15.4.....	52
4.2	Protocolo de Comunicación Serial RS-232	53
4.3	LabView	53
4.4	Modelo Cliente – Servidor	55
4.5	Java.....	57
4.5.1	Clase Java Socket y Server Socket	57
	CAPÍTULO 5.....	59
5.	DISEÑO DE SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA DE TSUNAMI.....	59
5.1	Diseño de la Arquitectura de Solución del Sistema de Alerta Temprana de Tsunami.	60
5.2	Diseño de Hardware y Software Sistema Satelital	62
5.2.1	Hardware	62
5.2.2	Software.....	64
5.2.3	Ángulos de vista para los terminales satelitales del diseño	66
5.2.4	Potencia de Recepción de los terminales satelitales IDP 680 e IDP 690.....	76
5.2.5	Algoritmos para transmisión y recepción de datos de los terminales.....	78
5.2.6	Presupuesto para terminales satelitales del Sistema de alerta temprana.....	83
5.3	Estación Remota de boyas de Tsunami.....	84
5.3.1	Trama de mensajería enviada por las boyas de Tsunami.....	90
5.3.2	Pruebas Experimentales de Circuito de Supercapacitores para cargar un terminal satelital.....	91
5.3.3	Presupuesto del Circuito	93
5.4	Estación Enrutadora de Mensajes	94

5.4.1	Aplicación Cliente.....	95
5.4.2	Aplicación Servidor	99
5.4.3	Prueba de Conexión TCP/IP en una red privada	100
5.4.4	Presupuesto para Estación de Enrutamiento de mensajes.....	107
5.5	Diseño de Hardware y Software para automatizar Estaciones de Alerta Sonora.	107
5.5.1	Diseño de Hardware	111
5.5.2	Diseño de Software.....	114
5.5.3	Presupuesto para el diseño de hardware y software para automatizar Estaciones de Alerta Sonora	118
5.6	Estación de monitoreo.....	119
5.6.1	Presupuesto para Diseño de Estación de monitoreo	123
5.7	Presupuesto final para implementar las estaciones del Sistema de Alerta Temprana de Tsunami diseñado.	124
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	127
	BIBLIOGRAFÍA.....	130
	ANEXOS.....	138

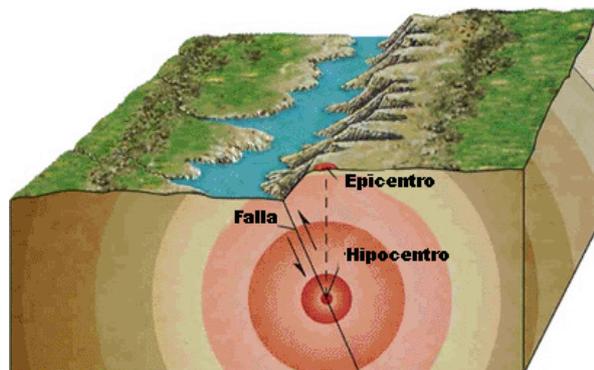
CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se detallarán los conceptos básicos de análisis sísmológico como la definición de sismos y tsunamis. A partir de estos conceptos se procederá a analizar el riesgo de las provincias que conforman la Costa Ecuatoriana y se procederá a enunciar los planes de contingencia que posee el país para este tipo de desastres, diagnosticando el problema y planteando la solución.

1.1 Definición de Sismo y Tsunami

Los sismos o terremotos se definen como movimientos en la superficie terrestre, producidos por la fricción de varias placas tectónicas al interior de la Tierra. La zona de mayor intensidad del sismo se ubica en el hipocentro, que es el punto de origen del sismo en el interior de la tierra y su proyección vertical se denomina epicentro como se observa en la figura 1.1 [1].



Fuente: Recuperado de sitio Web SismoClub bajo Licencia Creative Commons.

Figura 1.1: Epicentro e Hipocentro en un Sismo o Terremoto [2].

El lecho del océano Pacífico es conocido como el Cinturón de Fuego, debido a la alta actividad sísmica y volcánica en esta zona. El Cinturón de Fuego del Pacífico es la zona de unión entre las placas tectónicas del globo terrestre como se observa en la figura 1.2.



Fuente: Recuperado de sitio Web Terremoto Valdivia bajo Licencia Creative Commons.

Figura 1.2: Cinturón de Fuego del Pacífico [3].

Los eventos sísmicos tienen un 90% de ocurrencia en el Cinturón de Fuego del Pacífico, el cual está conformado por la mayoría de países Sudamericanos Bolivia, Ecuador, Colombia, Panamá, Costa Rica, Nicaragua, El Salvador, Honduras, Guatemala, México y parte de Canadá por un lado del océano, como se observa en la figura 1.2 [4]. Los Sismos con magnitudes mayores a 7 grados en la escala de Richter, cuyos epicentros estén muy cerca del lecho marino, generará un levantamiento severo de columnas de agua conocido como Tsunami [5].

Los Tsunamis se definen como largos periodos de movimiento oceánico produciendo olas de gran altura capaces de destruir toda una zona de subducción. Un Tsunami tiene el potencial para acabar con toda una población. Para reducirlo, se han implementado varios Sistemas de Alerta Temprana (Early Warning Systems, EWS) para proteger a las comunidades que se sitúan cerca de las zonas de impacto de tsunamis.

1.2 Entidades Nacionales e Internacionales de monitoreo y alerta de Tsunami.

Para el desarrollo del proyecto integrador se mencionarán las Entidades Nacionales e Internacionales, involucradas en el aspecto de monitoreo y alerta para desastres naturales, enunciando sus roles y sus respectivos artículos que les otorgan sus funciones.

1.2.1 Entidades Internacionales

1.2.1.1 Unión Internacional de Telecomunicaciones

La Unión Internacional de Telecomunicaciones, es un organismo perteneciente a la Organización de las Naciones Unidas (ONU) encargado de regular las telecomunicaciones a nivel Internacional. De acuerdo al Artículo 1, Sección 2, de la Constitución de la UIT estipula que la UIT «promoverá la adopción de medidas destinadas a garantizar la seguridad de la vida humana, mediante la cooperación de los servicios de telecomunicación» [6].

1.2.1.2 Administración Nacional Oceánica y Atmosférica

La Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration) es una agencia científica, encargada del estudio del océano y la atmósfera. Sus tareas corresponden a los avisos meteorológicos, preparar cartas de mares y cielos, guía sobre el uso y la protección de los recursos oceánicos y costeros, y conduce estudios para mejorar el entendimiento y la administración del ambiente.

1.2.1.3 Centro de Alerta de Tsunami del Pacífico

El Centro de Alertas de Tsunami del Pacífico (PTWC, Pacific Tsunami Warning Center) es uno de los centros de alerta operados por la NOAA, en los Estados Unidos con sede central en Ewa Beach Hawaii. Es parte del programa internacional Sistemas de Alerta de Tsunami (TWS, Tsunami Warning System), y sirve como centro de operaciones para el envío de boletines y alertas a los miembros participantes del TWS y otras naciones en el Océano Pacífico bajo su responsabilidad.

1.2.1.4 Centro Nacional de Datos de Boyas

El Centro Nacional de Datos de Boyas (NDBC, National Data Buoy Center) es uno de los Centros de datos operados por la NOAA. La NDBC se encarga de diseñar, desarrollar, operar y mantener una red de recolección de datos de boyas y estaciones costeras. La sede principal se ubica al Sur de Misisipi, en el Centro Espacial Jhon C. Steinnis, una de las instalaciones de la NASA.

1.2.2 Entidades Nacionales

1.2.2.1 Secretaria de Gestión de Riesgo

De acuerdo al artículo 389 de la Constitución de la República del Ecuador se establece que “El Estado protegerá a las personas, las colectividades y la naturaleza frente a los efectos negativos de los desastres de origen natural o antrópico mediante la PREVENCIÓN ante el riesgo, la MITIGACIÓN de desastres, la RECUPERACIÓN Y MEJORAMIENTO de las condiciones sociales, económicas y ambientales, con el objetivo de minimizar la condición de vulnerabilidad” [7].

De esta forma surge la iniciativa de crear una estructura ordenada para garantizar la protección de personas y colectividades de los efectos negativos de desastres de origen natural. Es así que mediante el Decreto Ejecutivo No. 42 publicado en el Registro

Oficial No. 31 de fecha 22 de Septiembre de 2009, se crea la Secretaria Nacional de Gestión de Riesgo [8].

1.2.2.2 Instituto Oceanográfico de la Armada

El Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR) creado en 1972, es el asesor y representante oficial del Estado de la República del Ecuador en Investigación Oceanográfica, y la única entidad en el país difusora de alertas de tsunami. El INOCAR se ubica en la ciudad de Guayaquil provincia del Guayas, y posee un centro de respaldo instalado y operando en la Isla de Santa Cruz provincia de Galápagos.

El INOCAR, en calidad de organismo técnico, permanente y oficial del Estado Ecuatoriano, ha mejorado su capacidad científica y tecnológica con la finalidad de poder cumplir con la responsabilidad de ser el Centro de Nacional de Alertas y Mitigación de Tsunami del Ecuador ahora llamado Centro de Monitoreo Oceánico, orientado a investigar estos fenómenos, los cuales se desconocen en muchas de las localidades costeras ecuatorianas [9].

1.3 Sistema de Alerta Temprana de Tsunami

Los sistema implementados para el estudio de la predicción de sismos y tsunamis, son los Sistemas de Alerta Temprana (EWS, Early Warning System). Para un tsunami, los EWS son más seguros, debido al tiempo de predicción porque los tsunamis pueden llegar a las costas en varias horas.

Pero los tsunamis producidos por sismos de 7 grados en la escala de Richter en el lecho marino, provocan que el tiempo de impacto del tsunami sea en menos de 10 minutos.

Un EWS posee diferentes estaciones, la primera corresponde a la estación remota que es la encargada de detectar el sismo en el lecho marino analizando la posibilidad de un Tsunami. La siguiente estación corresponde al sistema de transmisión (cable submarino de cobre o fibra óptica, satélite o microondas). La última estación corresponde a la Estación de monitoreo que se encargará de

difundir las alertas de tsunami. A partir de este punto se envía la alerta a la nación en base a alertas sonoras ubicadas en las playas o comunicando a otras entidades encargadas de difundir alertas en las zonas de subducción del Tsunami.

El objetivo de un Sistema de Alerta Temprana de Tsunami es detectar el sismo que producirá el tsunami y alertar automáticamente a la población que se sitúa en las zonas de subducción del tsunami.

La estación principal para el Sistema de Alerta de Temprana es la estación remota de recolección de datos. Para asegurar la detección temprana de tsunamis y adquirir datos en tiempo real, la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA) ha implementado las estaciones de Sistemas DART® (Deep-ocean Assessment and Reporting of Tsunami) en regiones con un historial de generar tsunamis destructivos. La NOAA completó una red de 6 Boyas Tsunami operativas en el 2001 y se expandió a una red de 39 estaciones en marzo del 2008 [10].

1.3.1 Sistemas DART®

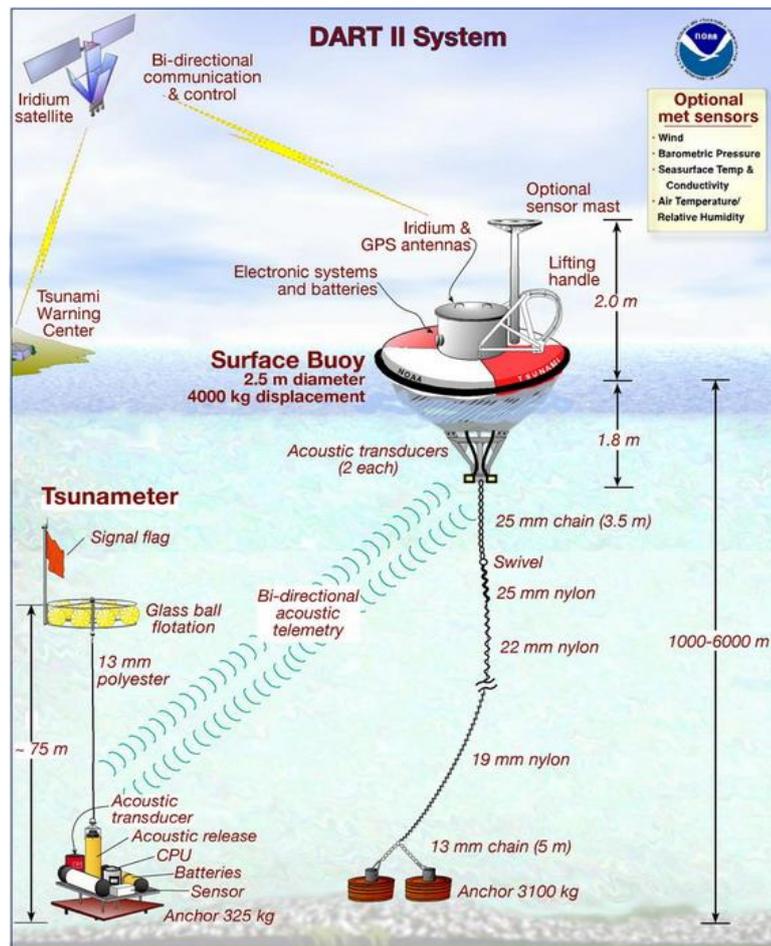
Los sistemas DART constan de dos redes: la red de grabadoras de presión en el fondo del mar y la red de Boyas Tsunami en la superficie. El esquema general de los sistemas DART son:

- Boya Tsunami
- Grabadora de presión en el fondo marino (Bottom Pressure Recorder, BPR)
- Enlace Satelital

La Boya tsunami posee un sensor que se comunica mediante un enlace acústico con un BPR a 6000 msnm, detectando cambios de columnas submarinas. Cuando la Boya Tsunami cense un cambio brusco (Umbral) está informa a la estación terrena de la NOAA, mediante un enlace satelital.

La primera versión denominada “DART I”, fue diseñada para transmitir datos en tiempo real mediante enlaces satelitales One-way entre el BPR con el programa TWS y la NDBC mediante el satélite GOES WEST (Satélite Geoestacionario de Operación Ambiental Oeste) ubicado 135° al Oeste. Esta versión operó desde el año 2003 [10].

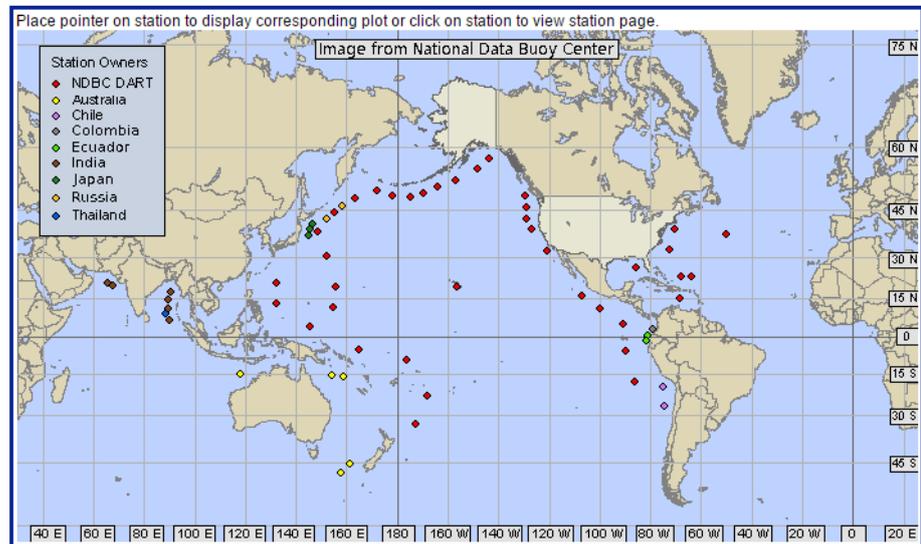
La segunda versión conocida como DART II, mejora su enlace satelital por medio de la Red Privada Iridium, proporcionando un enlace bidireccional entre el BPR hacia la PTWC y NDBC, como se observa en la figura 1.3.



Fuente: Recuperado de sitio Web Wikipedia, bajo Licencia Creative Commons.

Figura 1.3: Arquitectura del Sistema DART II [11].

En la actualidad existen 62 Estaciones de Tsunami desplegadas en todo el mundo como se observa en la figura 1.4.



Fuente: Recuperado de Sitio web de la NOAA.

Figura 1.4: Mapa de Estaciones DART II [12].

1.4 Registro de Tsunamis en el Ecuador

El Ecuador es considerado una zona de alto riesgo sísmico porque conforma el Cinturón de Fuego del Pacífico, como se mencionó anteriormente. A 80 millas náuticas de las costas ecuatorianas se encuentra el lecho marino donde reposa la zona de unión de las placas tectónicas Nazca y Sudamericana como se observa en la figura 1.5, esta es la principal fuente sísmica del país.



Fuente: Elaborado por el autor.

Figura 1.5: Convergencia de Placas Tectónicas Nazca y la continental de Sudamérica vista desde Google Earth.

La Tabla 1 detalla los seis eventos de Tsunami ocurridos en las Costas Ecuatorianas.

Fecha	Lugar	Grados en Escala de Richter
1906, 03 de enero	Prov. de Esmeraldas, entre San Lorenzo y Tumaco (Colombia).	8,8
1933, 02 de octubre	Prov. de Santa Elena, en el mar, frente a Salinas (Puntilla)	6,9
1953, 12 de diciembre	Prov. de El Oro, en el mar, frente a Pto. Bolívar	7,8
1958, enero	Prov. de Esmeraldas, en el mar, frente a Esmeraldas	7,8
1979, 12 de diciembre	Prov. de Esmeraldas, en el mar, frente a Esmeraldas	7,8
1998, 4 de agosto	Prov. de Manabí, en el mar, frente a las costas de Boca de Briceño	6,8

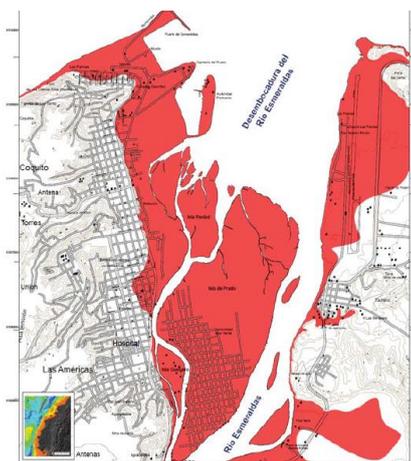
Fuente: Información recuperada del sitio web del Instituto Geofísico del Ecuador.

Tabla 1: Registro de Eventos de Tsunamis en el Ecuador [5].

1.5 Zonas de riesgo a Tsunamis en las Costas Ecuatorianas

La costa Ecuatoriana está conformada por las provincias de Esmeraldas, Manabí, Santa Elena, Guayas, Los Ríos y El Oro. Todas estas provincias tienen una probabilidad de ocurrencia de tsunami considerable a excepción de la provincia de Los Ríos puesto a que no limita con el océano Pacífico como las demás provincias.

La provincia de Esmeraldas ubicada en la costa norte de Ecuador es la zona de más alta probabilidad de ocurrencias a tsunamis, debido a los tres sismos de alta magnitud registrados en la provincia como se indicó en la Tabla 1. El sismo más significativo que ocurrió en Esmeraldas tuvo una magnitud de 8.8 grados en la escala de Richter, el 3 de enero de 1906, que tuvo como consecuencia un tsunami y cerca de 1500 víctimas. En la actualidad la población Esmeraldas ha aumentado y los asentamientos humanos en las playas son considerablemente altos. Debido a los eventos de tsunamis registrados en la provincia de Esmeraldas, se definió una “zona de inundación hipotética” la cual muestra los lugares afectados en caso de producirse un Tsunami a 8.8 grados en la Escala de Richter como se observa en la figura 1.6 [13].



Fuente: Recuperado del Plan de Contingencia de la provincia de Esmeraldas.

Figura 1.6: Zona de posibles Inundaciones en la provincia de Esmeraldas [13].

La provincia de Manabí, presenta el mismo cuadro de riesgo que en Esmeraldas, debido al asentamiento de poblaciones en las playas pero según la INEC la provincia de Manabí consta de 1'369'780 habitantes, mientras que en Esmeraldas constan de 534'092, por lo que la provincia de Manabí tendría mayor número de víctimas al momento del impacto de un Tsunami.

Según los Estudios de Riesgos en la provincia de Sta. Elena, la mayoría de los asentamientos humanos se ubican junto al mar tales como San Antonio, Ayangue, Playa Bruja, Monteverde, Salinas, considerándose como zonas de alto riesgo a un Tsunami [14].

En cambio la provincia del Guayas presenta un cuadro de riesgo diferente al impacto de tsunamis, de acuerdo a una publicación realizada por un grupo de investigadores de la ESPOL y de la IRD se determina un riesgo de tsunami considerable en la provincia del Guayas. Esta publicación presenta tres simulaciones de sismos posibles: de 7, de 7.5 y de 8 grados en la escala de Richter. Los resultados determinaron que la parte del Golfo de Guayaquil se encuentra particularmente protegida al momento del impacto de un tsunami. En cambio las costas de Salinas y Machala se encuentran relativamente protegidas al momento de producirse un tsunami y para terminar se indica que las zonas de Villamil Playas y Chanduy presentan cierta consideración al momento de que se produzca un sismo de gran magnitud (8 grados en la escala de Richter) en las costas [15].

El relieve de la región costa es un factor determinante para definir las zonas de riesgo a un tsunami o sismo. Los asentamientos en zonas bajas ubicadas junto al mar como por ejemplo: Archipiélago de San Lorenzo, Muisne, Mompiche, Cojimes, Boca de Briceño, se consideran zonas de alto riesgo a un tsunami. Los asentamientos en zonas altas (colinas, playas levantadas y cerca de acantilados costeros) poseen un bajo riesgo a tsunamis, pero son propensos a un alto riesgo sísmico, por la inestabilidad de sus laderas y acantilados, como por ejemplo algunos barrios de las ciudades de Esmeraldas, Pedernales, San Vicente, Bahía de Caráquez, Crucita, Manta, Puerto Cayo, Machalilla, Puerto López [5].

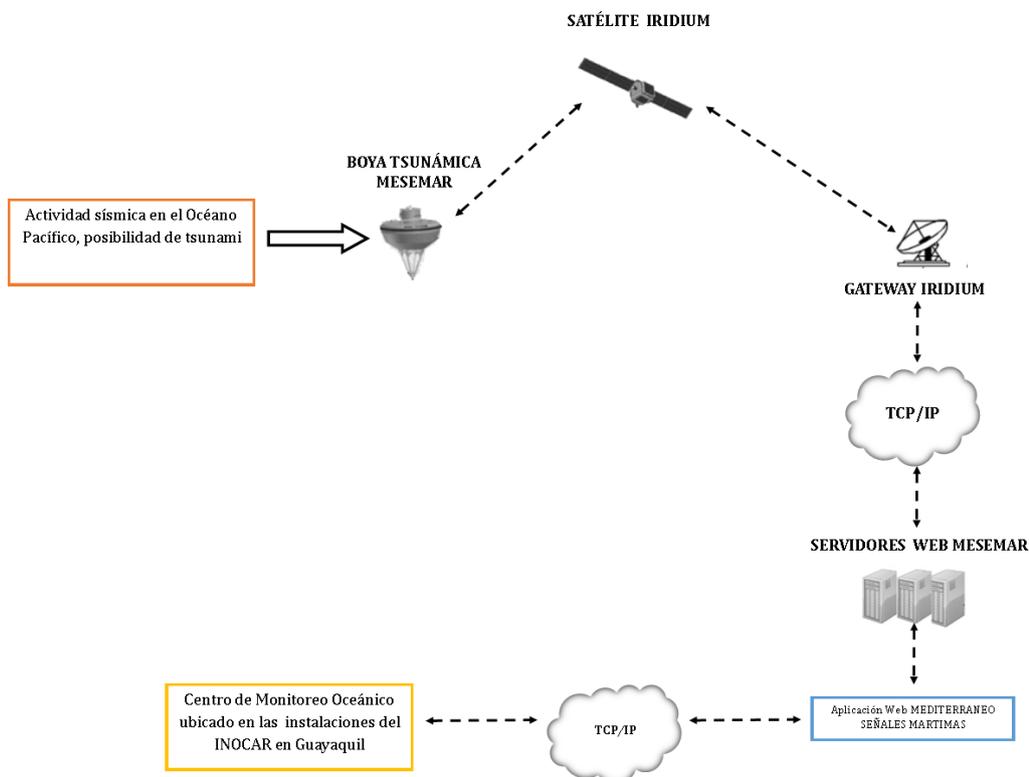
Como se ha analizado, las provincias de la Costa Ecuatoriana han poblado sus playas a lo largo de los años, siendo una de las fuentes de mayor ingreso en el país debido al turismo. Pero la sobrepoblación cerca del mar es un peligro que debe ser monitoreado constantemente porque varias playas de la costa se encuentran aproximadamente 80 millas náuticas de la principal fuente de sísmica del Ecuador que es la zona unión de las placas tectónicas Nazca y Sudamericana.

Para finalizar se concluye que la Región Costa del Ecuador es una zona potencialmente sísmica, y como consecuencia está sujeta a una alta probabilidad de tsunamis en todas las provincias.

1.6 Diagnóstico del Problema

De acuerdo al estudio de riesgo de tsunami en el Ecuador realizado a lo largo del Capítulo 1 se concluyó que todas las provincias de la Región Costa tienen una alta probabilidad de ocurrencia a un tsunami. Para efectos de recopilación de información sobre las medidas que tiene el Ecuador para enfrentar una alerta de tsunami se realizó una visita de campo al INOCAR, al Centro de Monitoreo Oceánico, donde se proporcionó información sobre los sistemas de detección de tsunami instalados en el Ecuador y los protocolos de alerta para sismos cercanos y lejanos.

Se informó que Ecuador posee el sistema de monitoreo DART II para detectar un tsunami. El proveedor de este sistema es la Empresa MEDITERRANEO SEÑALES MARTIMAS (MESEMAR) con sede en Valencia, España. Esta empresa provee al país una red de 2 Boyas de Tsunami. Estas boyas se encuentran operativas en Esmeraldas y Manta, ubicadas a 80 millas náuticas de sus costas. Como se observa en la figura 1.7, la Arquitectura de la red satelital del sistema proporcionado por MESEMAR, transmite los datos al INOCAR mediante una aplicación WEB.



Fuente: Proporcionada por INOCAR (Elaborado por el autor).

Figura 1.7: Arquitectura de Red Satelital Empresa MEDITERRANEO SEÑALES MARTIMAS.

Para difundir las alertas de tsunami en el país, el Centro de Monitoreo Oceánico debe ejecutar los protocolos de alerta lejana y cercana con respecto a la ubicación de los sismos.

El protocolo de alerta lejana se refiere a sismos generados en las costas de países cercanos a Ecuador. Este protocolo consta primeramente en reportar a la Secretaria de Gestión de Riesgo, luego esta procederá a comunicarlo a la nación y a los C.O.E (Centro de Operaciones de Emergencia) de las provincias de la Costa Ecuatoriana para evacuar las zonas en caso de un posible tsunami. El protocolo de alerta cercana corresponde a los sismos producidos cerca de las costas ecuatorianas o en el lecho marino de gran magnitud (mayor a 8 grados en la escala de Richter). El Centro de Monitoreo Oceánico procede a dar la alerta

de evacuación inmediata a los todos C.O.E. cantonales de las provincias de la Costa Ecuatoriana usando líneas telefónicas.

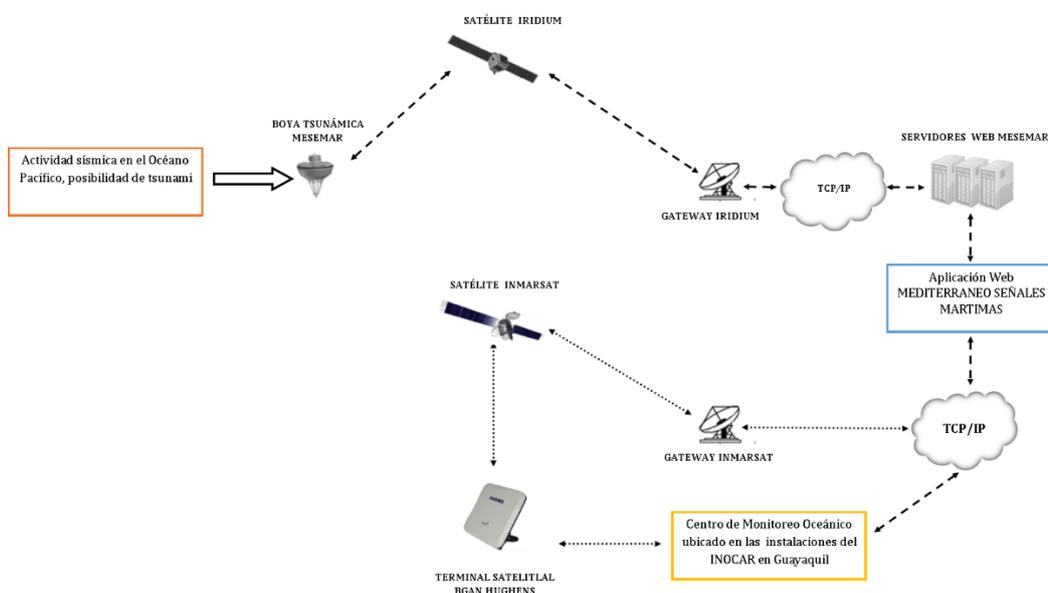
En caso de la pérdida de las comunicaciones terrenas (Telefonía e Internet), el Centro de Monitoreo Oceánico posee un terminal BGAN HUGHES Inmarsat como se observa en la figura 1.8. Este terminal brinda telefonía, Internet y envío de mensajes mediante enlace satelitales usando la red Inmarsat.



Fuente: Elaborado por el autor.

Figura 1.8: Terminal BGAN HUGHENS Inmarsat del Centro de Monitoreo Oceánico ubicado en las instalaciones del INOCAR en Guayaquil.

A partir de este punto la Arquitectura de Red que tiene el Centro Monitoreo Oceánico se modifica agregando su enlace satelital Inmarsat de respaldo por el terminal BGAN HUGHENS brindando acceso a internet únicamente para casos de emergencia como se observa en la figura 1.9.



Fuente: Proporcionada por INOCAR (Elaborado por el autor).

Figura 1.9: Arquitectura de Red Satelital del Centro de Monitoreo Oceánico ubicado en las instalaciones del INOCAR en Guayaquil.

Finalmente se concluye, que el Centro de Monitoreo Oceánico no posee sistemas automáticos de difusión de alertas que se activen al detectar el tsunami. También se depende del acceso a internet para receptor información de la red de boyas de Tsunami MESEMAR y del estado de servicio de la página Web de MESEMAR. La única ventaja es que se posee un terminal BGAN el cual es punto de acceso a internet y telefonía para casos de pérdida total de comunicación.

1.7 Objetivos

1.7.1 Objetivo General

El objetivo general de este proyecto integrador es diseñar el enlace satelital para un Sistema de Alerta Temprana de Tsunami utilizando tecnología satelital, monitoreado por el Centro de Monitoreo Oceánico del INOCAR para el caso en que Ecuador sea generador de Tsunamis y de esta forma salvaguardar la vida de las poblaciones ubicadas en las costas ecuatorianas.

1.7.2 Objetivos Específicos

- Analizar el Sistema de Redes Satelitales disponibles en el mercado para seleccionar el más adecuado para su uso en el Centro de Monitoreo Oceánico del INOCAR en Guayaquil.
- Diseñar una arquitectura que en base a la red satelital seleccionada, enlace a las boyas de tsunami desplegadas en aguas ecuatoriales con el Centro de Monitoreo Oceánico del INOCAR ubicado en Guayaquil y con Estaciones de Alerta Sonora ubicadas en el Litoral ecuatoriano, de forma transparente para el usuario.
- Analizar la arquitectura de las boyas de tsunami con el propósito de determinar la forma de instalar un terminal satelital adicional sin que afecte al funcionamiento de la boya de tsunami.
- Seleccionar el terminal satelital más adecuado para aplicaciones marítimas.
- Seleccionar el terminal satelital más adecuado para aplicaciones en tierra firme.
- Diseñar el hardware y software para activar una estación de alerta sonora desde la red de boyas de tsunami al momento en que se detecte un sismo en el lecho marino, mediante un enlace satelital. No es objeto del presente proyecto, el diseño de la red sonora de alerta de tsunamis.
- Elaborar el presupuesto económico del proyecto.

1.8 Justificación del Problema

Para el desarrollo de este proyecto integrador se necesita justificar la razón de porqué diseñar un enlace satelital entre la red de boyas de tsunami con el Centro de Monitoreo Oceánico en el INOCAR, si ya se dispone del sistema DART II que provee MESEMAR para tal efecto.

La justificación radica en que el Centro de Monitoreo Oceánico depende de la empresa MESEMAR para acceder a esta información, debido a que se la comparte vía WEB.

Esta forma de acceder a los datos de las boyas de tsunami, crea la posibilidad de que un sismo de alta magnitud o con un hipocentro no tan profundo como el que ocurrió el 28 de abril del 2015 pueda inhabilitar las comunicaciones terrenas (Telefonía e internet) en Guayaquil. Este sismo tuvo una magnitud de 5.8 grados en la escala de Richter, pero su hipocentro no fue tan profundo por lo que el movimiento sísmico se sintió en varias ciudades como Guayaquil, Daule, Durán y Milagro. También en Portoviejo, Bahía de Caráquez, Quevedo, Cuenca, Ambato y Riobamba [16].

El Centro de Monitoreo Oceánico ha considerado que este tipo de sismos puede inhabilitar las comunicaciones terrenas y la solución es el uso del terminal BGAN HUGHES como se observa en la figura 1.8.

Pero si la afectación a la infraestructura de las comunicaciones terrenas tomará un periodo indefinido de reparaciones, el costo de tiempo aire para el uso del BGAN HUGHES sería elevado.

Otra razón que justifica el diseño de un enlace satelital entre el Centro de Monitoreo Oceánico en el INOCAR y la red de boyas de Tsunami, es que la página Web del proveedor MESEMAR debe ser accesible en todo momento, si sus servidores ubicados en España en la ciudad de Valencia cayeran, se perdería la conexión y ni el terminal BGAN HUGHES a través del enlace satelital de respaldo podría adquirir la información que envía la red de boyas de tsunami.

Para completar el diseño de Sistema de Alerta Temprana Tsunami se propone diseñar el software y el hardware para activar las estaciones de alerta de sonora al momento en que las boyas de tsunami detecten el sismo en el lecho marino mediante un enlace satelital. Cabe recalcar que este proyecto integrador asumirá que ya han sido implementadas las estaciones de alerta de sonora y el objetivo es activarlas desde las boyas de tsunami. La justificación de este punto radica en la falta de alertas automáticas, que son fundamentales para los Sistemas de Alerta Temprana de Tsunami.

Para el desarrollo de este proyecto integrador se analizará el caso de alerta cercana, por lo que esto justifica el accionar automático de la Estación de Alerta Sonora ubicada en el cantón Gral. Villamil Playas como objeto de prueba para este diseño, desde las boyas de tsunami usando un enlace satelital. El diseño de enlace satelital trabajará en conjunto con las boyas de tsunami ya instaladas en Manta y Esmeraldas.

1.9 Metodología

Para cumplir los objetivos del presente trabajo se utilizará la siguiente metodología: revisión bibliográfica, análisis y selección de componentes y finalmente diseño de hardware y de firmware. La revisión bibliográfica se basará en la recopilación de información sobre la arquitectura general de una Boya de Tsunami, Arquitectura general de un sistema satelital, Servicios Móviles Satelitales y el análisis general de Redes Satelitales Privadas. Se analizarán los conceptos y topologías de una red inalámbrica WPAN basada en el protocolo ZIGBEE para automatizar una estación de alerta sonora y los principios de Comunicación serial para los distintos dispositivos que se usaran en el diseño. Por último se analizará el modelo de comunicación TCP/IP para aplicaciones Cliente y Servidor.

El siguiente paso será la selección de componentes del sistema, básicamente red satelital y terminal satelital. Para el desarrollo de hardware, se analizaran las redes satelitales Inmarsat, Globalstar e Iridium en base a esto se escogerá el terminal satelital que opere en la red seleccionada, para su instalación en las diferentes estaciones del Sistema de Alerta temprana de Tsunami. Se analizarán dispositivos que puedan automatizar Estaciones de alerta sonora y para el software del Sistema de Alerta Temprana se analizaran herramientas de licencia libre para los usuarios, que cumplan con las funciones deseadas para el diseño.

CAPÍTULO 2

2. ARQUITECTURA DE BOYAS DE TSUNAMI

En este capítulo se describe brevemente la arquitectura y componentes de una boya de tsunami del Sistema DART y la boya manufacturada por la empresa española MESEMAR. Se centra en los sistemas mecánicos, eléctricos y electrónicos de la boya.

Una boya es un dispositivo flotante que puede estar ubicado en un lago, río o en alta mar, que puede tener diversas finalidades como marcar los bajos a la entrada de un puerto, detección de submarinos militares o medir parámetros oceanográficos como temperatura, presión y conductividad. Generalmente las boyas poseen un cuerpo central hueco o relleno con un material sólido con densidad menor al agua para poder flotar sobre la superficie. En la mayoría de las boyas, sobre el cuerpo central se erige un mástil para alojar equipos de señalización, instrumentación, comunicación entre otros. Una boya puede estar anclada al fondo o estar a la deriva como el caso de los derivadores lagrangianos que son empleados para medir la rapidez y dirección de las corrientes marinas. Un criterio importante en la arquitectura de las boyas es la localización de su centro de masa y centro de flotación. Se debe tener presente que una boya en alta mar va a estar permanente oscilando debido a la presencia de las olas y requiere de un torque restaurador para mantenerla orientada verticalmente. La magnitud del torque restaurador depende de la separación entre el centro de masa y centro de flotación. Generalmente el centro de flotación se encuentra por encima del centro de masa con el propósito que la boya se comporte como un péndulo invertido ante las perturbaciones de las olas. Un tipo de boya son las boyas para detectar tsunamis que principalmente miden cambios súbitos de presión en la columna de agua y altura de las olas.

Las boyas de tsunamis del sistema DART tienen dos componentes básicos, la unidad que está sumergida en el fondo marino denominado BPR (Bottom Pressure Recording) o Grabador de Presión de Fondo que mide los cambios de presión de la columna de agua causados por un tsunami y la boya que se encuentra en la superficie del mar que mide los cambios de la altura de las olas. El BPR está anclado al fondo

marino mediante lastre, de igual forma la boya de superficie está anclada mediante lastres localizados en el fondo marino unidos a la boya por medios de cables de nylon de alta resistencia. Dado que la columna de agua de mar no facilita la propagación de las señales de radio, se emplea un enlace acústico entre el BPR y la boya de superficie. Por medio de este canal de comunicación el BPR envía sus datos a la boya de superficie. La boya y el BPR deben estar lo suficientemente cerca en el plano horizontal para garantizar un óptimo enlace acústico. La boya de superficie se comunica con el centro de control por medio de un enlace satelital.

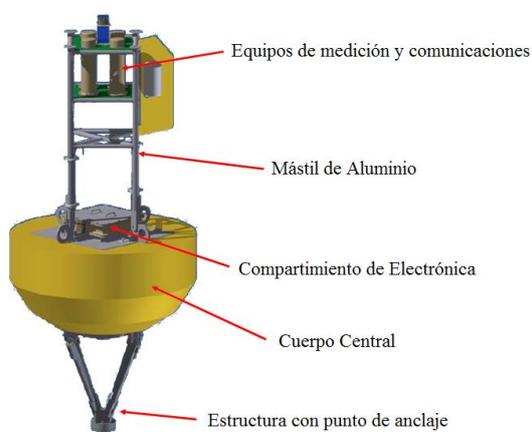
Existen diferentes fabricantes de boya de tsunamis compatibles con el sistema DART pero la mayoría de fabricantes siguen arquitecturas similares. En la siguiente sección del capítulo se describirá con más detalle los componentes de una boya de superficie del sistema DART y luego se centrará en los componentes de la boya de Tsunami de la empresa MESEMAR.

2.1 Sistemas Mecánicos

Una boya de superficie del sistema DART posee un cuerpo central con cubierta de fibra de vidrio o aluminio en forma de disco con flotación positiva, diámetro de 2,5 m, con desplazamiento del orden de 4000 Kg, internamente alberga espuma sintética para asegurar su flotabilidad. Es decir que si la cubierta externa se rompe, la presencia de la espuma sintética impide el ingreso de agua de mar. Por encima del cuerpo central se localiza un mástil para dar soporte a equipos de señalización, medición y comunicaciones.

Dependiendo del fabricante este componente se lo nombra como torre, superestructura o mástil. El mástil puede alcanzar los 4 m de altura. En la base del mástil se encuentra un compartimiento para la electrónica y sistema de alimentación. Por debajo del cuerpo central se encuentra una estructura fabricada en acero o aluminio con un punto de anclaje mecánico para conectar el cable de nylon que mantiene anclada la boya, el cable de nylon puede soportar una tensión de hasta 7500 Kg. Sobre esta estructura se fijan los equipos de comunicación acústica.

La geometría de esta estructura depende de los equipos que se van a fijar. La geometría del cuerpo central tiene la forma adecuada para separar el centro de flotación del centro de masa para generar el torque restaurador que asegure la estabilidad de la boya ante el viento y las olas de la superficie del mar. Generalmente la geometría del cuerpo central es de un cono invertido. Los equipos montados en el mástil de la boya deben tener las dimensiones y peso apropiado para no afectar su estabilidad. En la figura 2.1 se muestran los componentes mecánicos básicos de la boya de superficie.



Fuente: Recuperado de sitio web de la NOAA.

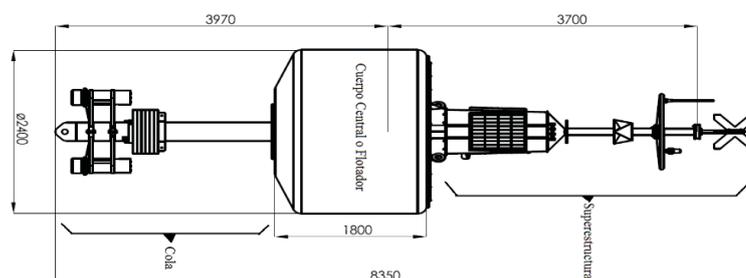
Figura 2.1: Componentes mecánicos básicos de una Boya DART [10].

La Boya de MESEMAR tiene como base la arquitectura anteriormente expuesta. Tiene un cuerpo central sólido de 2.4 m de diámetro y 1,8 m de altura, compuesto de espuma de polietileno de célula cerrada de gran elasticidad frente a los impactos y resistente a la radiación ultravioleta. La superficie superior del cuerpo central es antideslizante para facilitar su mantenimiento.

El volumen del flotador es de 7.3 m³. Sobre el cuerpo central se localiza la superestructura de 4 m de altura, compuesta de aluminio marino recubierto con pintura de poliuretano resistente a la radiación ultravioleta y al ambiente marino. La función principal de la superestructura es dar soporte mecánico a los equipos eléctricos, electrónicos, señalización y comunicaciones. La superestructura tiene capacidad para albergar hasta 4 módulos solares, internamente tiene un

compartimiento hermético con cierre de seguridad anti-vandálico para alojar las baterías y la electrónica [18].

En la parte superior de la superestructura se fijan las antenas de comunicación, linterna marina LED con alcance de 5 Millas Náuticas y reflector de radar pasivo (Banda X) para mejorar el eco radar de la boya. En la base de la superestructura se localizan puntos de anclaje para izar la boya durante la maniobra de despliegue. En la parte inferior del cuerpo central se encuentra la cola, una estructura de acero galvanizado en caliente que tiene en su extremo inferior un punto de fijación mecánico para la línea de anclaje. También tiene puntos de fijación para los equipos de comunicación acústica. La cola está permanente sumergida en agua de mar, por lo cual posee un ánodo de sacrificio para evitar los efectos de la corrosión y alargar su vida útil [18]. En la figura 2.2 se muestran los componentes y dimensiones en milímetros de la boya MESEMAR.



Fuente: Recuperado de sitio web MESEMAR, Copyright 2014 por la Empresa.

Figura 2.2: Componentes y Dimensiones de la Boya Tsunámica MESEMAR [18].

La boya se ancla gracias a unos pesos formados por acero tratado que se conectan a través de un cable grueso de nylon al punto de anclaje de la cola. En el fondo marino se fija a través de contrapesos el BPR. Este sensor de presión es capaz de medir cambios en la columna de agua se hasta 1 mm y dispara un evento ante variaciones de solo 3 cm. El BPR puede tolerar presiones de hasta 7000 m de profundidad. La batería, electrónica y sensores están contenidos en un compartimiento hermético cilíndrico. Externamente se fija el transductor

acústico para comunicarse con la boya de superficie. En la figura 2.3 se muestra la unidad BPR de la boya MESEMAR del Centro de Monitoreo Oceánico del INOCAR.



Fuente: Fotografía proporcionada por el Centro de Monitoreo Oceánico del INOCAR

Figura 2.3: Unidad BPR de la Boya Tsunámica MESEMAR.

2.2 Sistemas Eléctricos y Electrónicos

Como se expuso en el punto anterior, los sistemas mecánicos dan soporte y protección a los sistemas eléctricos y electrónicos de la boya. A continuación se expondrá en mayor detalle estos sistemas.

2.2.1 Fuente de Poder

Las boyas del sistema DART, dado que van a permanecer largo tiempo desplegadas en alta mar, requieren de una fuente de energía eléctrica autónoma, es decir que no requiera soporte de tierra firme. Típicamente las boyas del sistema DART emplean módulos de paneles solares con redundancia y banco de baterías para almacenar la energía eléctrica generada. Los paneles solares pueden incluir protección contra la salinidad del ambiente y radiación ultravioleta, en caso de no tener esta protección, los paneles se cubren con un domo protector.

La boya de MESEMAR posee un sistema de alimentación formado por paneles solares redundantes y un banco de baterías de hasta 400 Ah. Un juego de 4 paneles solares está fijado a la superestructura en el plano vertical, otro juego de 4 paneles está fijado en la parte superior del cuerpo central. Cada panel solar está orientado a un costado de la

superestructura para tener cobertura de 360° de iluminación. Las baterías se alojan en el compartimiento hermético de la superestructura [18]. En la figura 2.4 se muestran los paneles solares de la Boya MESEMAR.



Fuente: Fotografía proporcionada por el Centro de Monitoreo Oceánico del INOCAR.

Figura 2.4: Paneles solares de la Boya Tsunámica MESEMAR.

2.2.2 Unidad Central de Procesamiento

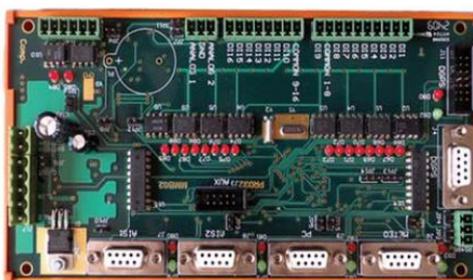
Las Boyas DART incluyen una Unidad Central de Procesamiento compuesta por un microprocesador junto con sus periféricos como memorias, puertos de entrada y salida, pines de uso general, jumpers, etc. Usualmente el circuito impreso viene protegido por una cubierta de resina para prevenir daños por el ambiente salino. Adjunto a la Unidad Central de Procesamiento usualmente está una tarjeta de interfaz industrial para controlar cargas como linternas marinas.

La función primaria de la Unidad Central de Procesamiento es procesar la información recibida de todos los componentes del sistema y gestionar los mensajes que se intercambian con el centro de control. También monitorea parámetros críticos en tiempo real como datos de presión, posición GPS, consumo energético, alarmas, etc. La Unidad Central de Procesamiento se conecta con dos dispositivos importantes de la boya, el módem de comunicación acústica y el módem de comunicación satelital.

Internamente estos dispositivos se pueden comunicar utilizando tramas basadas en el estándar NMEA (National Marine Electronics Association).

Este estándar reúne un conjunto de especificaciones eléctricas y de datos entre equipos electrónicos marinos como ecosondas, anemómetros, sonar, girocompás entre otros.

Los datos son enviados a través de caracteres ASCII. Usualmente se emplea la comunicación serial a través de puertos RS232. Por ese motivo la mayoría de las interfaces de las Unidades Centrales de procesamiento incluyen puertos serie RS232 [17]. En la figura 2.5 se muestra la Unidad Central de Procesamiento de la Boya de MESEMAR.



Fuente: Recuperado de sitio web MESEMAR, Copyright 2015 por la empresa.

Figura 2.5: Unidad Central de Procesamiento de la Boya Tsunámica MESEMAR [17].

2.2.3 Comunicaciones

Los sistemas más críticos de la boya del sistema DART son los módulos de comunicación acústica y satelital. La comunicación acústica entre la boya de superficie y la BPR emplea módems acústicos instalados en la boya de superficie y BPR respectivamente. Un módem acústico requiere de una fuente de poder y de un puerto de comunicación, usualmente es un puerto RS232 o RS485. La velocidad de transmisión de los módems acústicos pueden alcanzar los 38400 Baudios pero esto depende en gran medida de las condiciones oceanográficas donde se propaga la señal

acústica]. En la figura 1.3 se muestra el enlace acústico bidireccional a través de una columna de agua entre el BPR y la boya de los sistemas DART.

Dependiendo del fabricante los módems acústicos generalmente utilizan comunicación transparente para el usuario después de haber sido inicializados, es decir que no se requiere un tipo particular de codificación de los datos, simplemente se envían los datos de la misma forma que se la hace a través de un cable serial. Al momento de arrancar el módem acústico se requiere de un proceso de inicialización a través del intercambio de “comandos” y “recibidos”, entre el CPU anfitrión y el módem, como estatus, versión de firmware, alarmas y configuración.

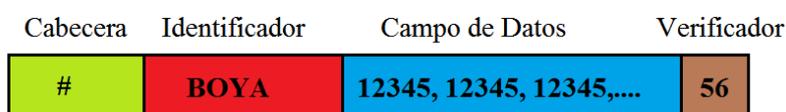
Luego que se recibe y procesa la información del BPR es necesario transmitir el resultado de su evaluación al centro de control a través de un enlace satelital. Las boyas del sistema DART emplean módems satelitales. El módem puede estar integrado directamente con la antena o conectados a través de un cable coaxial. La antena satelital se fija en la parte superior del mástil de la boya. Generalmente se emplean antenas de bajo ángulo de elevación para garantizar que a pesar del movimiento continuo de la boya ante el viento y las olas del mar, siempre va a tener en su línea de vista al satélite.

2.3 Trama de mensajería de las Boyas de Tsunami MESEMAR

Generalmente los equipos electrónicos marinos emplean una trama de datos para envío y recepción de la información. Por ejemplo los equipos de posicionamiento global GPS emplean tramas basadas en el protocolo NMEA 0183. Típicamente las tramas tienen una cabecera, identificador de mensaje, campos de datos y un verificador codificados a través de caracteres ASCII. La cabecera indica el inicio de una trama de datos, generalmente es el carácter “\$” o “#”. El identificador consiste en un conjunto de caracteres que indican que equipo se está comunicando. Luego del identificador vienen los campos de datos que contienen la información que mide el equipo como posición geográfica, velocidad del viento, temperatura, etc. Finalmente se agrega a la trama un

verificador o checksum que sirve para constatar la integridad de la trama de datos. El verificador es un byte o conjunto de bytes generado a partir de una función matemática que vincula a todos los bytes de la trama de datos. El receptor calcula el verificador a partir de los datos recibidos usando la función matemática y lo compara con el verificador recibido, si no coincide el verificador recibido y el calculado se determina que la trama de datos está corrompida [19].

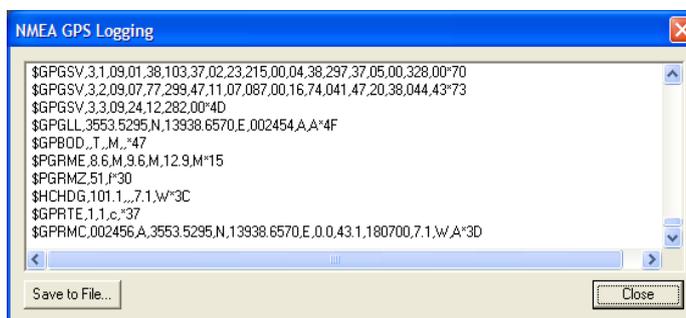
En la figura 2.6 se muestra la estructura típica de una trama de datos de un equipo marino.



Fuente: Elaborado por el autor.

Figura 2.6: Estructura típica de una trama de datos de un equipo marino.

En la figura 2.7 se muestra un conjunto de tramas de datos de un equipo GPS.



Fuente: Recuperado de Sitio Web Globalmapper.

Figura 2.7: Trama de datos de un equipo GPS [19].

Las boyas del sistema DART emplean un protocolo de transferencia de datos similar. De acuerdo a la publicación de la NOAA "Real-Time Deep-Ocean Tsunami Measuring, Monitoring and Reporting System: The NOAA DART II Description and Disclosure" del año 2005, el sistema de telemetría de la boya tiene dos modos de operación: modo estándar y modo evento. En el modo estándar la trama de datos está compuesta por los siguientes campos:

- ID del mensaje formado por un número secuencial.
- Estatus del mensaje, C=corrupto, I=intacto.
- Fecha, Mes-Día-Año.
- Tiempo, Hora-Minuto-Segundo.
- Voltaje Batería Principal.
- Voltaje del Procesador Digital de señal del módem acústico.
- Voltaje del módem acústico.
- valores de la altura de la columna de agua en milímetros correspondiente a intervalos de 15 minutos.
- Número de intentos para enviar el mensaje.
- Delimitador de verificador.
- Verificador.

Nota: Para ahorrar energía, estas tramas se transmiten cada 6 horas.

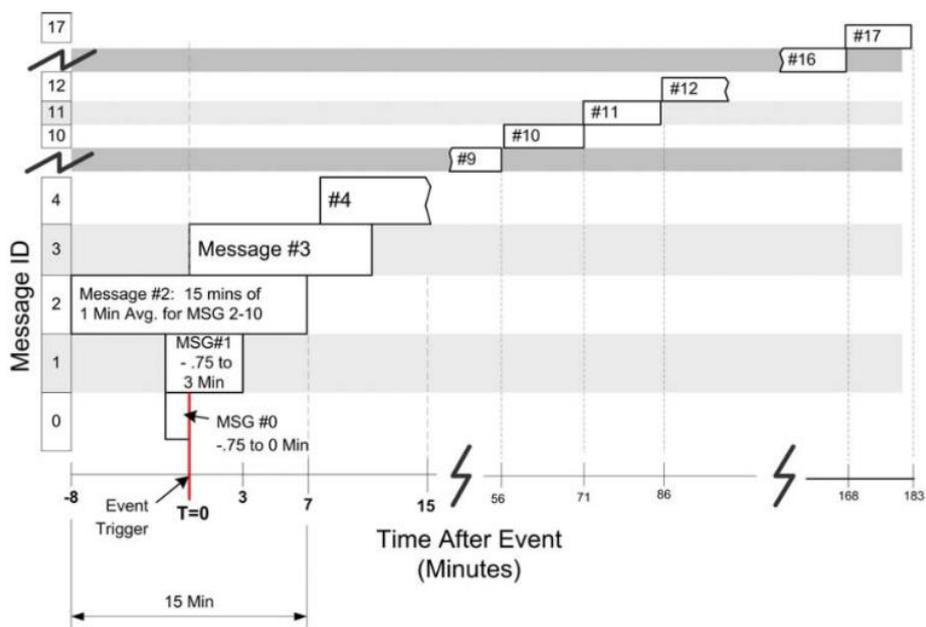
En el modo evento, que es el caso en que se detectan las olas de un tsunami por el algoritmo que corre en la CPU del BPR, la trama de datos está compuesta por los siguientes campos:

- Tiempo exacto en que el evento fue detectado.
- ID del mensaje.
- Promedio de la columna de agua que activo el evento junto con tres desviaciones.
- Verificador y otros campos para asegurar la integridad de la trama.

Después que el algoritmo de Tsunami retorna a su estado inicial, se vuelve al modo estándar. Las tramas de datos son generadas por el BPR, la boya de superficie realiza la función de relay, transmitiendo la trama tal como arribó al módem acústico. Dependiendo del fabricante, a la trama del BPR se le puede

agregar más campos como parámetros de funcionamiento de la boya de superficie [20].

En caso que la trama de datos del BPR no arribe a la boya de superficie a través del enlace acústico, se envía la posición geográfica de la boya en lugar de la altura de la columna de agua para asegurar que la boya esté en la posición correcta. En la figura 2.8 se muestra el diagrama de tiempos cuando la boya opera en el modo evento.



Fuente: Recuperado de sitio web de la NOAA.

Figura 2.8: Diagrama de tiempos del modo evento [20].

CAPÍTULO 3

3. REDES SATELITALES

El Diseño de un Sistema de Alerta temprana, debe ser capaz de predecir un tsunami, en base a cualquier condición extrema, no con exactitud sino con anticipación. Es aquí donde la comunicación entre red de boyas, con las entidades de monitoreo, deben ser seguras en todo tipo de catástrofe.

Por este motivo se propone el uso de una Red Satelital directa con el Centro de Monitoreo Oceánico en el INOCAR, porque el sismo que genera el tsunami, puede provocar la pérdida de energía eléctrica o afectar a la infraestructura de las redes de telefonía (móvil y fija) e internet, como ocurrió en los terremotos de Chile y Japón.

3.1 Sistemas Satelitales

En la actualidad las comunicaciones han alcanzado un gran avance en la tecnología, con la capacidad de conectar ciudades o países a través de comunicaciones terrenas como lo es la fibra óptica o cable submarino, que enlazan países a lo largo de los océanos. Pero los costos, la capacidad y el ruido afectan las largas instalaciones entre países, por este motivo se opta por usar una comunicación satelital.

La UIT define un enlace por satélite como un enlace radioeléctrico entre una estación terrena transmisora y una estación terrena receptora por medio de un satélite [21]. Un sistema satelital se compone básicamente de su estación transmisora, su constelación satelital y su estación receptora (Gateway). El Gateway es el encargado de enviar la información usando internet a los usuarios.

En la actualidad la estación transmisora del sistema satelital puede ser un terminal handheld, que son terminales portátiles como teléfonos satelitales, módem o puntos de acceso a internet que son capaces de crear un enlace satelital.

3.2 Asignación de Frecuencias

La asignación de frecuencias para los servicios satelitales es un proceso regulado por la UIT. La UIT para facilitar la asignación del espectro divide el mundo en 3 regiones:

- Región 1: Europa, África y Mongolia.
- Región 2: América y Groenlandia.
- Región 3: Asia, Australia y el suroeste del Pacífico.

Basado en estas 3 regiones se otorga las bandas de frecuencias a los diferentes servicios satelitales como:

- Servicio de Satélite Fijo (FSS en inglés).
- Servicio de Satélite Broadcast (BSS en inglés).
- Servicio móviles Satelitales (MSS en inglés).
- Servicios satelitales de navegación.
- Servicios satelitales meteorológicos.

La asignación oficial de frecuencias realizada por la UIT se la muestra en la Tabla 2 [22].

Rango de Frecuencia GHz	Designación
0.1–0.3	VHF
0.3–1.0	UHF
1.0–2.0	L
2.0–4.0	S
4.0–8.0	C
8.0–12.0	X
12.0–18.0	Ku
18.0–27.0	K
27.0–40.0	Ka
40.0–75	V
75–110	W
110–300	mm
300–3000	μm

Fuente: Satellite Communication 4th Edition

Tabla 2: Asignación de Frecuencias UIT [22].

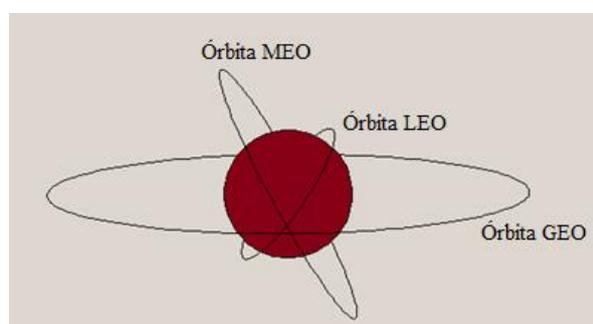
3.3 Órbitas

De acuerdo al Plan Nacional de Frecuencias del año 2012, una órbita se define como una trayectoria que se describe con relación a un sistema de referencia especificado, centro de gravedad de un satélite o de otro objeto espacial, por la acción principal de fuerzas naturales, fundamentalmente las de gravitación [23]. Las órbitas satelitales se clasifican de acuerdo a la altitud en:

- Órbitas LEO (Órbita Terrestre Baja).
- Órbitas GEO (Órbita Terrestre Geoestacionaria).
- Órbitas MEO (Órbita Terrestre Media).

En la Recomendación 673 de la UIT define las órbitas LEO como una órbita terrestre de baja altitud, con una altitud inferior a unos 2 000 km por encima del nivel del mar. En cambio las órbitas MEO se definen como una órbita terrestre de altitud media, con una altitud de unos 10 000 km por encima del nivel del mar [24].

Para definir una órbita GEO primeramente se debe definir un satélite geosincrónico. Según el Plan Nacional de Frecuencias del 2012 es un satélite de la Tierra cuyo período de revolución es igual al período de rotación de la Tierra alrededor de su eje. Las órbitas GEO según el Plan Nacional de Frecuencias del año 2012, se define como la órbita de un satélite geosincrónico cuya órbita circular y directa se encuentra en el plano del ecuatorial de la Tierra. Si este satélite se encuentra en el plano ecuatorial de la Tierra y por ende está fijo con respecto a la Tierra se denominará Satélite geoestacionario [23]. En la figura 3.1 se puede observar las orbitas descritas.



Fuente: Elaborado por el autor.

Figura 3.1: Órbitas Satelitales.

3.4 Sistemas Móviles Satelitales

Según la Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT, los sistemas de redes satelitales son el medio más seguro de transmisión en caso de un sismo o tsunami, siendo el principal apoyo en las primeras etapas del evento.

Este tipo de catástrofes afectan a todas las comunicaciones terrenas, incluso a las infraestructuras de redes satelitales. Sin embargo las redes satelitales cuentan con los sistemas de Servicio móviles Satelitales (MSS en inglés).

Los sistemas de MSS poseen una gran área de cobertura y no necesitan una infraestructura de red local. Otra característica principal, es la independencia de una central de energía eléctrica, debido a que puede funcionar con una batería durante largo periodos de tiempo, enviando alertas incluso después del evento. También existen equipos que operan con energía solar. La UIT en caso de una catástrofe, establece dos formas de comunicación usando los MSS. Una de ellas es estableciendo una red de comunicación mediante dispositivos handheld (Computadoras portátiles de bolsillo, teléfono satelital) y la segunda forma es una infraestructura global que use un enlace satelital como backup. Los MSS incluyen la aplicación de SMS usada por redes celulares, soportadas para sistemas MSS LEO y MSS GSO. De manera que los SMS, son enviados en forma broadcast entre terminales handheld. Los sistemas MSS GSO soportan otro servicio de redes celulares denominado GPRS (Servicio General de Telecomunicaciones por paquetes), a través de satélites que apuntan directamente a terminales handheld, dándoles acceso a internet. Todos los MSS, en la actualidad pueden proporcionar enlaces de voz, datos y acceso a Internet [25].

Basados en los MSS se diseñará la red Satelital, la cual toma la misma base de un sistema de telecomunicaciones satelital general conformado por un emisor, repetidor y receptor

3.5 Arquitectura de las Redes Satelitales

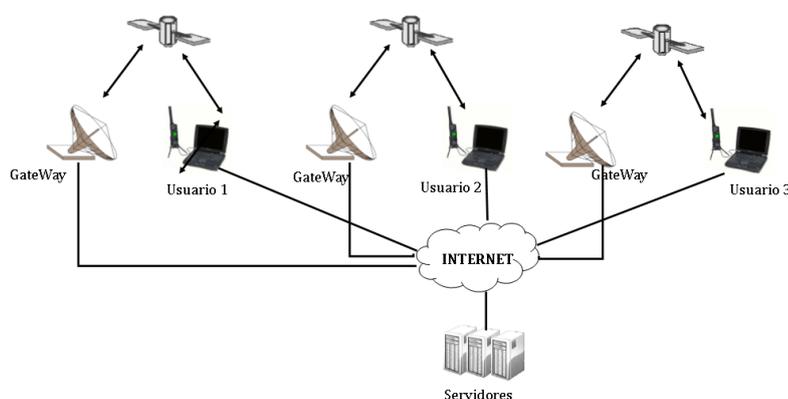
Las órbitas LEO y GSO de los sistemas MSS proveen servicios abarcando grandes áreas de cobertura, en comparación con las infraestructuras de redes terrestres. Las órbitas LEO para los MSS pueden proveer cobertura en todo el planeta, incluyendo las zonas polares. Su cobertura depende del ángulo de inclinación de la órbita, y la arquitectura utilizada [25].

Las arquitecturas empleadas en los sistemas satelitales son:

- Arquitectura Satelital “Bent-Pipe”.
- Arquitectura Satelital “Network in the Sky”.

3.5.1 Arquitectura Satelital “Bent-Pipe”

La Arquitectura Satelital “Bent-Pipe” consiste en usar el satélite como transponder de radiofrecuencia entre la terminal del usuario y el gateway como se observa en la figura 3.2. Esta arquitectura requiere que tanto el usuario y el gateway sean visibles para el satélite, para que el usuario acceda al sistema.



Fuente: Elaborado por el autor.

Figura 3.2: Arquitectura Bent Pipe.

3.5.2 Arquitectura Satelital “Network in the sky”

La segunda Arquitectura Satelital es conocida como “Network in the sky”, basada en enlaces entre satélites (ISL). Los satélites realizan operaciones de procesamiento y enrutamiento por lo que el sistema provee grandes áreas de cobertura y no requiere un gateway en la footprint del satélite.

3.5.3 Diferencias entre Arquitecturas Satelitales

La diferencia de las arquitecturas radica en las limitaciones de accesibilidad que presenta la Arquitectura “Bent-Pipe”, debido a que la Arquitectura “Network in the Sky”, solo necesita una estación gateway en el mundo para acceder al sistema.

La limitación de la Arquitectura Bent-Pipe, está sujeta únicamente a los LEO MSS, en cambio en Órbitas Geoestacionarias (GSO), no se ve afectado por la limitación, debido a su órbita y su altitud de 35,793 km abarcando coberturas continentales.

Los sistemas GSO MSS pueden proporcionar grandes áreas de cobertura sin la necesidad de usar los ISL o múltiples gateway [25].

3.6 Análisis de Redes Satelitales

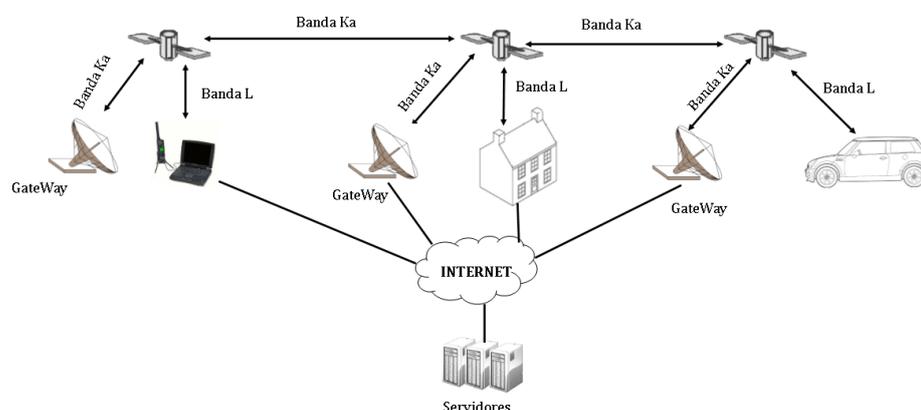
3.6.1 Iridium

La Red satelital Iridium con sede en Estados Unidos posee la arquitectura “Network in the sky” combinado con procesamiento y enrutamiento entre satélites, resultando en un acceso total al sistema a través de un simple estación Gateway ubicada en Tempe, Arizona. Iridium se basa en una constelación de 66 satélites LEO, situada en 6 planos polares, con 11 satélites activos por plano, en la altitud de 780 km (476 millas), la proximidad de Iridium significa una vía de transmisión más corta y mayor potencia.

Como se detalló en secciones anteriores, los componentes de un sistema satelital son: la constelación de satélites, gateway y los usuarios. Iridium

opera en banda Ka para los enlaces entre satélites (ISL) y los enlaces ascendente y descendente con su gateway. Para los enlaces entre los terminales satelitales, Iridium usa Banda L.

En la figura 3.3 se observa la transmisión de un sistema IRIDUM. La transmisión de datos es completada usando canales de acceso TDMA y FDMA en el espectro de banda L entre 1616 Mhz -1626.5 Mhz. FDMA permite a los satélites Iridium reusar las bandas de frecuencias entre haces y TMDA permite a los usuarios enviar y recibir datos del sistema. La modulación es QPSK [26].



Fuente: Elaborado por el autor.

Figura 3.3: Asignación de Frecuencias de Iridium.

La ventaja que presenta Iridium es su gran cobertura en latitudes altas y la potencia de transmisión al operar en órbitas LEO. Pero el principal problema es el roaming debido a que los satélites están rotando continuamente sobre la Tierra y existe la posibilidad que una determinada zona donde ya ha pasado un satélite la intensidad de la señal sea débil hasta que arribe otro satélite.

La red de Comunicación Iridium se caracteriza por:

- Servicio de Comunicación handheld.
- Servicio de Control de errores para emisión de mensajes.
- Los transceptores están integrados con GPS, para transmitir automáticamente la posición fija de los datos, en intervalos de tiempo fijo.
- Servicio de mensajes cortos (SMS).

3.6.2 Globalstar

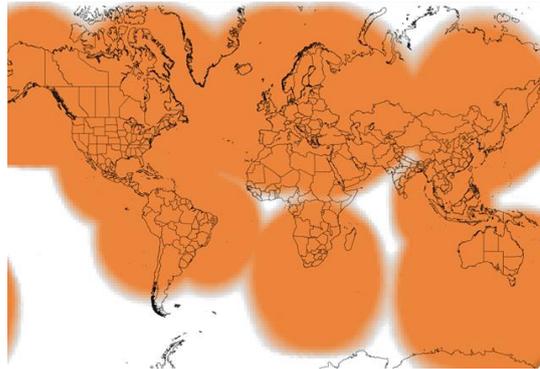
La constelación de Globalstar está compuesta por 48 satélites principales ubicados a una distancia de 1414 km sobre la tierra con 113 minutos como periodo orbital, 4 satélites más ubicados en órbitas cercanas que se las utiliza como backup en caso de fallo de alguno de los principales. Los 48 satélites están distribuidos en 8 planos orbitales a 52° de inclinación con respecto del Ecuador, separados entre sí 45° por lo que en cada uno de los planos habrá 6 satélites con una separación de 60° respectivamente [27].

Sus principales características son:

- Posee todas las ventajas de los satélites que operan en la órbita LEO como terminales de menor tamaño, menor latencia.
- Cobertura entre +70° y -70° de latitud.
- Redundancia
- Servicio handheld
- Velocidades de hasta 128 kbit/s.

Según la página web de Globalstar, las zonas de cobertura pueden experimentar baja intensidad de señal que depende de la localización del terminal satelital, características del terreno, condiciones atmosféricas

entre otros factores propios de los satélites LEO. Esto implica que posiblemente se presenten problemas en el enlace de datos. En la figura 3.4 se muestra la zona de cobertura de Globalstar sobre el mar ecuatorial.

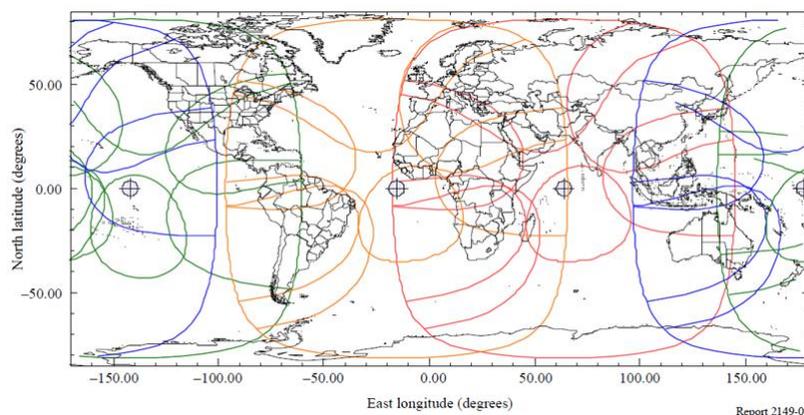


Fuente: Recuperado de sitio web de Globalstar.

Figura 3.4: Mapa de cobertura Globalstar [27].

3.6.3 Inmarsat

La constelación Inmarsat está compuesta de 11 satélites geoestacionarios desde el año 2009, con satélites adicionales lanzados para mejorar la disponibilidad de los servicios [28]. Los satélites Inmarsat pueden brindar servicio de manera global, regional y en lóbulos estrechos de cobertura como se observa en la figura 3.5. El sistema Inmarsat usa canales TDM donde cada canal es transmitido en una única frecuencia. La banda de frecuencia de Rx está entre: 1525.0 - 1559.0 Mhz y la banda de frecuencia Tx está entre: 1626.5 - 1660.5, pertenecientes a Banda L.



Fuente: Recuperado de Reporte 2149 de la UIT.

Figura 3.5: Cobertura Inmarsat [25].

Los sistemas Inmarsat actualmente proveen tanto conmutación de servicios y paquetes en banda L para las comunicaciones de terminales handheld y terminales semi-fijos a vehículos, proporcionando conectividad en ambientes terrestres, marítimos y aeronáuticos. La conmutación de servicios proveen voz, télex, fax, datos con velocidad hasta de 64kbit/s y servicios ISDN (Servicios Integrados de Redes Digitales), mientras que el servicio de conmutación de paquetes proporcionan envío de mensajes cortos con conectividad de datos hasta 492 kbit/s. La red local consiste en una serie de estaciones terrenas que proporcionan conexión con la red de comunicaciones terrestres. Inmarsat es actualmente el único proveedor de MSS de comunicaciones de voz y datos para el Sistema Mundial de Socorro y Seguridad Marítima (GMDSS en inglés) que es aprobado por la Organización Internacional Marítima (OMI en inglés) [25].

Los Servicios para el GMDSS, son proporcionados por los estándares Inmarsat B, Inmarsat C, e Inmarsat Fleet 77. En la Tabla 3 se detalla los estándares más conocidos de Inmarsat.

Estándar	Servicios ofrecidos	Versiones
Inmarsat A	Telefonía directa de alta calidad, télex, fax, y transmisión de datos	Marítima Terrestre
Inmarsat-Aero	Telefonía, fax, datos	Aéreo
Inmarsat-B	Comunicación bidireccional, voz, télex, fax y datos	Marítima Terrestre
Inmarsat-C	Provee comunicación bidireccional de datos y mensaje desde y hacia cualquier parte del mundo	Marítima Terrestre
Inmarsat-D/D+	Envío de datos One-way (Inm-D) Two Wayl (Inm-D+)	Global
Inmarsat-E	Emergencia	Global
Inmarsat-M	Telefonía, fax a 2400 bps	Marítima Terrestre
Inmarsat-P/Mini-M	Telefonía, fax y datos a 2400 bps	Global
Inmarsat-Fleet 77, 55, 33 (Los valores corresponden al diámetro de la antena en cm)	Servicios ISDN, Fax, Telefonía	Global

Fuente: Información recuperada de sitio web Inmarsat.

Tabla 3: Estándares Inmarsat [28].

Los servicios prestados por Inmarsat o el GMDSS incluyen voz, télex, datos de socorro, alertas y mensajes de urgencia y seguridad, proporcionado información de seguridad marítima y advertencias meteorológicas. Con respecto a emergencias y desastres naturales, los servicios Inmarsat pueden ayudar tanto en la etapa de alerta temprana como en la etapa post desastre (salvamento) [25].

3.7 Criterio de Selección de Red Satelital

La selección de la red satelital radica en la posición geográfica del país la cual permite trabajar con la órbita geoestacionaria sobre la línea ecuatorial, obteniendo cobertura en todo momento con satélites geoestacionarios considerando que tienen su mejor cobertura en latitudes bajas y mayor intensidad de señal, por lo tanto la red satelital será Inmarsat.

Como se detalló en la sección anterior Inmarsat es el único proveedor de servicios de voz y datos para GMDSS, por lo tanto la comunicación puede llegar a lugares donde no llegarían las redes celulares, por lo que usando terminales satelitales que trabajen en la red Inmarsat se podría monitorear cualquier evento sísmológico o tsunamigénico en cualquier parte del Ecuador.

Existen varios proveedores de servicios satelitales Inmarsat, el más reconocido a nivel de comunicación satelital para terminales satelitales (máquina – máquina) es la empresa SkyWave. Para continuar con el análisis respectivo se detallará la información sobre los servicios de networking y las respectivas aplicaciones que brinda el proveedor SkyWave sobre sus terminales satelitales.

3.8 SkyWave

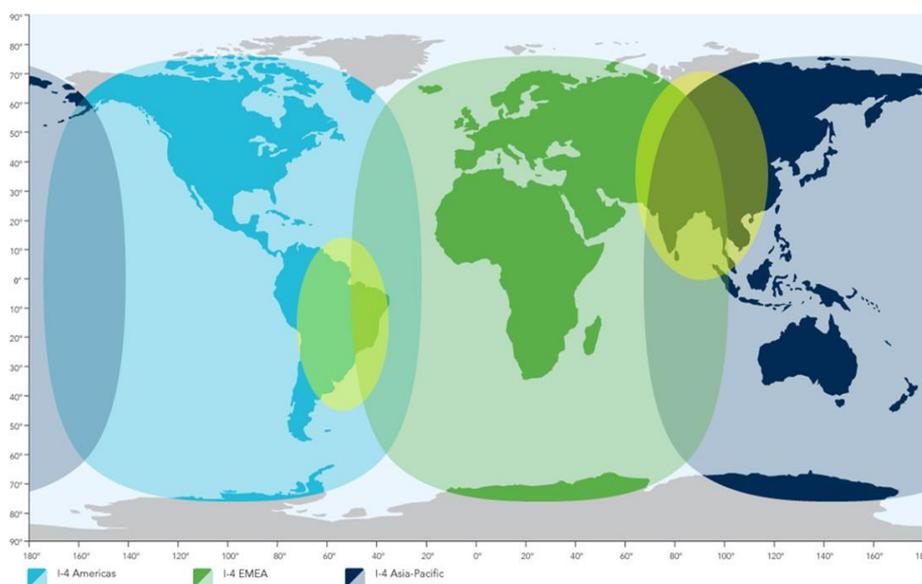
SkyWave es un proveedor de servicios de comunicaciones inalámbricas, líder en mercados máquina – máquina (M2M). Este proveedor fabrica terminales satelitales y satelitales/celulares que operan en banda L. SkyWave provee servicios satelitales en los mercados marítimo, de transporte, y monitoreo de dispositivos fijos (SCADA) [29].

3.8.1 IsatData Pro

IsatData Pro es un servicio global de paquetes de datos satelital. Ofrece una capacidad de envío mucho mayor que otros servicios de datos. Por lo que provee no solo capacidad de monitoreo sino envío de mensajes o documentos. El servicio provee una comunicación bidireccional a los terminales SkyWave, enviando y recibiendo datos con sus estaciones de monitoreo.

Al usar la red satelital Inmarsat, se usará la Arquitectura satelital Bent-Pipe donde los terminales SkyWave se comunicarán a la red Inmarsat y estos se comunicarán a su gateway, donde la información se subirá a la Web.

El servicio IsatData Pro usa 5 satelitales operando en órbita geostacionaria. Los Satélites Inmarsat 4: Americas, Europe Middle East Africa (EMEA) y Asia Pacific (APAC) proveen una cobertura global, mientras que los satélites Inmarsat 3: Atlantic Ocean Region West South Central (AORW SC) e Indian Ocean Region North East (IOR NE) proveen coberturas spot como se observa en la figura 3.6 [29].



Fuente: Recuperada de sitio web SkyWave, Copyright (c) SkyWave Mobile Communications.

Figura 3.6: Cobertura Satelital de IsatData Pro [29].

Sus ubicaciones son:

- I-4 Americas a 98° W
- I-4 EMEA a 25° E
- I-4 APAC, en 143,5° E
- I-3 IOR NE a 64°E
- I-3 AORW SC a 53° W

El servicio de datos IsatData Pro posee grandes ventajas sobre otros servicios como la velocidad de transmisión la cual es menor a 15 segundos en el envío de 100 bytes y de 45 segundos para 1000 bytes. La tasa de envío alcanza hasta los 6.4 kb desde terminales y se pueden enviar hasta 10kb hacia los terminales desde las estaciones de monitoreo [30].

En la figura 3.7 se observa los terminales satelitales SkyWave que operan en el servicio IsatData Pro para envío de datos. Estos terminales son de la serie IDP 600: IDP 680 e IDP 690. Sus características principales son:

- Excelente cobertura en el mar ecuatorial dado que emplea satélites geoestacionarios.
- Tamaño, peso y consumo energético reducido que facilita su instalación en boyas.
- No requiere de un microcontrolador externo, el terminal dispone de un microcontrolador interno programable por el usuario.
- Posee un microcontrolador que es programado por el usuario utilizando lenguaje de programación de código abierto LUA.
- No requiere antena externa, está incluida en el interior del módem.



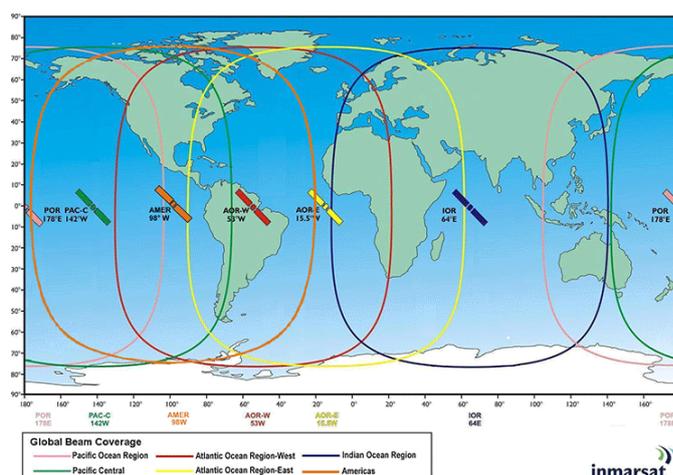
Fuente: Recuperada de sitio web SkyWave, Copyright (c) SkyWave Mobile Communications.

Figura 3.7: Terminales Satelitales de la serie IDP 600 [30].

3.8.2 IsatM2M

La red satelital global IsatM2M posee casi las mismas características del servicio IsatData Pro, para el envío de mensajes, pero en menor capacidad, por lo que IsatM2M se aplica mucho más a monitoreo y control de activos fijos, dirigido al mercado marítimo y transporte. El tamaño de mensajes que se puede enviar es de 192 bytes desde terminales y 100 bytes hacia los terminales que operan en el servicio IsatM2M [29].

La diferencia radica principalmente en el uso del estándar Inmarsat D+, la cual posee solo satélites de cobertura global, como se observa en la figura 3.8.



Fuente: Recuperada de sitio web SkyWave, Copyright (c) SkyWave Mobile Communications.

Figura 3.8: Cobertura Satelital de IsatM2M [29].

Los satélites que usa IsatM2M son:

- I-4 Americas a 98° W
- I-3 IOR a 64°E
- I-3 AOR West a 53° W
- I-3 AOR East a 15.5° W
- I-3 Pacific Ocean Region a 178° E
- I-2 Pacific Central, en 142° E

En la figura 3.9 se observa los terminales satelitales SkyWave que operan en el servicio IsatM2M de la serie DMR, estos terminales poseen las mismas características que los terminales IDP, excepto en la capacidad de envío y poseen una latencia mayor.



Fuente: Recuperada de sitio web SkyWave, Copyright (c) SkyWave Mobile Communications.

Figura 3.9: Terminales Satelitales de la serie DMR-800 [29].

Los terminales de la serie DMR y la serie IDP son muy similares en cuanto a su hardware, poseen un microcontrolador programable basado en el lenguaje LUA, una antena omnidireccional integrada, un módem satelital para comunicarse con el satélite, un subsistema GPS/GLONASS integrado, 4 puertos I/O, y un puerto serial.

Ambas series tienen un modelo para uso marítimo y un modelo para uso terrestre. Los modelos IDP 680 y DMR 800-D se aplican a zonas terrestres mientras que los modelos IDP 690 y DMR 800-L se utilizan para aplicaciones en zonas marítimas.

3.8.3 IPSCADA

El servicio IPSCADA otorga una dirección IP pública a cada terminal que operen en los servicios IsatM2M e IsatData Pro. El procedimiento consta en crear una red VPN para asegurar la transmisión de los datos, solicitando un usuario y contraseña provista por IsatData Pro o IsatM2M

Este servicio da la opción de crear aplicaciones WEB sin depender de las bases de datos de IsatData Pro o IsatM2M para comunicar las estaciones de monitoreo con los terminales satelitales, únicamente enviando y recibiendo tramas IP usando la red VPN.

Estas tramas llegan a los Servidores IPSCADA, los cuales reciben la trama con la cabecera TCP/IP e identifica a que dispositivo pertenece la dirección IP, cambiando esta dirección IP por la ID del dispositivo asignado por IsatData Pro o IsatM2M, y envía el mensaje al dispositivo por un enlace satelital como se observa en la figura 3.10.



Fuente: Recuperada de sitio web SkyWave, Copyright (c) SkyWave Mobile Communications.

Figura 3.10: Envío de datos usando aplicación IPSCADA [31].

Como se observa en la figura 3.10 la comunicación TCP/IP termina en el Servido IPSCADA. A partir de allí se cambia al procedimiento normal del servicio IsatData Pro y IsatM2M otorgándoles una ID a los dispositivos para que se puedan identificar al momento de enviar y recibir mensajes [31].

CAPÍTULO 4

4. PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN

Para el diseño de EWS, no solo es necesaria una red satelital comunicándose en todo momento con el Centro de Monitoreo Oceánico ubicado en las instalaciones del INOCAR en Guayaquil. Un EWS de Tsunami, debe difundir la alerta automáticamente en la zona del evento, el cual es primordial para el caso de alertas cercanas de sismos. La difusión automática, alerta a toda una población para una evacuación inmediata. Todo EWS posee una estación de alerta sonora, el objetivo es que se accione automáticamente al recibir la alerta detectada por las boyas de tsunami.

Para diseñar la activación automática se optó por la alternativa de comunicación inalámbrica basada en el protocolo IEEE 802.15.4 para redes WPAN (Wireless Personal Area Network).

La comunicación inalámbrica sería la mejor alternativa debido a su fácil implementación y su confiabilidad al momento de transmitir de forma broadcast, y la independencia de radiobases para la comunicación. También en este Capítulo se definirá los conceptos de comunicación serial y los conceptos básicos de aplicaciones cliente – servidor que serán fundamentales para cumplir con el objetivo de usar enlaces satelitales en el Sistema de Alerta Temprana.

4.1 Protocolo estándar IEEE 802.15.4

El estándar IEEE 802.15.4 más conocido como ZigBee, se define como un protocolo para redes WPAN (Wireless Personal Area Network). Una red WPAN es una red simple de bajo costo que permite conectividad wireless en aplicaciones con limitada potencia y bajos requerimientos. Las redes WPAN son de fácil instalación, poseen una baja tasa de transmisión y bajo ancho de banda [32].

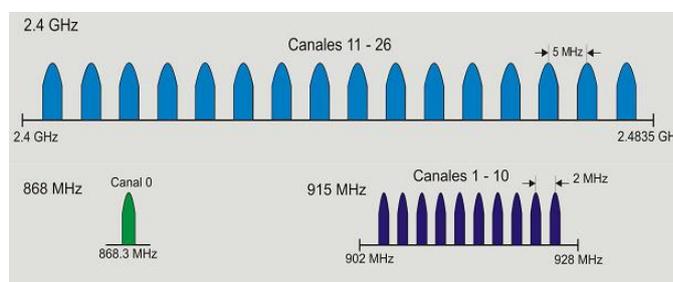
Entre sus principales características se encuentran:

- Tasas de transmisión de 250 kb/s, 100kb/s, 40 kb/s y 20 kb/s.
- Direccionamiento de redes de 16 bit (Hasta 65536 dispositivos).
- Topologías Multipunto o Peer to Peer (entre pares).

- Uso de la banda libre ISM (Industrial, Scientific and Medical) 2400 Mhz, y también opera en las bandas 915 Mhz y 868 Mhz.
- Baja Potencia.

4.1.1 Canales del Estándar IEEE 802.15.4

El estándar IEEE 802.15.4 define 27 canales, los cuales se distribuyen en 16 Canales en la banda 2.4 Ghz, 10 canales en la banda 915 Mhz y 1 canal en la banda 868 Mhz, como se observa en la figura 4.1.



Fuente: Recuperado de Estándar IEEE para la Tecnología de información, Copyright © 2006 IEEE, todos los derechos reservados.

Figura 4.1: Canales del estándar IEEE 802.15.4 [32].

4.1.2 Componentes de IEEE 802.15.4 WPAN

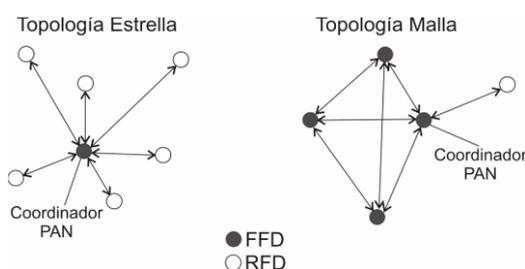
Los componentes en redes WPAN se definen de la siguiente forma:

- Router: En este modo opera como enrutador de mensajes que conllevan saltos múltiples.
- Coordinador: Inicializa la red WPAN, envía los mensajes en forma broadcast y pueden enlazar a otras redes.
- Dispositivo Final: Son los actuadores de red, como un módem, únicamente interactúan con el coordinador o router adquiriendo los mensajes para una función establecida.

En el estándar IEE 802.15.4 pueden participar dos dispositivos: FFD (Full Function device) y RFD (Reduced function device). El FFD puede operar como coordinador o router y los RFD operan únicamente como dispositivos finales receptores de las tramas de datos.

4.1.3 Topologías de Red

Las redes WPAN poseen dos topologías de comunicaciones: estrella y malla. En las dos topologías existirá por lo menos un dispositivo funcionando como coordinador PAN. Ambas topologías funcionarán con un dispositivo FFD o RFD, tal como se observa en la figura 4.2.



Fuente: Recuperado de Estándar IEEE para la Tecnología de información, Copyright © 2006 IEEE, todos los derechos reservados.

Figura 4.2: Topologías de red, soportadas por el estándar IEEE 802.15.4 [32].

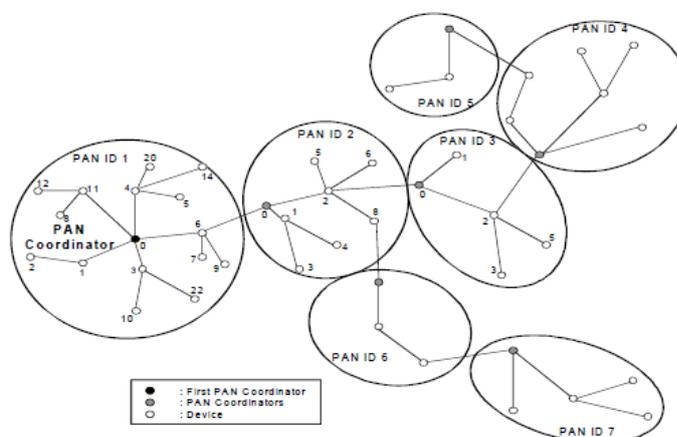
La topología estrella establecerá una comunicación entre dispositivos y un coordinador enviando los datos de forma broadcast. El coordinador en esta topología será el router de la red, cumpliendo las mismas funciones que en una topología de red local, si un dispositivo necesita comunicarse con otro deberá pasar por el Coordinador.

La Topología Malla también tiene un Coordinador PAN, en esta topología existen enlace punto a punto entre dispositivos. Esta topología permite la formación de más redes complejas para ser implementadas tanto como lo necesite la topología.

4.1.4 Arquitectura de Protocolo IEEE 802.15.4

La arquitectura IEEE 802.15.4 está definida en términos de un número de bloques para simplificar el estándar. Estos bloques son llamados capas. Cada capa es responsable de una parte del estándar y ofrece servicios para las capas mayores. La capa de bloques está basada en el sistema abierto de interconexión del modelo OSI de 7 capas [32].

Las interfaces entre los servicios de capas sirven para definir los links lógicos como se observa en la figura 4.3.



Fuente: Recuperado de Estándar IEEE para la Tecnología de información, Copyright © 2006 IEEE, todos los derechos reservados.

Figura 4.3: Red de Celdas Protocolo ZIGBEE [32].

La capa física del protocolo IEEE 802.15.4, cumple con el envío y recepción en el medio y la capa de enlace de datos corrige los errores de la trama y lo pone a disposición de las capas superiores. La capa de enlace se basa en radiofrecuencia, transmitiéndose en las diferentes bandas mencionadas anteriormente:

- 2400-2483.5 MHz (Global).
- 902-928 MHz (EEUU).
- 868-868.6 MHz (Europa).

4.2 Protocolo de Comunicación Serial RS-232

La comunicación serial se define como el envío de un bit a la vez. Este tipo de comunicación es utilizada en el envío de caracteres ASCII que en una comunicación satelital o inalámbrica se denominan comandos AT.

Basado en el estándar RS-232 de comunicación, la transmisión de datos es asíncrona, la cual puede conectar tanto dos ordenadores como dispositivos de manera directa, transmitiendo y enviando por el puerto serial de un ordenador.

4.3 LabView

LabView es un entorno de desarrollo de aplicaciones basadas en lenguaje de programación gráfico, llamado lenguaje G. LabView es una plataforma recomendada para sistemas de hardware y software de control y diseño en tiempo real. Las aplicaciones que se desarrollan en esta plataforma se denominan instrumentos virtuales, más conocido como VI's. Estas aplicaciones diseñan un diagrama de bloques donde se usa sentencias de programación, constantes, variables de control e indicadores, y a su vez generan un panel frontal (Interfaz gráfica) donde el usuario puede visualizar los resultados, permitiendo que cualquier usuario pueda encargarse del control de la función a la que está destinada el VI's.

El entorno de lenguaje gráfico LabView contiene una librería de comunicación serial lo cual facilita el envío y recepción de bits por el puerto serial teniendo acceso a las tramas ASCII. Esta librería tiene el nombre de NIVISA (National Instruments Virtual Instrument Software Architecture) como se puede observar en la figura 4.4, y se encuentra descargable en la página oficial de National Instruments LabView.



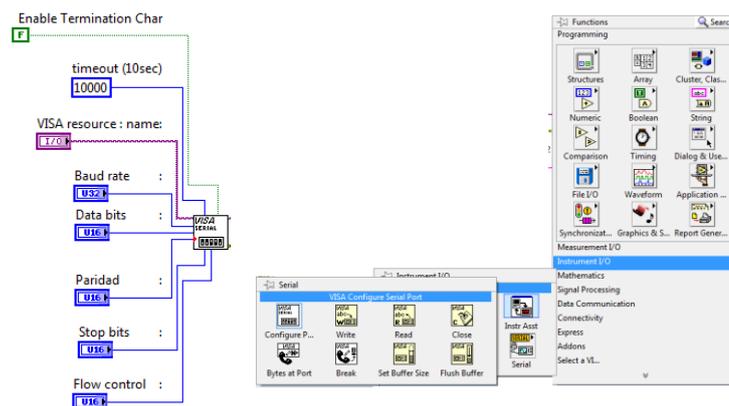
Fuente: Elaborado por el autor.

Figura 4.4: Instalador Librería NI-VISA.

Los parámetros principales para realizar este tipo de transmisión son: la velocidad de transmisión que corresponde al número de bits por segundo transmitidos medidos en baudios (Baud rate), los bits de datos que corresponde a la cantidad de bits transmitidos (Data bits), los bits de parada que son los bits para terminar el envío de la trama (Stop Bits), la paridad (Par o Impar), que se usa para el control de errores, el Control de flujo y el tiempo de espera (Timeout). Para comunicación serial, LabView utiliza el Sub-Vi “VISA configure serial port”, donde permite la configuración de los parámetros mencionados y se incluye un habilitador para agregar un carácter de terminación de cadena que por default se coloca en false y un parámetro denominado Visa Resource Name que es el número del puerto serial por ejemplo: COM1 [33]. Los parámetros por default configurados en el Sub-Vi “VISA configure serial port” son:

- Baud Rate: 9600 bps
- Data Bits: 8
- Stop Bits: 1
- Paridad: ninguna
- Control de flujo de bits: ninguno
- Enable Termination Char: False
- VISA resource name: Puerto Serial asignado(COM1, COM2..., etc)

En la figura 4.5 se observa los parámetros en un Sub-Vi “VISA configure serial port” y la ubicación del Sub-Vi en LabView.



Fuente Elaborado por el autor.

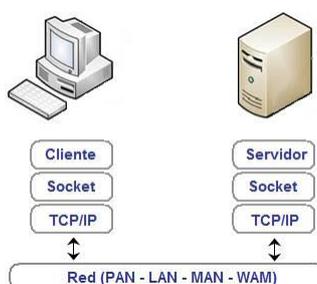
Figura 4.5: Sub-VI “VISA configure serial port” usando LabView.

4.4 Modelo Cliente – Servidor

Como se mencionó en el Capítulo 3, el proveedor de terminales satelitales SkyWave brinda el servicio IPSCADA el cual se definió como una comunicación TCP/IP desde los usuarios hacia un Servidor. Este servicio usa el modelo Cliente-Servidor.

Las redes más complejas en la actualidad se basan en el modelo Cliente-Servidor. Una aplicación Cliente-Servidor suele almacenar sus datos en un servidor costoso de alta potencia o en una nube de servidores, mientras que el software cliente se encarga de la parte lógica y la interfaz del usuario los cuales se ejecutan en computadoras ya sean personales o de una red privada [34].

En las aplicaciones Cliente-Servidor el usuario ejecutará la aplicación Cliente que inicia la comunicación y estará a la espera de que el Servidor acepte la conexión. Cuando el Servidor acepte la conexión, se ejecutará la función a la que se haya destinado, ya sea envío de mensajes, ejecutar algún servicio de operación o acceder a información almacenada en el Servidor. En la figura 4.6 se observa el modelo de Cliente /Servidor.



Fuente: Recuperado de sitio web UCPR wikispaces, bajo licencia Creative Commons.

Figura 4.6: Modelo TCP/IP Cliente-Servidor [35].

Los procesos del Cliente son básicos, el principal es establecer la conexión y estar a la espera de la respuesta, mientras que el proceso del Servidor recae en la aceptación de conexión pero basado en diferentes parámetros que analizan si es posible o no la conexión con el cliente. La conexión entre Clientes y Servidores desde el punto de vista del internet se definen de la siguiente manera:

- **Servidor:** Se define como un equipo de computación remoto, conectado a Internet las 24 horas, identificado a los usuarios por medio de un dominio.
- **Cliente:** Se define como una aplicación en una red local que se comunica con el Servidor remoto y solicitando información.

4.5 Java

Este tipo de aplicaciones han sido desarrolladas en varios lenguajes de programación, MySQL, Visual C++, Web-IIS, Java, etc. Para el desarrollo de este proyecto integrador se usará el lenguaje de programación orientada a objetos Java. El lenguaje de programación Java diseñado por Oracle Corporation, es el lenguaje más popular para las aplicaciones Cliente –Servidor. Algunas herramientas para el desarrollo de programación en Java son de acceso libre como Netbeans y Eclipse. Este proyecto integrador usará el software Netbeans. La programación en Java es la misma para todas las herramientas de desarrollo. Para el desarrollo de aplicaciones Cliente y Servidor, Java presenta las clases Socket y ServerSocket incluidas en la librería Java.net que son usados para envío de stream (Flujo de bytes).

4.5.1 Clase Java Socket y Server Socket

Un socket es un enlace punto a punto de comunicación TCP/IP. Los sockets utilizan la dirección IP a la que se apunta y el puerto. Un puerto en redes se define como el número de identificación de red donde trabaja un programa. Se puede llevar a cabo 7 operaciones básicas:

- Conectarse a una máquina remota.
- Enviar los datos.
- Recibir datos.
- Cierre de una conexión.
- Enlazar a un puerto.
- Prestar atención a los datos de entrada.
- Aceptar las conexiones desde equipos remotos en el puerto.

La clase Socket es usada para aplicaciones cliente y para aplicaciones servidores Java otorga la clase ServerSocket. Para las aplicaciones cliente corresponden las 4 primeras operaciones enunciadas, mientras que para las aplicaciones servidor les corresponde las 3 últimas.

Los programas normalmente usan la clase Socket y ServerSocket para crear un nuevo socket y aceptar la conexión a host remotos. Una vez que la conexión es establecida, el host local y el remoto obtienen stream de entrada y salida de él socket [34].

CAPÍTULO 5

5. DISEÑO DE SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA DE TSUNAMI

En el Capítulo 1 se detalló el sistema de monitoreo instalado en el Centro de Monitoreo Oceánico del INOCAR cuya arquitectura de red depende del constante acceso a Internet, como se observó en la figura 1.9. La solución radica en diseñar un enlace satelital desde las boyas de Tsunami MESEMAR hacia el Centro de Monitoreo Oceánico en el INOCAR, independientemente del acceso a internet. Debido a la limitación de envío por el alto costo de tasas de datos proporcionados por los distintos proveedores de redes satelitales, la solución únicamente enviará mensajes cortos. Bajo esta condición la solución propuesta solo enviará eventos de actividad sísmica fuera de lo normal detectados en las costas ecuatorianas por las boyas de Tsunami MESEMAR.

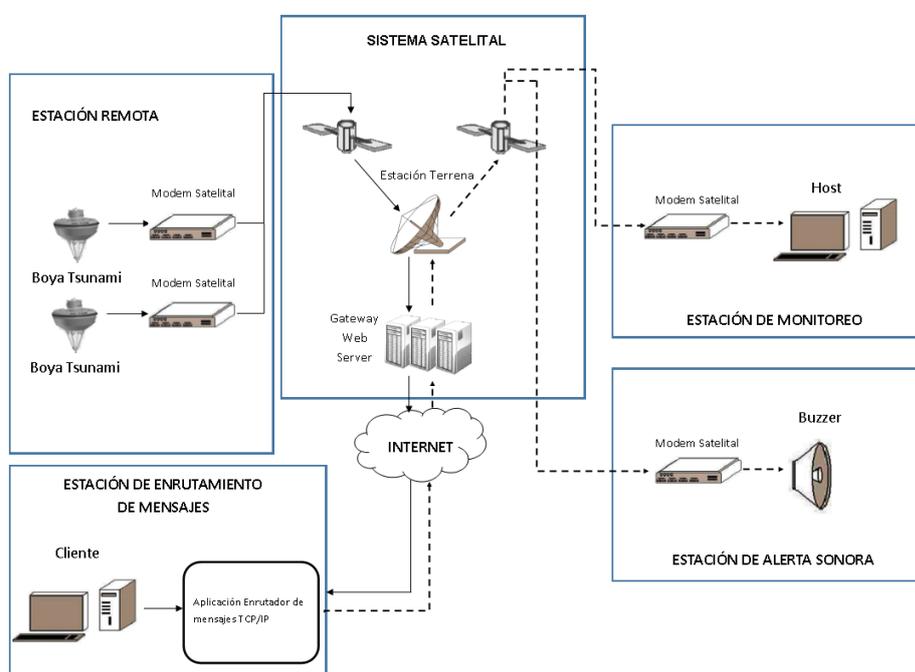
Dado que no es práctico modificar el firmware del CPU de la boya MESEMAR para que el módem envíe directamente los datos a un terminal satelital instalado en el edificio del INOCAR, se decidió instalar un terminal satelital adicional en el mástil de la boya. Con el propósito de no alterar la carga eléctrica que soporta la fuente de poder de la boya MESEMAR, el nuevo terminal satelital tendrá su alimentación eléctrica independiente.

En este capítulo se seleccionará el terminal satelital. Se explicará la selección de componentes y la forma de instalarlos en las boyas de tsunami MESEMAR sin que afecte su funcionamiento y se describe el desarrollo de los algoritmos de control del terminal satelital seleccionado.

También se presenta el diseño de las estaciones que corresponden a un sistema de alerta temprana de tsunami como estación de monitoreo, estación remota y el diseño del software y hardware para activar estaciones de alerta sonora. Por último se agrega al diseño de una aplicación web que permitirá cumplir el objetivo de comunicación satelital en todo el sistema de alerta temprana.

5.1 Diseño de la Arquitectura de Solución del Sistema de Alerta Temprana de Tsunami.

La arquitectura de solución que se propone se basa únicamente en comunicación satelital tanto para las boyas como para el Centro de Monitoreo Oceánico y la estación de alerta sonora, haciendo que el Gateway del sistema satelital se asemeje al funcionamiento de un router, siendo totalmente transparente en el envío. La Arquitectura de solución se muestra en la figura 5.1.



Fuente: Elaborado por el autor.

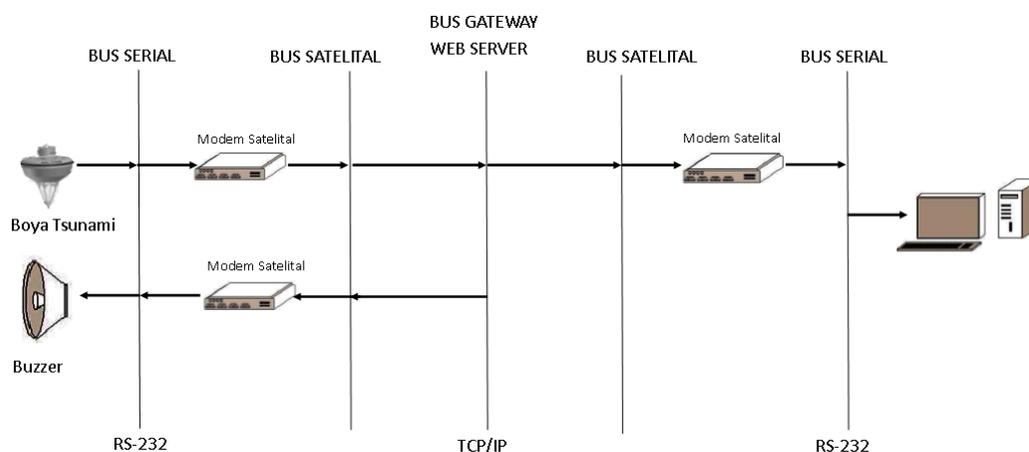
Figura 5.1: Arquitectura del Sistema de Alerta temprana de Tsunami.

En la estación remota se encuentran: las boyas de Tsunami y los terminales satelitales que reciben y transmiten la trama adquirida de la boya. El sistema de red satelital seleccionado a partir de las tres redes satelitales analizadas en el Capítulo 3 fue Inmarsat. Este sistema estará compuesto por su constelación de satélites y el Gateway de la red satelital que comparte la información a los usuarios por la Web.

La Estación enrutadora de mensajes se comunica con los servidores del gateway recibiendo los mensajes enviados por los terminales satelitales en la estación remota y los redirige hacia la estación de alerta sonora y la estación de monitoreo.

La estación de monitoreo corresponde al Centro de Monitoreo Oceánico en el INOCAR ubicado en Guayaquil, aquí se encuentran: el terminal satelital y el Host. El terminal satelital se comunicará con el gateway y obtendrá la trama mediante el enlace satelital. El Host conectado de forma serial al terminal recibirá la trama automáticamente e identificará los campos (posición, magnitud, hora, etc) mediante un software. La estación de alerta sonora estará conectada a su propio terminal satelital recibiendo la trama de alerta para activarse.

Los buses de datos usados en la arquitectura son: bus serial, bus satelital y bus de internet (Gateway Web Server) como se observa en la figura 5.2. Todos deben funcionar en conjunto para que la alerta llegue al Centro de Monitoreo Oceánico en el INOCAR. El bus de datos de la estación enrutadora está incluido en el Bus del Gateway Web Server.



Fuente: Elaborado por el autor.

Figura 5.2: Buses de datos usados en la Arquitectura de Red.

5.2 Diseño de Hardware y Software Sistema Satelital

Para el diseño del sistema Satelital en el capítulo 3 se seleccionó la red Inmarsat, como red satelital de solución. También se seleccionó al proveedor de los terminales satelitales que operan sobre la red Inmarsat conocido como SkyWave.

5.2.1 Hardware

SkyWave ofrece cuatro tipos de terminales satelitales para aplicaciones de tipo máquina - máquina:

- Terminal IDP 680
- Terminal IDP 690
- Terminal DMR 800-D
- Terminal DMR 800 –L

El terminal seleccionado será el modelo SkyWave IDP 680 para aplicaciones en tierra firme y el modelo SkyWave IDP 690 para aplicaciones marítimas. Las dos razones fundamentales que se escoge este tipo de modelo son:

- Capacidad de envío de 6400 bytes desde el terminal a usuarios y 10000 bytes de usuario a terminal, garantizando el envío de mensajes.
- Tamaño, peso y consumo energético reducido que facilita su instalación en boyas.

Como se mostró en la figura 5.1 correspondiente a la arquitectura de solución se necesitarán dos terminales satelitales ubicados en la estación remota de boyas de tsunami.

El terminal seleccionado para este diseño será el modelo IDP 690 para aplicaciones marítimas, debido a que posee una antena de baja elevación que facilita la transmisión satelital en el océano.

En la estación de monitoreo correspondiente al Centro de Monitoreo Oceánico en el INOCAR y la estación de alerta sonora se usará el terminal satelital IDP 680. Por lo tanto estos terminales conformarán el hardware del diseño de sistema satelital. La Tabla 4 muestra las características de la comunicación satelital de los terminales de la serie IDP 600.

Modelo	IDP-680	IDP-690
Servicio satelital	Inmarsat 4	
Tamaño de mensajes desde terminal	6,400 bytes	
Tamaño de mensajes hacia terminal	10,000 bytes	
Latencia típica	<15 seg., 100 bytes	
Ángulo de elevación	+20° a +90°	-15° a +90°
Frecuencia Rx	1525.0 a 1559.0 MHz	
Frecuencia Tx	1626.5 a 1660.5 MHz	
Modulación	OQPSK	
EIRP	7.0 dBW	5.0 dBW

Fuente: Recuperada de sitio web PIVOTEL, Copyright (c) SkyWave Mobile Communications.

Tabla 4: Especificaciones Satelitales de la serie IDP 600 [30].

5.2.2 Software

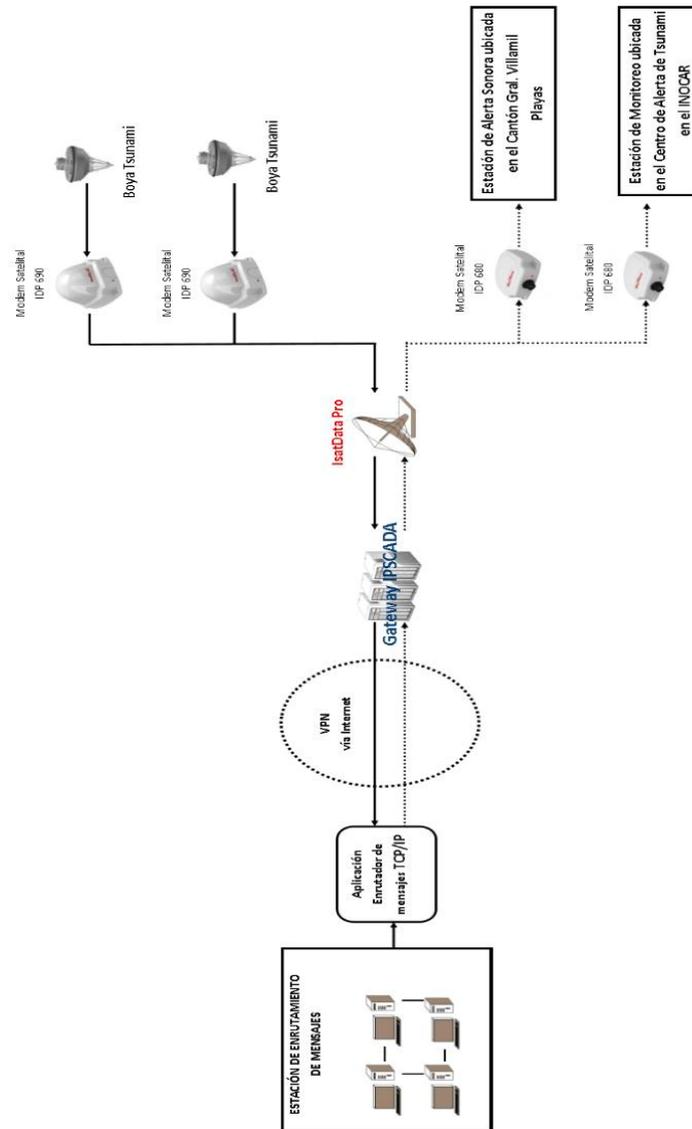
La arquitectura de la red satelital usará los servicios de datos y networking que brinda la empresa SkyWave. Como se escogió los modelos de la serie 600, el servicio a utilizar será IsatData Pro para la parte de identificación de los terminales a los usuarios, en este caso el usuario será el Centro de Monitoreo Oceánico ubicado en el INOCAR.

La arquitectura de solución de este proyecto integrador se le agrega una estación de enrutamiento de mensajes porque la arquitectura general de la red satelital (para este caso es la Arquitectura Bent Pipe) que usa Inmarsat indica que siempre el satélite se comunicará con su gateway en cualquier parte del mundo y este se encargará de subir estos datos a la web.

Para lograr el objetivo de manipular las tramas y enviarlas a los respectivos terminales, se propone el uso de la aplicación IPSCADA. Como ya se describió en el capítulo 3, IPSCADA provee una dirección IP pública a cada terminal satelital, únicamente accediendo a una red VPN. Después de acceder a esta red VPN se puede recibir y enviar tramas por estas IP remotas.

Por lo tanto el diseño de sistema satelital necesitará componerse del servicio IsatData Pro para el envío de tramas desde los terminales satelitales ubicados en las boyas de tsunami hacia el Gateway Satelital. En cambio para el envío hacia los terminales satelitales ubicados en el Centro de Monitoreo Oceánico en el INOCAR y en la Estación de Alerta Sonora se necesitará del servicio IPSCADA de SkyWave en la Estación de enrutamiento de mensajes, que permitirá redirigir las tramas hacia estos terminales por un enlace satelital.

El diseño de hardware y software del Sistema Satelital se puede observar en la figura 5.3.

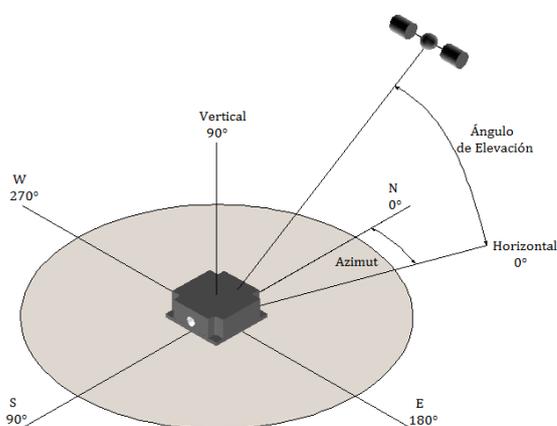


Fuente: Elaborado por el autor.

Figura 5.3: Diseño de Hardware y Software del Sistema Satelital para el Sistema de Alerta temprana de Tsunami.

5.2.3 Ángulos de vista para los terminales satelitales del diseño

Para objeto de tener una percepción más real del diseño del sistema satelital se optó por realizar los cálculos teóricos para obtener el ángulo de vista de los terminales satelitales utilizados en el diseño, que corresponden al ángulo de elevación y el azimut para que apunte directamente al satélite. El azimut se refiere al ángulo de la antena del terminal sobre la superficie de la tierra con respecto al norte como se observa en la figura 5.4.



Fuente: Elaborado por el autor.

Figura 5.4: Ángulo de vista de una antena del terminal satelital.

Estos ángulos cambian de acuerdo a la órbita elíptica del satélite, pero para una órbita geoestacionaria como es el caso de este diseño, los cálculos se simplifican porque el satélite se encuentra estacionario con respecto a la tierra a una altura fija desde el punto de origen de la tierra [36].

Para determinar donde apuntar la antena del terminal se necesita de las coordenadas del terminal y del satélite que corresponde a la latitud y longitud, pero al ser un satélite geoestacionario únicamente es necesaria su longitud [36]:

- Latitud de la Estación Terrena (terminal satelital) : λ_E
- Longitud de la Estación Terrena (terminal satelital): ϕ_E
- Longitud del satélite: ϕ_{SS}

Es necesario acotar que las latitudes norte son tomadas como ángulos positivos mientras que las latitudes sur son tomadas como ángulos negativos. De igual forma las longitudes este son tomadas como ángulos positivos y las longitudes oeste son tomadas como ángulos negativos. Por ejemplo si una latitud de 30°S es especificada se toma como -30° y si una longitud de 40°W es especificada se toma como -40°.

Para una órbita geoestacionaria el radio de la órbita se denota como a_{GSO} , donde es igual a [36]:

$$a_{GSO} = 42164 \text{ km} \quad (5.1)$$

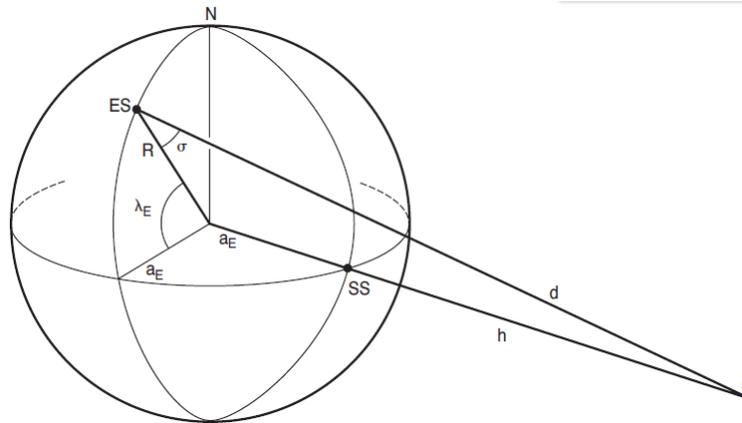
Para el radio de la tierra en una órbita geoestacionaria se usará el radio promedio de la tierra el cual es denotado por R [36]:

$$R = 6371 \text{ km} \quad (5.2)$$

Y por lo tanto la altura geoestacionaria es:

$$\begin{aligned} h_{GSO} &= a_{GSO} - a_E \\ h_{GSO} &= 42164 - 6371 \\ h_{GSO} &= 35793 \text{ km} \end{aligned} \quad (5.3)$$

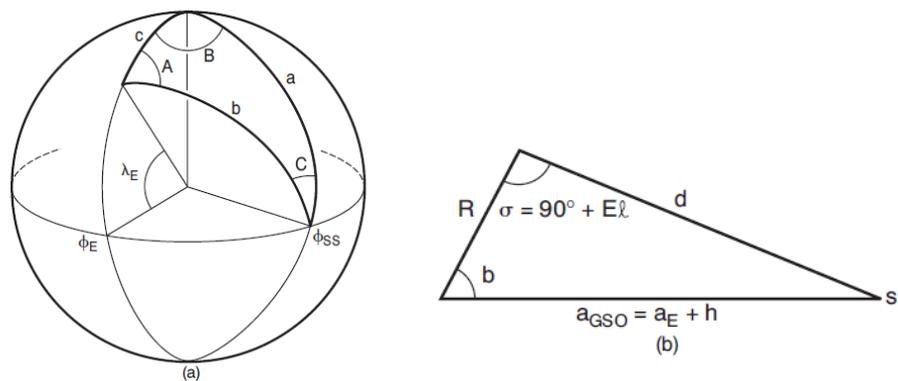
La geometría que usa estos valores se muestra en la figura 5.5:



Fuente: Satellite Communications 4th Edition.

Figura 5.5: Geometría usada para obtener el ángulo de vista de un satélite geoestacionario [36].

En la figura 5.5 ES es la posición de la estación terrena, SS el punto subsatélite, S el satélite, y d es la distancia de la estación terrena al satélite. El ángulo σ es el ángulo de elevación. En la figura 5.6 se observa los dos triángulos que se forman en la geometría: un triángulo esférico y un triángulo plano [36].



Fuente: Satellite Communications 4th Edition.

Figura 5.6: Triángulo esférico (a) y Triángulo plano (b) de la geometría de una órbita geoestacionaria [36].

El triángulo esférico se forma por todos los arcos, formando los ángulos a , b , c con respecto al centro de la tierra. El ángulo a se forma por el radio al eje Norte y al radio del punto SS (SubSatelite). El ángulo b es el ángulo entre el radio a la estación terrena y el radio al punto del SS. El ángulo c es el ángulo entre el radio a la estación terrena y el radio al eje norte. El ángulo B será igual a $\phi_E - \phi_{SS}$ [36]. Por lo tanto se obtiene:

$$a = 90^\circ \quad (5.4)$$

$$c = 90 - \lambda_E \quad (5.5)$$

$$B = \phi_E - \phi_{SS} \quad (5.6)$$

Aplicando una regla especial para triángulos esféricos conocida como la Regla de Napier, en ángulo b será [36]:

$$b = \cos^{-1}(\cos B \cos \lambda_E) \quad (5.7)$$

Y el ángulo A :

$$A = \sin^{-1}\left(\frac{\sin|B|}{\sin b}\right) \quad (5.8)$$

A partir de estos valores se determina el Azimut mediante la Tabla 5 [36]:

λ_E	B	A_z (Azimut)
<0	<0	A
<0	>0	$360^\circ - A$
>0	<0	$180^\circ - A$
>0	>0	$180^\circ + A$

Fuente: Satellite Communications 4th Edition.

Tabla 5: Ángulo Azimut [36].

Para obtener el ángulo de elevación se aplicará ley de coseno al triángulo plano de la figura 5.6 para obtener el valor d [36]:

$$d = \sqrt{R^2 + a_{GSO}^2 - 2(a_{GSO})(R) \cos b} \quad (5.9)$$

Aplicando la regla del seno al triángulo plano de la figura 5.6 se obtiene el ángulo de elevación [36]:

$$El = \cos^{-1}\left(\frac{a_{GSO}}{d} \sin b\right) \quad (5.10)$$

Con las ecuaciones definidas se procede a calcular el ángulo de elevación y azimut para cada uno de los terminales satelitales del diseño con respecto al satélite de IsatData Pro con cobertura para el Ecuador, correspondiente al satélite Americas en la coordenada $98^\circ W$ como se detalló en el Capítulo 3.

Primero se calcularan los ángulos de vista para el terminal satelital ubicado en la boya de tsunami que se encuentra frente a las costas de Esmeraldas con coordenadas $0.62^\circ N$ y $81.29^\circ W$ como se observa en la figura 5.7.



Fuente: Recuperado de sitio web de la NOAA.

Figura 5.7: Coordenada Boya de Tsunami ubicada en Esmeraldas [12].

Se tiene:

$$\lambda_E = \text{Latitud de la Estación Terrena} = 0.62$$

$$\phi_E = \text{Longitud de la Estación Terrena} = -81.29$$

$$\phi_{SS} = \text{Longitud del satélite} = -98$$

En ecuación (5.6):

$$B = -81.29 - (-98) = 16.71^\circ$$

En ecuación (5.7):

$$b = \cos^{-1}(\cos 16.71 \cos 0.62) = 16.721^\circ$$

En ecuación (5.8):

$$A = \sin^{-1}\left(\frac{\sin|16.71|}{\sin 16.72}\right) = 87.95^\circ$$

Azimut de acuerdo a la Tabla 5:

$$\lambda_E > 0 \ \& \ B > 0, \quad A_z = 180^\circ + 87.94^\circ = \mathbf{267.95^\circ}$$

Para obtener el ángulo de elevación en ecuación (5.9):

$$d = \sqrt{6371^2 + 42164^2 - 2(6371)(42164) \cos 16.721}$$

$$d = 36108.94 \text{ km}$$

En ecuación (5.10) el ángulo de elevación será:

$$El = \cos^{-1}\left(\frac{42164}{36108.94} \sin 16.721\right) \cong \mathbf{70.37^\circ}$$

Por lo tanto el azimut y el ángulo de elevación para un terminal satelital ubicado en las coordenadas 0.62°N y 81.29°W con respecto al satélite Americas es 267.95° y 70.37° respectivamente.

Ahora se calculará el ángulo de elevación y azimut que deberá tener el terminal satelital ubicado en la Boya que se encuentra frente a las costas de Manta con coordenadas 1.17°S y 81.75°W como se puede observar en la figura 5.8.



Fuente: Recuperado de sitio web de la NOAA.

Figura 5.8: Coordenada Boya de Tsunami ubicada en Manta [12].

Se tiene:

$$\lambda_E = \text{Latitud de la Estación Terrena} = -1.17$$

$$\phi_E = \text{Longitud de la Estación Terrena} = -81.75$$

$$\phi_{SS} = \text{Longitud del satélite} = -98$$

En ecuación (5.6):

$$B = -81.75 - (-98) = 16.25$$

En ecuación (5.7):

$$b = \cos^{-1}(\cos 16.25 \cos -1.17) = 16.291^\circ$$

En ecuación (5.8):

$$A = \sin^{-1}\left(\frac{\sin|16.25|}{\sin 16.291}\right) = 85.99^\circ$$

Azimut de acuerdo a la Tabla 5:

$$\lambda_E < 0 \text{ \& } B > 0, \quad Az = 360^\circ - 85.99^\circ = \mathbf{274.01^\circ}$$

Para el ángulo de elevación se obtiene d de la ecuación (5.9):

$$d = \sqrt{6371^2 + 42164^2 - 2(6371)(42164) \cos 16.291}$$

$$d = 36093.07$$

En ecuación (5.10) el ángulo de elevación será:

$$El = \cos^{-1} \left(\frac{42164}{36093.07} \sin 16.291 \right) \cong 70.87^\circ$$

Por lo tanto el azimut y el ángulo de elevación para un terminal satelital ubicado en las coordenadas 1.17°S y 81.75°W con respecto al satélite Americas es 274.01° y 70.87° respectivamente.

Se procederá a calcular el ángulo de elevación y el azimut con respecto al satélite Americas para un terminal satelital ubicado en el Centro de Monitoreo Oceánico del INOCAR ubicado en Guayaquil con coordenadas tomadas con Google Earth, como se observa en la figura 5.9:

- Latitud: $2^\circ 16' 17.92''\text{S}$ = 2.2716 S
- Longitud: $79^\circ 54' 14.68''\text{W}$ = 79.904 W



Fuente: Elaborado por el autor.

Figura 5.9: Coordenada escogida en el Centro de Monitoreo Oceánico del INOCAR obtenida de Google Earth.

Se tiene:

$$\lambda_E = \text{Latitud de la Estación Terrena} = -2.2716$$

$$\phi_E = \text{Longitud de la Estación Terrena} = -79.904$$

$$\phi_{SS} = \text{Longitud del satélite} = -98$$

En ecuación (5.6):

$$B = -79.904 - (-98) = 18.096$$

En ecuación (5.7):

$$b = \cos^{-1}(\cos 18.096 \cos -2.2716) = 18.2332^\circ$$

En ecuación (5.8):

$$A = \sin^{-1}\left(\frac{\sin|18.096|}{\sin 18.2332}\right) = 83.09^\circ$$

Azimut de acuerdo a la Tabla 5:

$$\lambda_E < 0 \ \& \ B > 0, \quad Az = 360^\circ - 83.09^\circ = \mathbf{276.91^\circ}$$

Para el ángulo de elevación se obtiene d de la ecuación (5.9):

$$d = \sqrt{6371^2 + 42164^2 - 2(6371)(42164) \cos 18.2332}$$

$$d = 36167.857$$

En ecuación (5.10) el ángulo de elevación será:

$${}^\circ El = \cos^{-1}\left(\frac{42164}{36167.857} \sin 18.2332\right) \cong \mathbf{68.61}$$

Por lo tanto el azimut y el ángulo de elevación para un terminal satelital ubicado en las coordenadas 2.2716°S y 79.904°W con respecto al satélite Americas es 276.91° y 68.61° respectivamente.

Se calculará el ángulo de elevación y el azimut para un terminal satelital ubicado en las playas de Gral. Villamil ubicado en el Centro de Monitoreo Oceánico con coordenadas tomadas con Google Earth como se puede observar en la figura 5.10.

- Latitud: 2°38'12.62"S = 2.6368°S
- Longitud: 80°23'36.81"W = 80.3935°W



Fuente: Elaborado por el autor.

Figura 5.10: Coordenada escogida en las playas de Gral. Villamil obtenida de Google Earth.

Se tiene:

$$\lambda_E = \text{Latitud de la Estación Terrena} = -2.6368$$

$$\phi_E = \text{Longitud de la Estación Terrena} = -80.3935$$

$$\phi_{SS} = \text{Longitud del satélite} = -98$$

En ecuación (5.6):

$$B = -80.3935 - (-98) = 17.6065$$

En ecuación (5.7):

$$b = \cos^{-1}(\cos 17.6065 \cos -2.6368) = 17.7966^\circ$$

En ecuación (5.8):

$$A = \sin^{-1}\left(\frac{\sin|17.6065|}{\sin 17.7966}\right) = 81.75^\circ$$

Azimet de acuerdo a la Tabla 5:

$$\lambda_E < 0 \ \& \ B > 0, \quad Az = 360^\circ - 81.75^\circ = \mathbf{278.25^\circ}$$

Para el ángulo de elevación se obtiene d de la ecuación (5.9):

$$d = \sqrt{6371^2 + 42164^2 - 2(6371)(42164) \cos 17.7966}$$

$$d = 36150.349$$

En ecuación (5.10) el ángulo de elevación será:

$$El = \cos^{-1} \left(\frac{42164}{36150.349} \sin 17.7966 \right) \cong \mathbf{69.12^\circ}$$

Por lo tanto el azimet y el ángulo de elevación para un terminal satelital ubicado en las coordenadas 2.6368°S y 80.3935°W con respecto al satélite Americas es 278.25° y 69.12° respectivamente.

5.2.4 Potencia de Recepción de los terminales satelitales IDP 680 e IDP 690

Para el cálculo de la potencia de recepción del enlace satelital por parte de los terminales satelitales IDP 680 e IDP 690 se usará las ecuaciones del modelo de transmisión en espacio libre, la cual se define como [37]:

$$[P_R]_{dBW} = [EIRP]_{dBW} + [G_R]_{dB} - [FSL]_{dB} \quad (5.11)$$

Donde:

EIRP: Potencia Efectiva Irradiada en dBW

G_R: Ganancia de Recepción de la antena en dB

FSL: Pérdida de espacio libre en dB

La pérdida por Espacio libre se define como [37]:

$$[FSL]_{dB} = 32.4 + 20 \log(r) + 20 \log(f) \quad (5.12)$$

Donde:

r : Distancia entre el satélite y la estación terrena [km]

f: frecuencia de operación [Mhz]

Definida las ecuaciones se calculará la pérdida de espacio libre y la potencia de recepción para los terminales satelitales IDP 680 e IDP 690.

a) Terminal Satelital IDP 680:

De acuerdo a la Tabla 4:

$$[EIRP] = 5 \text{ dBW}$$

Debido a que no se especifica G_R se asume $G_R = 1$ en decibeles $G_R = 0 \text{ dB}$.

Para calcular la pérdida por espacio libre se usará la frecuencia Rx del terminal satelital la cual está entre: 1525.0 a 1559.0 MHz. Para el cálculo se escoge $f = 1542 \text{ Mhz}$. Al ser una órbita geoestacionaria la distancia entre la estación terrena y el satélite estará definida por la ecuación (5.3) por lo tanto en ecuación (5.12):

$$FSL[dB] = 32.4 + 20 \log(35793) + 20 \log(1542)$$

$$FSL = 187.24 \text{ dB}$$

En ecuación (5.11):

$$P_R = 5[dBW] + 0 - 187.24[dB]$$

$$P_R = -182.24 \text{ dBW} \Rightarrow 5.97 \times 10^{-19} \text{ [W]}$$

$$P_R[dBm] = P_R[dB] + 30dB = -152.24 \text{ dbm}$$

b) Terminal Satelital IDP 690:

De acuerdo a la Tabla 4:

$$[EIRP] = 7 \text{ dBW}$$

Debido a que no se especifica G_R se asume $G_R = 1$ en decibeles $G_R = 0 \text{ dB}$. La pérdida por espacio libre es la misma debido a que se trabaja con la misma frecuencia de operación:

$$FSL = 187.24 \text{ dB}$$

Entonces en ecuación 5.11:

$$P_R = 7[dBW] + 0 - 187.24[dB]$$

$$P_R = -180.24 dBW \Rightarrow 9.46 \times 10^{-19} [W]$$

$$P_R[dBm] = P_R[dB] + 30dB = -150.24 dbm$$

5.2.5 Algoritmos para transmisión y recepción de datos de los terminales

Como se mencionó en el diseño de hardware del sistema satelital, el terminal satelital IDP 690 se utilizará en la estación remota correspondiente a las boyas de tsunami MESEMAR. La trama del modo evento tiene una duración variable que depende del algoritmo de detección de tsunamis de la boya.

Dado que es de suma importancia el ahorro de energía eléctrica de la boya, el tiempo en que el terminal satelital no transmite debe estar en modo de bajo consumo o modo sleep. En modo de bajo consumo el terminal consume 100 μ A.

En este modo de trabajo un terminal satelital periódicamente revisa actividad en el módem o en los puertos de entrada y salida [30]. Esencialmente los pasos del algoritmo que implementa el terminal satelital IDP 690 de la boya es el siguiente:

1. Inicialización.
2. Ir a modo de bajo consumo.
3. Revisión de nivel de voltaje de supercapacitores. Si el nivel está bajo, se queda en un estado de espera hasta que se recupere el nivel de voltaje. En este estado no se transmite ninguna trama.

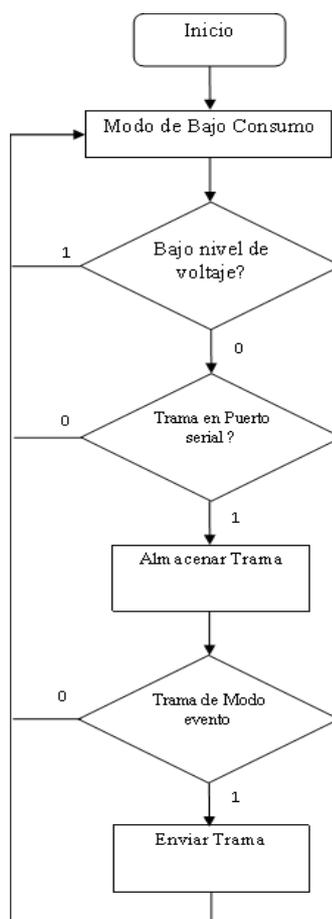
4. Revisión de puerto serial, se revisa si se recibe trama desde el puerto serial. Si se recibe trama del BPR se revisa que corresponda al modo evento, luego se transmiten las tramas que el BPR requiera.
5. Se retorna al estado de bajo consumo.

Todo terminal al encenderse realiza un proceso de inicialización donde se establecen los canales delanteros y de reversa con el satélite a la vista y otros parámetros de conexión.

En el modo de bajo consumo periódicamente se revisan las banderas de interrupción. Las banderas de interrupción son: bajo nivel de voltaje, entrada de datos en el puerto serial.

El periodo de revisión de las banderas de interrupción es definido por el desarrollador de la aplicación, puede ser del orden de los 20 ms. El nivel de voltaje de los supercapacitores es la salida de un comparador que emplea un amplificador operacional cuya salida está conectada a un pin de uso general del terminal satelital.

En la figura 5.11 se muestra el diagrama de flujo del algoritmo del terminal satelital IDP 690 para la boya MESEMAR.



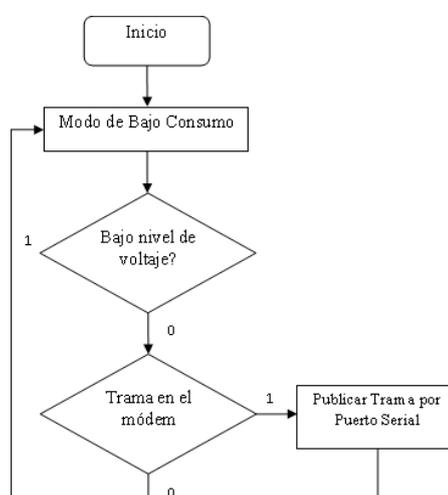
Fuente: Elaborado por el autor.

Figura 5.11: Diagrama de flujo del algoritmo del terminal satelital IDP 690 para la boya MESEMAR.

El terminal satelital IDP 680 usado para activar una estación de alerta sonora únicamente enviará al puerto serial cualquier trama que llegue al módem. Debido a que este proyecto integrador analiza el caso de generador de tsunamis únicamente debe llegar a las estaciones de alerta sonora la trama de modo evento para activarlas automáticamente. El algoritmo del terminal IDP 680 es:

1. Inicialización.
2. Ir a modo de bajo consumo.
3. Revisión de módem, se revisa si el módem ha recibido una trama.
4. Si se recibe trama, se la publica en el puerto serial.
5. Se retorna al estado de bajo consumo.

En la figura 5.12 se muestra el diagrama de flujo del algoritmo del terminal satelital IDP 680 para la activación de la estación de alerta sonora.



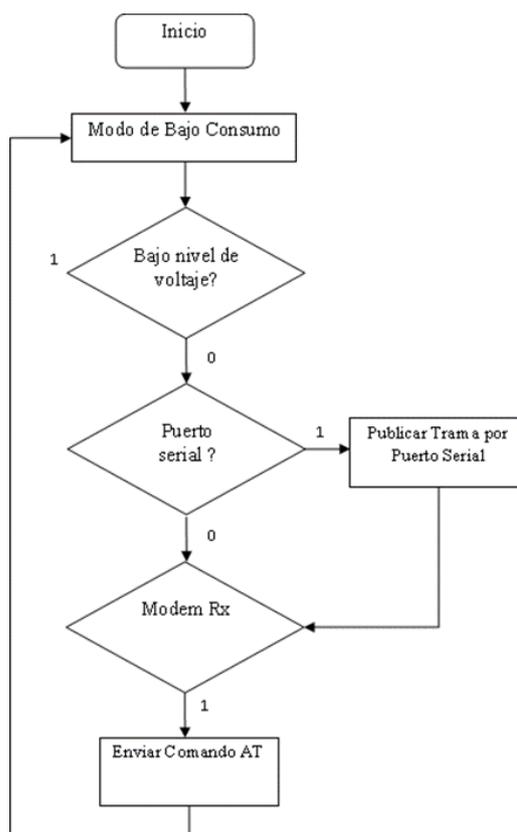
Fuente: Elaborado por el autor.

Figura 5.12: Diagrama de flujo del algoritmo del terminal satelital IDP 680 ubicado en una estación de alerta sonora.

El terminal satelital IDP 680 instalado en el Centro de Monitoreo Oceánico trabaja en modo transparente es decir que transmite comandos AT que le lleguen al puerto serial y envía al puerto serial cualquier trama que llegue al módem. El puerto serial de este terminal satelital se conecta con una PC en el Centro de Monitoreo Oceánico. El algoritmo del terminal IDP 680 es:

1. Inicialización
2. Ir a modo de bajo consumo
3. Revisión de puerto serial, se revisa si se recibe un comando AT desde el puerto serial
4. Revisión de módem, se revisa si el módem ha recibido una trama. Si se recibe trama, se la publica en el puerto serial
5. Se retorna al estado de bajo consumo

En la figura 5.13 se muestra el diagrama de flujo del algoritmo del terminal satelital IDP 680 para el Centro de Monitoreo Oceánico del INOCAR.



Fuente: Elaborado por el autor.

Figura 5.13: Diagrama de flujo del algoritmo del terminal satelital IDP 680 ubicado en el Centro de Monitoreo Oceánico en el INOCAR.

5.2.6 Presupuesto para terminales satelitales del Sistema de alerta temprana

El presupuesto otorgado por COMSATEL para adquirir y activar el servicio de los 4 terminales satelitales IDP se muestra en la Tabla 6.

ELEMENTO	PRECIO	CANTIDAD	TOTAL
Terminal satelital SkyWave IsatData Pro modelo 690	\$1.170,00	2	\$ 2.340,00
Terminal satelital SkyWave IsatData Pro modelo 680	\$1.170,00	2	\$ 2.340,00
Costo de activación equipo satelital (Pago 1 sola vez)	\$37,00	4	\$ 148,00
OBSERVACION	SUBTOTAL		\$ 4.828,00
	IMP. FODETEL 1%		\$ 48,28
	IMP.SENATEL 1.5%		\$ 72,42
	SUBTOTAL		\$ 4.948,70
	IVA 12%		\$ 593,84
	TOTAL		\$ 5.542,54

Fuente: Proporcionada por COMSATEL, elaborado por el autor.

Tabla 6: Presupuesto para 4 terminales satelitales IDP para el diseño de sistema satelital.

El presupuesto otorgado por COMSATEL para usar el servicio de mensajería por 1 año de los 4 terminales satelitales IDP se muestra en la Tabla 7.

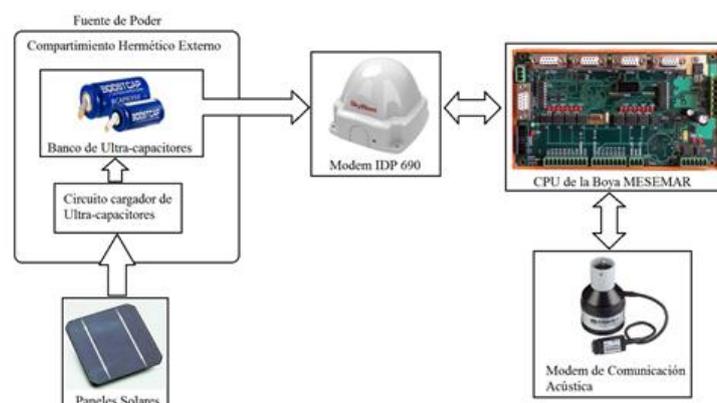
ELEMENTO	PRECIO	CANTIDAD	TOTAL
Plan de Datos Individual, Incluye 10.000 Bytes que se refiere a 666 mensajes de posición 1 año // Cada mensaje es de 15 Bytes	\$265.20	4	\$ 1.060,80
OBSERVACION	SUBTOTAL		\$ 1.060,80
	IMP. FODETEL 1%		\$ 10,60
	IMP.SENATEL 1.5%		\$ 15,91
	SUBTOTAL		\$ 1.087,31
	IVA 12%		\$ 593,84
	TOTAL		\$ 1.217,79

Fuente: Proporcionada por COMSATEL, elaborado por el autor.

Tabla 7: Presupuesto para servicio de mensajería anual para 4 terminales satelitales IDP.

5.3 Estación Remota de boyas de Tsunami

Para el diseño del Sistema de Alerta Temprana, se usarán las boyas de tsunami que posee el Centro de Monitoreo Oceánico del INOCAR. En esta sección se propone adherir a la boya el terminal satelital. La instalación del terminal satelital en la boya de Tsunami MESEMAR requiere algunos parámetros como lo es el peso del terminal para no afectar la estabilidad de la boya y la fuente de poder que usará el terminal satelital. Debido a que el terminal satelital deberá trabajar en el mar, se requiere un terminal SkyWave IDP 690 marítimo en la boya de Tsunami. En la figura 5.14 se muestra el diseño del diagrama de bloques del sistema que se implementará en la boya MESEMAR con el terminal satelital SkyWave.



Fuente: Elaborado por el autor.

Figura 5.14: Equipos de instalación en Boya de Tsunami MESEMAR.

Como se observa en la figura 5.14, se utilizará un arreglo de paneles solares que cargará un circuito de supercapacitores almacenado en un compartimiento hermético. Este circuito será la fuente de poder del terminal satelital SkyWave. Este terminal se conectará al CPU de la Boya MESEMAR mediante un cable serial y el CPU de la Boya MESEMAR se conectará a su módem acústico por otro puerto serial (El módem acústico no es objeto de análisis de este proyecto integrador).

El terminal satelital se lo podría fijar en la parte superior del mástil de la boya. El arreglo de paneles solares se lo podría fijar en la parte media del mástil y el compartimiento hermético externo que contiene a la fuente de poder se lo podría fijar en la parte inferior del mástil, sobre el cuerpo central de la boya. Se debe tener presente que durante los meses de junio a septiembre, generalmente las condiciones meteorológicas sobre el mar ecuatorial están entre nublado y parcialmente nublado, eso implica que no siempre los paneles solares van a estar expuestos a una intensa radiación solar por lo que se debe garantizar que durante los días nublados los paneles solares generen suficiente energía para cargar los supercapacitores. En la figura 5.15 se muestra un día típico de junio a septiembre en el mar ecuatorial.

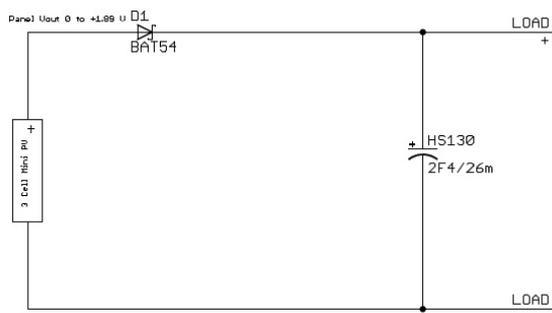


Fuente: Recuperada de sitio web Agencia Pública de Noticias del Ecuador y Suramérica (ANDES), Copyright 2012 de ANDES, todos los derechos reservados.

Figura 5.15: Día típico de junio a septiembre en el mar ecuatorial [38].

Para fines prácticos, el voltaje de referencia de los paneles solares para cargar los supercapacitores debe ser el doble del voltaje que entrega el arreglo de paneles solares durante días soleados. Es decir que si el voltaje de referencia para cargar los supercapacitores es de 10 V, los paneles deben entregar por lo menos 20 V durante días soleados.

El circuito básico para cargar un supercapacitor con un panel solar se muestra en la figura 5.16:



Fuente: Recuperada de sitio web Sensormag.

Figura 5.16: Circuito básico para cargar un supercapacitor [41].

Como se aprecia en la figura 5.16 se coloca un diodo en serie para evitar que la energía del supercapacitor retorne al panel solar durante la noche. El diodo debe ser tipo Schottky porque posee un voltaje de caída bajo en la juntura.

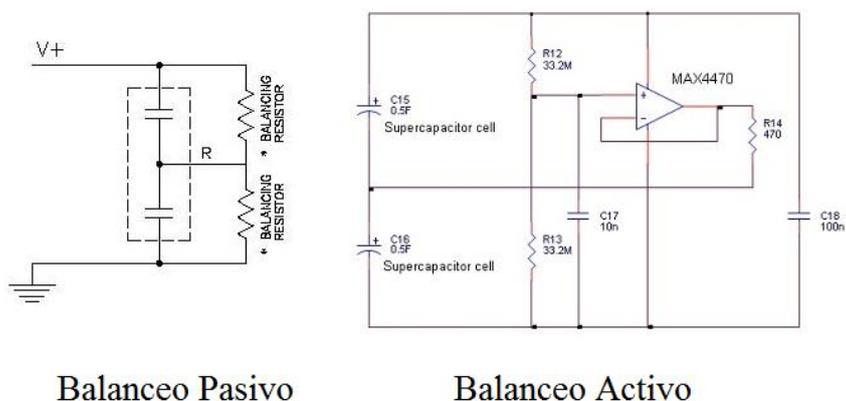
Un supercapacitor descargado se comporta como un corto-circuito, pero esto no es inconveniente para el panel solar porque se comporta como una fuente de corriente. Una vez cargado el supercapacitor, este se comporta como un circuito abierto.

Debido a limitaciones en la capacidad dieléctrica de los materiales disponibles, en el mercado se encuentran supercapacitores con voltaje de trabajo máximo de 2.7 V. Esto implica que se debe emplear un convertidor DC-DC o conectar supercapacitores en serie para alcanzar el voltaje de operación deseado, el voltaje de operación típico de una aplicación con microcontrolador es 5V [41].

La desventaja de usar convertidor DC-DC son las pérdidas inherentes en el circuito lo que afecta la eficiencia de la fuente del poder. Por otro lado conectar supercapacitores en serie requiere de un sistema de balanceo para evitar que uno de los supercapacitores sobrepase su voltaje de operación durante el proceso de carga.

Dado que la resistencia interna o ESR de los supercapacitores de igual capacitancia no son iguales, siempre un supercapacitor se va a cargar primero, quedando expuesto a un sobrevoltaje mientras se carga el resto de supercapacitores.

Balancear los supercapacitores es crítico dado que si se sobrepasa el voltaje de operación, el supercapacitor puede sufrir un daño permanentemente. Se pueden utilizar circuitos de balanceo pasivos basados en resistencias conectadas en serie o circuitos de balanceo activos basados en amplificadores operacionales. En la figura 5.17 se muestran los dos tipos de circuitos.



Balanceo Pasivo

Balanceo Activo

Fuente: Recuperada de sitio web Electronics-lab.

Figura 5.17: Circuitos de balanceo activo y pasivo para supercapacitores conectados en serie [40].

Aparte el circuito de carga debe evitar que los supercapacitores una vez cargados se expongan a un sobre-voltaje por parte del arreglo de paneles solares durante los días soleados. Típicamente el circuito de protección es un transistor MOSFET controlado por un amplificador operacional trabajando como comparador con una referencia fija de voltaje [40]. El dimensionamiento de los supercapacitores depende de la energía que requiere el terminal para operar en modo pasivo, transmitir un mensaje y el número de mensajes que se transmiten durante el día. También depende de la ventana de voltaje que se requiere para mantener encendido al terminal. Para el terminal el voltaje de operación mínimo es 9V y máximo 32V. Es decir que si el banco de supercapacitores puede mantener el voltaje de salida entre 10V y 18V, el terminal puede operar normalmente.

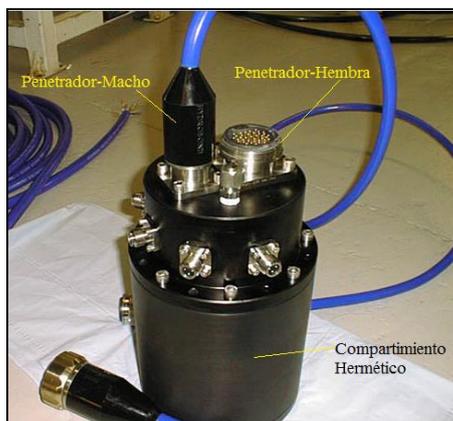
La ecuación para dimensionar los supercapacitores es la siguiente [41]:

$$\frac{1}{2}C(V_{init}^2 - V_{final}^2) = E_{LOAD} \quad (5.13)$$

Donde:

- C es la capacitancia total del banco de supercapacitores
- V_{init} es el Voltaje inicial de los supercapacitores
- V_{final} es el Voltaje final de los supercapacitores que es también el voltaje mínimo con el que puede operar la carga.
- E_{Load} es la energía que requiere la carga durante su operación.

La otra parte del diagrama es la conexión entre el terminal satelital y el CPU de la boya. Independientemente de la forma de conexión se requiere que un cable tenga acceso al compartimiento hermético de la boya MESEMAR, comúnmente estos cables se denominan “cable penetrador”, y se conectan a compartimientos herméticos como el que se muestra en la figura 5.18. Asumiendo que en la boya MESEMAR posea un comportamiento hermético que se asemeje a la figura 5.18 se conectaría de esta forma el cable penetrador al CPU de la boya.



Fuente: Recuperado de sitio web Hydrogroupplc.

Figura 5.18: Instalación de un cable penetrador en un compartimiento hermético [42].

5.3.1 Trama de mensajería enviada por las boyas de Tsunami

Como se explicó en los capítulos anteriores el objetivo de esta propuesta es implementar un enlace satelital directo entre las boyas de tsunami y el Centro de Monitoreo Oceánico del INOCAR para el caso en que el país sea generador de tsunami. Por ese motivo la solución propuesta se centra cuando la boya de Tsunami MESEMAR opera en el modo evento que es cuando se detecta un Tsunami.

Usualmente la trama de datos en modo evento debe ser lo más pequeña posible para optimizar la integridad de la trama de datos. Según lo publicado por el fabricante de la boya MESEMAR en su página Web, la boya es compatible con el sistema DART, por lo tanto debe seguir un formato de trama de datos similar a la NMEA 0183 que se detalló en el capítulo 2. Con el propósito de ahorrar energía y tiempo aire, el terminal satelital colocado en la boya transmitirá específicamente la trama de datos del modo evento.

La trama de datos en modo evento tendrá los siguientes campos:

- Mensaje ID: 2 bytes
- Fecha, Mes-Día-Año: 6 bytes
- Tiempo, Hora-Minuto-Segundo: 6 bytes
- Promedio de altura de columnas de agua: 8 bytes
- Verificador: 2 bytes

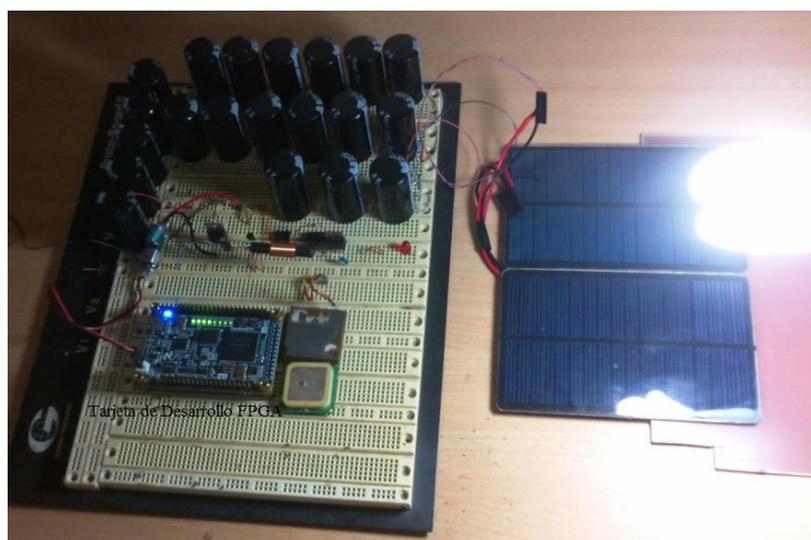
La trama tendrá una carga útil de 24 bytes, para objeto de simulación se colocarán un total 8 delimitadores para identificar los campos en la estación de monitoreo y el identificador de trama modo evento que es el carácter “\$”, dando un total de 33 bytes:

\$XX,27,05,15,00,00,00,XXXXXXXX,XX

Este proyecto integrador asume que el CPU de la boya de Tsunami es capaz de enviar por otro puerto serial solamente la trama de modo evento de la boya, de esta forma filtrando solamente los datos relevantes al momento de detectar un tsunami.

5.3.2 Pruebas Experimentales de Circuito de Supercapacitores para cargar un terminal satelital

Para evaluar el circuito de carga y control del banco de supercapacitores, primero se emplearon capacitores de menor capacitancia con el propósito de tener ciclos de carga y descarga más cortos, del orden de segundos. Se realizaron sucesivas cargas y descargas para evaluar el desempeño del circuito. La carga en este caso fue una tarjeta de desarrollo FPGA del fabricante Terasic. La ventana de histéresis se la estableció entre 5 V y 12V, es decir que inicialmente el voltaje se tiene que llegar primero a 12 V para que el sistema arranque y luego se corta la alimentación cuando el voltaje decae a 5V en aproximadamente 10 s, la fuente de iluminación en este caso fue un foco ahorrador. En la figura 5.19 se muestra la prueba del circuito de carga y control.



Fuente: Elaborado por el autor.

Figura 5.19: Prueba del circuito de carga y control en laboratorio.

Luego de la prueba del circuito en laboratorio se realizó una prueba de campo en una terraza, en el sector norte de la ciudad de Guayaquil, exponiendo a la luz del sol el juego de paneles solares como se puede observar en la figura 5.20.



Fuente: Elaborado por el autor.

Figura 5.20: Prueba de campo del sistema de alimentación basado en supercapacitores.

En esta prueba se conectaron los supercapacitores al circuito de carga y control. El banco estuvo conformado por 8 supercapacitores de 350 Faradios 2.7 V, conectados en serie con balanceo pasivo. La carga fue una tarjeta de desarrollo Arduino que incluye un microcontrolador y un motor DC que consume 1 Amperio. El programa que corre en el microcontrolador emula el algoritmo para el terminal satelital IDP 690 para la boya de tsunamis, esto implica que la mayor parte del tiempo el microcontrolador estará en modo de bajo consumo. El motor DC emula la carga eléctrica del terminal satelital. El tiempo de la prueba fue de aproximadamente 4 semanas, durante el mes de Agosto del 2015. En el transcurso de ese tiempo se mantuvo la carga entre los valores de histéresis entre 19 V y 7.5 V, es decir en ningún momento en el transcurso

de la prueba se apagó la tarjeta de desarrollo por falta de alimentación eléctrica. El voltaje promedio fue de 12.5 V.

El sistema se desempeñó satisfactoriamente durante los días nublados típicos del mes de Agosto. El valor máximo del voltaje generado por el panel solar durante días soleados fue de 25 V, durante días nublados fue 16 V.

5.3.3 Presupuesto del Circuito

Este presupuesto corresponde al diseño circuito de supercapacitores que se utilizaría al momento de instalar los terminales satelitales en las boyas de tsunami. Debido a que se consideró las dos boyas de tsunami el presupuesto se duplica. En la Tabla 8 se observa el presupuesto para este diseño.

Descripción	Precio	Cantidad	TOTAL
Supercapacitor MAXWELL 350 F, 2.7 V	\$ 11.69	16	\$ 187.04
Panel solar Radioshack 9 V, 1.5 W	\$ 30.22	6	\$ 181.32
Componentes electrónicos: amplificadores operacionales, transistores, diodos, resistencias	\$ 8.50	2	\$ 17.00
Circuito Impreso	\$ 30.00	2	\$ 60.00
Carcasa, soportes, tornillos, cables y conectores	\$ 20.30	2	\$ 40.60
TOTAL			\$ 485.96

Fuente: Elaborado por el autor.

Tabla 8: Presupuesto de los materiales para el diseño del circuito de carga para terminales satelitales instalados en dos boyas de tsunami.

Sin embargo para definir exactamente cuántos supercapacitores se necesitan para el diseño y su capacitancia, se debe tener acceso a un terminal satelital Skywave de la serie IDP 600 para realizar pruebas de campo bajo condiciones reales de trabajo.

5.4 Estación Enrutadora de Mensajes

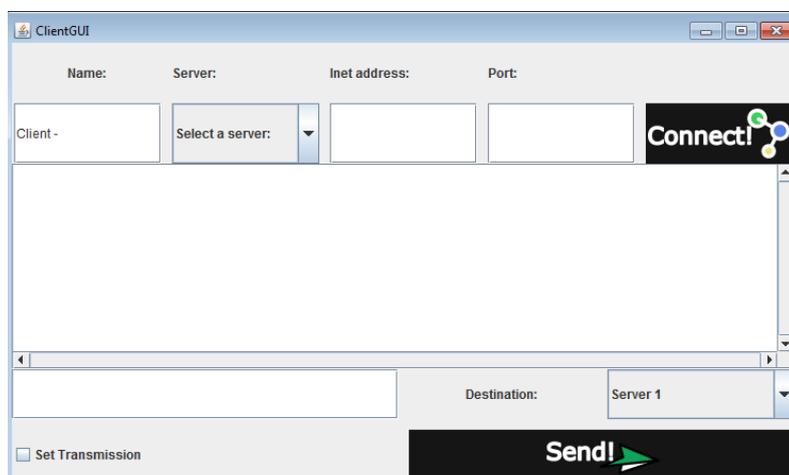
Para el diseño de este sistema de alerta temprana de tsunamis se utilizará comunicación satelital para evitar que cualquier evento sísmológico afecte las comunicaciones terrenas, pero debido a que las redes satelitales privadas siempre direccionan las tramas o datos de los terminales satelitales a sus estaciones terrenas y estas la suben a la web, se necesita del internet para acceder a la información.

Por esta razón se agrega a la arquitectura de solución una estación de enrutamiento de mensajes como se puede observar en la figura 5.1. Esta estación cumple la función de direccionar los mensajes de un terminal a otro.

Debido a que se usará el servicio IPSCADA cada terminal satelital del diseño de la arquitectura de solución se le asignará una IP pública por lo tanto se usará la librería Java.net para transmisión TCP/IP usando la herramienta de programación Netbeans, para la cual se desarrollará una aplicación Servidor que simulará la dirección IP asignada por los servidores IPSCADA a un terminal satelital y una aplicación Cliente capaz de conectarse a tres direcciones IP públicas, la primera conexión corresponderá a la dirección IP del terminal satelital ubicado en una boya de tsunamis, la segunda conexión corresponderá a la dirección IP del terminal satelital ubicado en el Centro de Monitoreo Oceánico del INOCAR y la tercera conexión corresponderá a la dirección IP del terminal satelital ubicado en una estación de alerta sonora. El diseño de esta estación recae en la aplicación cliente multiconexión, la aplicación Servidor se utiliza como objeto de simulación para probar la conexión.

5.4.1 Aplicación Cliente

Esta aplicación Cliente podrá estar conectado a varias IP públicas que serán las IP asignadas a los terminales satelitales. La principal función que se le dará a esta aplicación es la de reenviar los mensajes entre terminales satelitales. Para mejorar la aplicación se desarrolló una interfaz gráfica que se observa en la figura 5.21, en la cual se colocan las IP y los puertos de los servidores a los que debe apuntar. La interfaz posee un límite de 3 conexiones a diferentes servidores, se seleccionan en el menú “**Select a server**” y se presiona el botón **Connect!** el cual establece conexión y automáticamente podrá enviar y recibir mensajes del servidor. Los botones “**Send!**”, envían mensajes a los servidores 1, 2, 3 de acuerdo a quien se elija en el menú “Destination”. La función principal de la aplicación estará dada por el Checkbox “**Set Transmission**” que permitirá el reenvío de mensajes entre servidores.



Fuente: Elaborado por el autor.

Figura 5.21: Interfaz Gráfica de la Aplicación Cliente realizada en Netbeans.

En la figura 5.22 se observa el método programado en Netbeans para realizar el enrutamiento de mensajes.

```

public void run(){//Metodo de Enrutamiento
    String texto;// Aldair Alarcón Rubio
    while (true){
        try{
            texto=bufferedReader.readLine();
            System.out.println(texto);
            clientFrame.setOutputTextArea(texto);

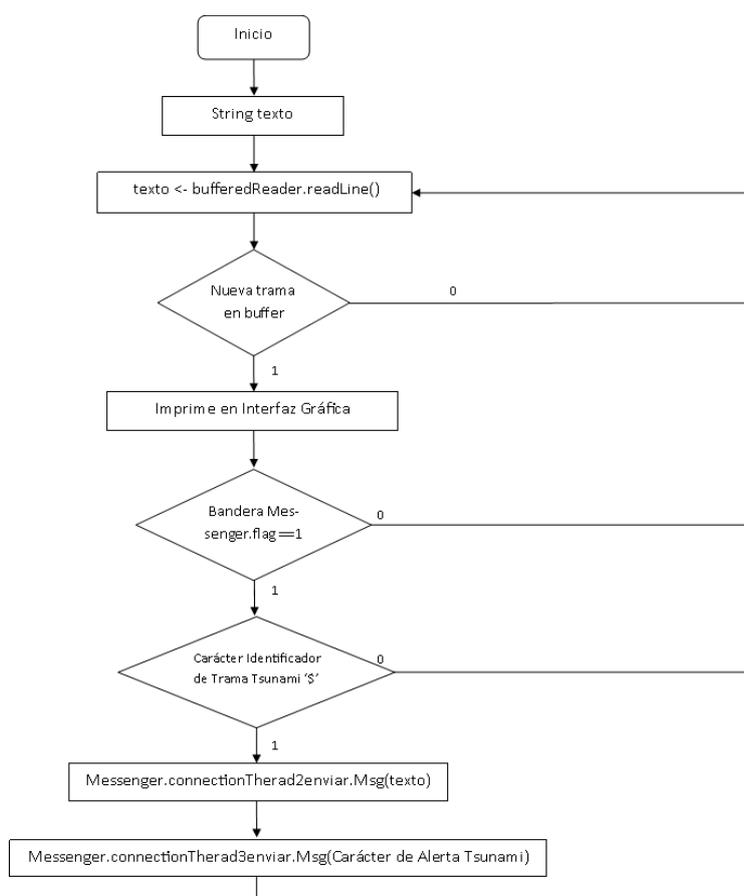
            if(Messenger.flag){
                if(texto.toCharArray()[0]=='$'){
                    Messenger.connectionThread2.enviarMsg("\n"+texto);
                    Messenger.connectionThread3.enviarMsg("\n"+"$");}
                }
            }
        catch(IOException e){
        }
    }
}
}

```

Fuente: Elaborado por el autor.

Figura 5.22: Método para Enrutar mensajes entre terminales realizado en Netbeans.

Este método se ejecutará en la clase de cada conexión a servidores denominada “**conecctionThead**”. El método entra en un lazo infinito en el que siempre leerá la trama que llega al buffer de entrada y lo imprimirá en su interfaz gráfica, el lazo recibirá una bandera del programa main “**Messenger.flag**”, si el valor de la bandera es Verdadero y el primer carácter de la trama es \$, enviará el mensaje a la segunda conexiónThread que se denomina “**conecctionThread2**” y a la tercera conexiónThread que se denomina “**conecctionThread3**” con la función “**Messenger.conecctionThead#.enviarMSG(texto o carácter)**”. El valor de la bandera “**Messenger.flag**” dependerá del Checkbox “Set Transmission”. La figura 5.23 muestra el algoritmo del método run.



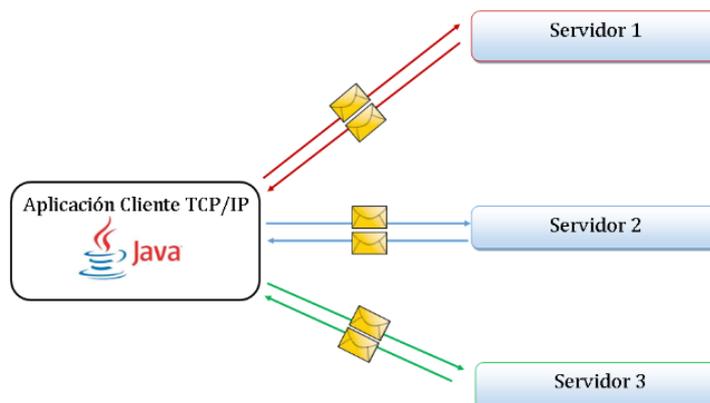
Fuente: Elaborado por el autor.

Figura 5.23: Algoritmo para el método Run().

El algoritmo viéndolo desde el punto de vista de la arquitectura de solución de la figura 5.1 funciona de la siguiente forma: al recibir una trama se imprimirá en la interfaz gráfica, si se detecta la bandera Messenger.flag en True y el carácter de inicio de la trama corresponde al carácter de una trama de tsunami ('\$') enviada por la dirección IP asignada al terminal satelital de la boya de tsunami, enviará la trama entera a la segunda conexión que corresponde a la dirección IP asignada al terminal satelital ubicado en el Centro de Monitoreo Oceánico del INOCAR, y enviará a la tercera conexión que corresponde a la dirección IP del terminal satelital ubicado en una estación de alerta sonora solo 1 carácter en este caso será '\$', para activar la estación de alerta sonora.

Para el desarrollo la aplicación se ha creado un Java Class Conector, la cual contiene las funciones de envío de trama para una conexión cliente en un Socket Server. En la clase conector se encontrará el método Run descrito anteriormente. Por lo tanto por cada conexión que realizó la aplicación creará una clase conector distinta para el reenvío de mensajes a diferentes conexiones. Para el desarrollo de la interfaz gráfica se ha creado un código "ClientFrame" que se observó en la figura 5.21 y un main class "Messenger".

El Main de la aplicación ejecutará la interfaz gráfica y creará las tres conexiones a los 3 servidores. Este tipo de programación se denomina "Programación Thread" o "Programación con hilos" debido al uso de lazos infinitos entre clases. En la figura 5.24 se observa la comunicación que realiza la aplicación Cliente.



Fuente: Elaborado por el autor.

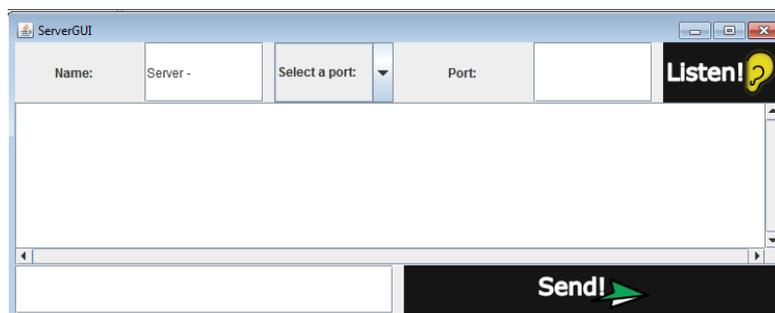
Figura 5.24: Envío de mensajes entre terminales.

Existe un inconveniente con el desarrollo de la lectura de las tramas enviadas por los terminales satelitales. Debido al uso de la función `readline()`, las tramas que llegan a la aplicación Cliente deben contener un carácter de salto de línea '\n' al inicio y al final de la trama.

Por lo que es necesario programar en el controlador de los terminales satelitales ubicados en las boyas de tsunami la concatenación de un carácter de salto de línea '\n' al inicio y al final de la trama recibida por el puerto serial del terminal satelital.

5.4.2 Aplicación Servidor

La aplicación Servidor para objeto de simulación aceptará la conexión de una aplicación cliente que apunten a su dirección IP y puerto, y enviará y recibirá las tramas del cliente. La aplicación Servidor diseñada en Java ejecutará la interfaz gráfica con el código "ServerFrame" que se observa en la figura 5.25. Esta interfaz posee la misma estructura que la aplicación cliente, ingresando el puerto en el que se abrirá el socket server para escuchar al socket cliente usando la IP del host donde se use la aplicación.



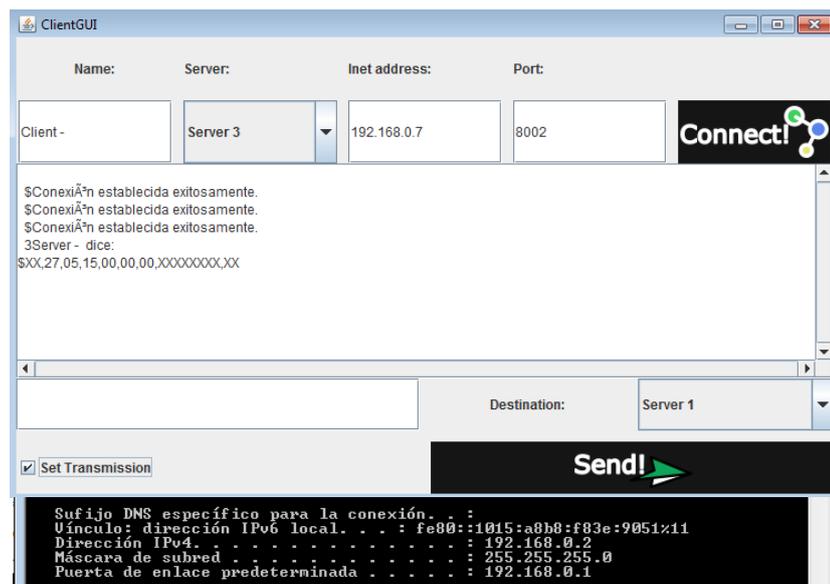
Fuente: Elaborado por el autor.

Figura 5.25: Interfaz gráfica de Aplicación Servidor realizada en Netbeans.

El código fuente de ambas aplicaciones se encuentra en el anexo 1, para objetos de modificación. Cabe indicar que la aplicación Servidor se la realizó para objeto de simulación de los Servidores IPSCADA pero la aplicación principal que se utilizará en la estación de enrutamiento será la Aplicación Cliente con la función principal de enrutar mensajes.

5.4.3 Prueba de Conexión TCP/IP en una red privada

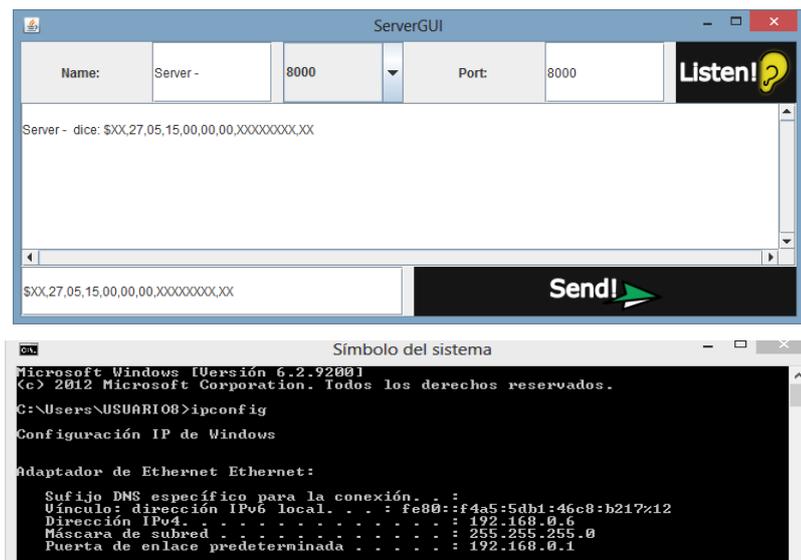
En la figura 5.26 se muestra la aplicación cliente con tres conexiones establecidas y habilitando el Check Box “Set Transmission”. La primera conexión es la dirección IP 192.168.0.6 en el puerto 8000, la segunda conexión es a la dirección IP 192.168.0.7 en el puerto 8001 y la tercera conexión a la dirección IP 192.168.0.7 en el puerto 8002. Se observa la trama de reconocimiento de las tres conexiones y el mensaje de la trama de tsunami enviada por la primera conexión, esta se enviará automáticamente a la segunda conexión y a la tercera conexión se enviará el carácter de trama de tsunami ‘\$’. La dirección IP de la aplicación Cliente 192.168.0.2.



Fuente: Elaborado por el autor.

Figura 5.26: Dirección IP Aplicación Cliente.

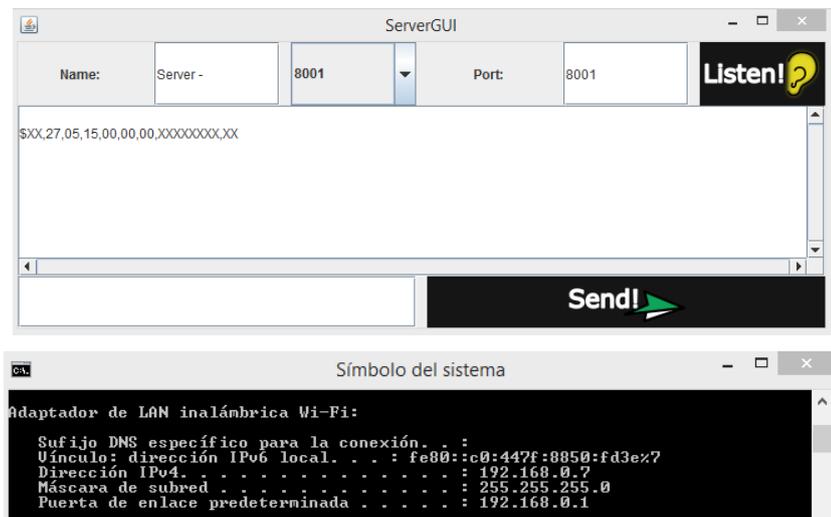
En la figura 5.27 se muestra la aplicación Servidor 1 que corresponde a la primera conexión de la aplicación Cliente. Esta conexión envía una trama de confirmación a la aplicación Cliente y se imprime en la interfaz la trama de Tsunami que se envía a la aplicación Cliente. La dirección IP es 192.168.0.6 en el puerto 8000.



Fuente: Elaborado por el autor.

Figura 5.27: Dirección IP Aplicación Servidor 1.

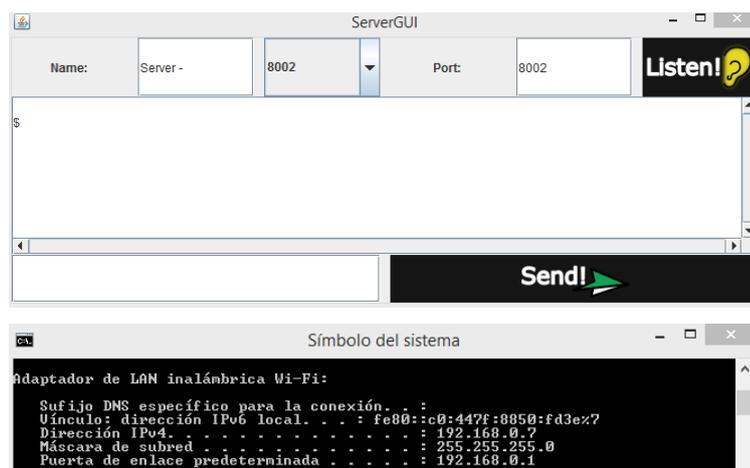
En la figura 5.28 se muestra la aplicación Servidor 2 que corresponde a la segunda conexión de la aplicación Cliente, enviando una trama de confirmación de conexión a la aplicación Cliente y recibiendo e imprimiendo en la interfaz la trama de tsunami enviada por la aplicación Cliente. La dirección IP es 192.168.0.7 en el puerto 8001.



Fuente: Elaborado por el autor.

Figura 5.28: Dirección IP Aplicación Servidor 2.

En la figura 5.29 se muestra la aplicación Servidor 3 que corresponde a la tercera conexión de la aplicación Cliente, enviando la trama de confirmación de conexión a la aplicación Cliente y recibiendo e imprimiendo en la interfaz el carácter de tsunami '\$' enviando por la aplicación Cliente. La dirección IP es 192.168.0.7 en el puerto 8002.



Fuente: Elaborado por el autor.

Figura 5.29: Dirección IP Aplicación Servidor 3.

En la figura 5.30 se muestra la trama “Conexión establecida exitosamente”, enviada por la aplicación Servidor 1 a la aplicación Cliente para confirmar la conexión. Como se puede observar en la figura 5.30, la dirección IP Src es 192.168.0.6 en el puerto Src 8000 (Dirección IP y puerto del Servidor 1) y la dirección IP Dst 192.168.0.2 (Dirección IP de la aplicación Cliente). La carga útil (Data) corresponde a 38 Bytes.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
87	38.1128970	192.168.0.6	192.168.0.2	TCP	92	8000→7313 [PSH, ACK] Seq=1 Ack=1 win=65536 Len=38
88	38.3130870	192.168.0.2	192.168.0.6	TCP	54	7313→8000 [ACK] Seq=1 Ack=39 win=17480 Len=0
89	38.4093150	192.168.0.7	192.168.0.255	NBNS	92	Name query NB ISATAP<00>
90	38.4104960	Fe80::c0:447f:8850:ff02::1:3		LLMNR	86	Standard query 0x1531 A isatap

[+] Frame 87: 92 bytes on wire (736 bits), 92 bytes captured (736 bits) on interface 0						
[+] Ethernet II, Src: BiostarM_43:df:23 (b8:97:5a:43:df:23), Dst: AskeyCom_cb:d2:cb (e0:ca:94:cb:d2:cb)						
[+] Internet Protocol version 4, Src: 192.168.0.6 (192.168.0.6), Dst: 192.168.0.2 (192.168.0.2)						
[+] Transmission Control Protocol, Src Port: 8000 (8000), Dst Port: 7313 (7313), Seq: 1, Ack: 1, Len: 38						
[+] Data (38 bytes)						

0000	e0	ca	94	cb	d2	cb	b8	97	5a	43	df	23	08	00	45	00	.....	ZC.#..E.
0010	00	4e	34	35	40	00	80	06	45	1c	c0	a8	00	06	c0	a8	.N45...	E.....	
0020	00	02	1f	40	1c	91	03	9e	44	82	4c	29	ac	d0	50	18	..@...\$	D.L).P.	
0030	01	00	40	57	00	00	00	24	43	6f	6e	65	78	69	c3	b3	..@...\$	conexi..	
0040	6e	20	65	73	74	61	62	6c	65	63	69	64	61	20	65	78	n	establ	
0050	69	74	6f	73	61	6d	65	6e	74	65	2e	0a					ecida	ex	
																		itosam	te..

Fuente: Elaborado por el autor.

Figura 5.30: Trama de reconocimiento de conexión enviada por la aplicación Servidor 1 a la aplicación Cliente, capturado usando el software Wireshark.

En la figura 5.31 se muestra la trama “Conexión establecida exitosamente”, enviada por la aplicación Servidor 2 a la aplicación Cliente para confirmar la conexión. Como se puede observar en la figura 5.31, la dirección IP Src es 192.168.0.7 en el puerto Src 8001 (Dirección IP y puerto del Servidor 2) y la dirección IP Dst 192.168.0.2 (Dirección IP de la aplicación Cliente). La carga útil (Data) corresponde a 38 Bytes.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info												
164	67.1854100	192.168.0.2	192.168.0.7	TCP	54	7314→8001 [ACK] Seq=1 Ack=1 win=17520 Len=0												
165	67.1931470	192.168.0.7	192.168.0.2	TCP	92	8001→7314 [PSH, ACK] Seq=1 Ack=1 win=65536 Len=38												
166	67.3927520	192.168.0.2	192.168.0.7	TCP	54	7314→8001 [ACK] Seq=1 Ack=39 win=17480 Len=0												
Frame 165: 92 bytes on wire (736 bits), 92 bytes captured (736 bits) on interface 0 Ethernet II, Src: D-LinkIn_31:6e:fd (9c:d6:43:31:6e:fd), Dst: AskeyCom_cb:d2:cb (e0:ca:94:cb:d2:cb) Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.0.7 (192.168.0.7), Dst: 192.168.0.2 (192.168.0.2) Transmission Control Protocol, Src Port: 8001 (8001), Dst Port: 7314 (7314), Seq: 1, Ack: 1, Len: 38 Data (38 bytes)																		
0000	e0	ca	94	cb	d2	cb	9c	d6	43	31	6e	fd	08	00	45	00	.....	Cin...E.
0010	00	4e	0b	31	40	00	80	06	6e	1f	c0	a8	00	07	c0	a8	.N.1@...	n.....
0020	00	02	1f	41	1c	92	4c	e3	1c	d7	8a	82	d2	f0	50	18	..A..L.	.....P.
0030	01	00	ba	40	00	00	00	24	43	6f	6e	65	78	69	c3	b3	..@...\$	Conexi..
0040	6e	20	65	73	74	61	62	6c	65	63	69	64	61	20	65	78	n establ	ecida ex
0050	69	74	6f	73	61	6d	65	6e	74	65	2e	0a					itosamen	te..

Fuente: Elaborado por el autor.

Figura 5.31: Trama de reconocimiento de conexión enviada por la aplicación Servidor 2 a la aplicación Cliente, capturado usando el software Wireshark.

En la figura 5.32 se muestra la trama “Conexión establecida exitosamente”, enviada por la aplicación Servidor 3 a la aplicación Cliente para reconocer la conexión.

Como se puede observar en la figura 5.32 la dirección IP Src es 192.168.0.7 en el puerto Src 8002 (Dirección IP y puerto del Servidor 3) y la dirección IP Dst 192.168.0.2 (Dirección IP de la aplicación Cliente). La carga útil (Data) corresponde a 38 Bytes.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info												
213	93.0231670	192.168.0.2	192.168.0.7	TCP	54	7315→8002 [ACK] Seq=1 Ack=1 win=17520 Len=0												
214	93.0271810	192.168.0.7	192.168.0.2	TCP	92	8002→7315 [PSH, ACK] Seq=1 Ack=1 win=65536 Len=38												
215	93.2193200	192.168.0.2	192.168.0.7	TCP	54	7315→8002 [ACK] Seq=1 Ack=39 win=17480 Len=0												
Frame 214: 92 bytes on wire (736 bits), 92 bytes captured (736 bits) on interface 0 Ethernet II, Src: D-LinkIn_31:6e:fd (9c:d6:43:31:6e:fd), Dst: AskeyCom_cb:d2:cb (e0:ca:94:cb:d2:cb) Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.0.7 (192.168.0.7), Dst: 192.168.0.2 (192.168.0.2) Transmission Control Protocol, Src Port: 8002 (8002), Dst Port: 7315 (7315), Seq: 1, Ack: 1, Len: 38 Data (38 bytes)																		
0000	e0	ca	94	cb	d2	cb	9c	d6	43	31	6e	fd	08	00	45	00	.....	Cin...E.
0010	00	4e	0b	42	40	00	80	06	6e	0e	c0	a8	00	07	c0	a8	.N.B@...	n.....
0020	00	02	1f	42	1c	93	68	95	2f	6f	e5	c0	9e	bf	50	18	..B..h.	/o....P.
0030	01	00	64	e7	00	00	00	24	43	6f	6e	65	78	69	c3	b3	..d....\$	Conexi..
0040	6e	20	65	73	74	61	62	6c	65	63	69	64	61	20	65	78	n establ	ecida ex
0050	69	74	6f	73	61	6d	65	6e	74	65	2e	0a					itosamen	te..

Fuente: Elaborado por el autor.

Figura 5.32: Trama de reconocimiento de conexión enviada por la aplicación Servidor 3 a la aplicación Cliente, capturado usando el software Wireshark.

En la figura 5.33 se muestra el envío de la trama tsunami desde la dirección IP 192.168.0.6 en el puerto 8000 correspondiente a la aplicación Servidor 1 a la dirección IP 192.168.0.2 de la aplicación Cliente. Dando una carga útil (Data) de 53 Bytes, por objeto de simulación se envía el mensaje “Server dice: \n\$XX,27,05,15,00,00,00,XXXXXXXX,XX\n” desde la aplicación Servidor 1, donde se agrega el carácter de salto de línea (‘\n’) al inicio y al final de la trama de tsunami, para poder separar la trama de tsunami de la trama “Server dice:” en el buffer de lectura de tramas de la aplicación cliente.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
376	180.396300	192.168.0.2	108.80.158.112	UDP	45	Source port: 20159 Destination port: 19302
377	181.112008	192.168.0.6	192.168.0.2	TCP	107	8000→7313 [PSH, ACK] Seq=39 Ack=1 Win=65536 Len=53
378	181.125956	AskeyCom_cb:d2:cb	broadcast	ARP	42	who has 192.168.0.7? Tell 192.168.0.2

```

[+] Frame 377: 107 bytes on wire (856 bits), 107 bytes captured (856 bits) on interface 0
[+] Ethernet II, Src: BiostarM_43:df:23 (b8:97:5a:43:df:23), Dst: AskeyCom_cb:d2:cb (e0:ca:94:cb:d2:cb)
[+] Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.0.6 (192.168.0.6), Dst: 192.168.0.2 (192.168.0.2)
[+] Transmission Control Protocol, Src Port: 8000 (8000), Dst Port: 7313 (7313), Seq: 39, Ack: 1, Len: 53
[+] Data (53 bytes)
0000 e0 ca 94 cb d2 cb b8 97 5a 43 df 23 08 00 45 00 ..... ZC.#.E.
0010 00 5d 34 39 40 00 80 06 45 09 c0 a8 00 06 c0 a8 ..]498... E.....
0020 00 02 1f 40 1c 91 03 9e 44 a8 4c 29 ac d0 50 18 ..@.... D.L)..P.
0030 01 00 3e 60 00 00 00 33 53 65 72 76 65 72 20 2d ..->...3 Server -
0040 20 20 64 69 63 65 3a 20 0a 24 58 58 2c 32 37 2c   dice:  $XX,27,
0050 30 35 2c 31 35 2c 30 30 2c 30 30 2c 30 30 2c 58 05,15,00 ,00,00,X
0060 58 58 58 58 58 58 2c 58 58 0a                    xxxxxxx, xx.

```

Fuente: Elaborado por el autor.

Figura 5.33: Tramas enviada desde IP 192.168.0.6 Puerto 8000 a IP 192.168.0.2 usando Wireshark.

En la figura 5.34 se muestra la trama enviada automáticamente desde la dirección IP de la aplicación Cliente 192.168.0.2 a la dirección IP 192.168.0.7 en el puerto 8001 correspondiente a la segunda conexión (Servidor 2). La carga útil (Data) es de 37 bytes debido a que se separa la trama de tsunami de la trama “Server dice:” en la aplicación Cliente. Como se mencionó en la sección 5.3.1 la carga útil de la trama tsunami tiene 33 bytes y como se agregan a las tramas enviadas por la aplicación Cliente 4 bytes correspondientes a dos saltos de línea (‘\n’) al inicio y al final de la trama se obtienen los 37 bytes que se muestran en la carga útil (Data) de la figura 5.34.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
384	181.340032	192.168.0.2	192.168.0.6	TCP	54	7313-8000 [ACK] Seq=1 Ack=92 win=17428 Len=0
385	181.935295	192.168.0.2	192.168.0.7	TCP	91	7314-8001 [PSH, ACK] Seq=1 Ack=39 win=17480 Len=37
386	182.055960	192.168.0.7	192.168.0.2	TCP	54	8001-7314 [ACK] Seq=39 Ack=38 win=65536 Len=0
Frame 385: 91 bytes on wire (728 bits), 91 bytes captured (728 bits) on interface 0 Ethernet II, Src: AskeyCom_cb:d2:cb (e0:ca:94:cb:d2:cb), Dst: D-LinkIn_31:6e:fd (9c:d6:43:31:6e:fd) Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.0.2 (192.168.0.2), Dst: 192.168.0.7 (192.168.0.7) Transmission Control Protocol, Src Port: 7314 (7314), Dst Port: 8001 (8001), Seq: 1, Ack: 39, Len: 37 Data (37 bytes)						
0000	9c d6 43 31 6e fd e0 ca 94 cb d2 cb 08 00 45 00	..CIn... ..E.				
0010	00 4d 26 0a 40 00 80 06 53 47 c0 a8 00 02 c0 a8	..M&@... SG.....				
0020	00 07 1c 92 1f 41 8a 82 d2 f0 4c e3 1c fd 50 18	.....A... .L...P.				
0030	11 12 15 e2 00 00 00 23 0a 24 58 58 2c 32 37 2c	.....# .\$XX,2,				
0040	30 35 2c 31 35 2c 30 30 2c 30 30 2c 30 30 2c 58	05,15,00 ,00,00,X				
0050	58 58 58 58 58 58 2c 58 58 0a	xxxxxxxx, xx.				

Fuente: Elaborado por el autor usando Wireshark

Figura 5.34: Prueba de Conexión de tramas enviadas desde IP 192.168.0.2 a IP 192.168.0.7 en el puerto 8001 usando Wireshark.

En la figura 5.35 se muestra envío del carácter '\$' desde la dirección IP de la aplicación Cliente 192.168.0.2 a la dirección IP 192.168.0.7 en el puerto 8002 correspondiente a la tercera conexión de la aplicación Cliente (Servidor 3), de la misma forma el carácter '\$' corresponde a 1 byte, más los 4 bytes por los saltos de línea da un total de 5 bytes, como se observa en la carga útil (Data) de la figura 5.35.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
379	181.185182	D-LinkIn_31:6e:fd	AskeyCom_cb:d2:cb	ARP	42	192.168.0.7 is at 9c:d6:43:31:6e:fd
380	181.185220	192.168.0.2	192.168.0.7	TCP	59	7315-8002 [PSH, ACK] Seq=1 Ack=39 win=17480 Len=5
381	181.260420	192.168.0.7	192.168.0.2	TCP	54	8002-7315 [ACK] Seq=39 Ack=6 win=65536 Len=0
Frame 380: 59 bytes on wire (472 bits), 59 bytes captured (472 bits) on interface 0 Ethernet II, Src: AskeyCom_cb:d2:cb (e0:ca:94:cb:d2:cb), Dst: D-LinkIn_31:6e:fd (9c:d6:43:31:6e:fd) Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.0.2 (192.168.0.2), Dst: 192.168.0.7 (192.168.0.7) Transmission Control Protocol, Src Port: 7315 (7315), Dst Port: 8002 (8002), Seq: 1, Ack: 39, Len: 5 Data (5 bytes)						
0000	9c d6 43 31 6e fd e0 ca 94 cb d2 cb 08 00 45 00	..CIn... ..E.				
0010	00 2d 26 08 40 00 80 06 53 69 c0 a8 00 02 c0 a8	..-&@... Si.....				
0020	00 07 1c 93 1f 42 e5 c0 9e bf 68 95 2f 95 50 18	.....B... .h./P.				
0030	11 12 b0 b4 00 00 00 03 0a 24 0a\$.				

Fuente: Elaborado por el autor usando Wireshark

Figura 5.35: Prueba de Conexión de tramas enviadas desde IP 192.168.0.2 a IP 192.168.0.7 en el puerto 8001 usando Wireshark.

Como se observa en la figura 5.33 el número de trama capturada por el software Wireshark es 377, en la figura 5.35 es 380 y en la figura 5.34 es 385, esto es debido a que al momento en que la aplicación Cliente recibe la trama de tsunami de la conexión del Servidor 1 automáticamente envía la trama de tsunami al Servidor 2 y el carácter de trama de tsunami al Servidor 3.

5.4.4 Presupuesto para Estación de Enrutamiento de mensajes

Para la Aplicación Cliente de la estación de enrutamiento se usó el programa Netbeans, el cual es un programa de desarrollo de aplicaciones Java con licencia libre, por lo que el diseño y uso de la misma no presenta ningún costo monetario.

El hardware mínimo para una la estación será un ordenador (portátil o de escritorio) que siempre esté conectado a internet. Este proyecto integrador considera la adquisición previa de un ordenador por parte del Centro de Monitoreo Oceánico, por lo que no es considerada en el presupuesto. Esta estación se puede instalar en el Centro de Monitoreo Oceánico de Guayaquil o en el Centro de Monitoreo Oceánico espejo ubicado en Galápagos.

5.5 Diseño de Hardware y Software para automatizar Estaciones de Alerta Sonora.

El objetivo de este proyecto integrador es diseñar un sistema de alerta temprana de Tsunami Satelital. Cabe recordar que el alcance de este proyecto recae en el diseño de un enlace satelital entre las boyas de Tsunami hacia el Centro de Monitoreo Oceánico en el INOCAR y con las Estaciones de Alerta de Sonora ya implementadas en las playas, pero debido a que el diseño del Sistema de Alerta Temprana es para el caso en el que Ecuador sea un país generador de Tsunami, se presenta el objetivo específico de automatizar estas Estaciones de Alerta Sonora.

Este proyecto integrador se encargará de diseñar el software y hardware para activar cualquier estación de alerta de sonora implementada en cualquier playa o balneario en el Ecuador, desde las boyas de tsunami a través de un enlace satelital en caso que las boyas detecten el movimiento sísmico capaz de generar un tsunami.

Una estación alerta sonora corresponde a un sistema amplificación acústico de alta potencia. Estas estaciones se han instalado en varias partes del mundo como se observa en la figura 5.36, la cual muestra una estación de alerta sonora instalada en Francia de la marca PAVIAN.



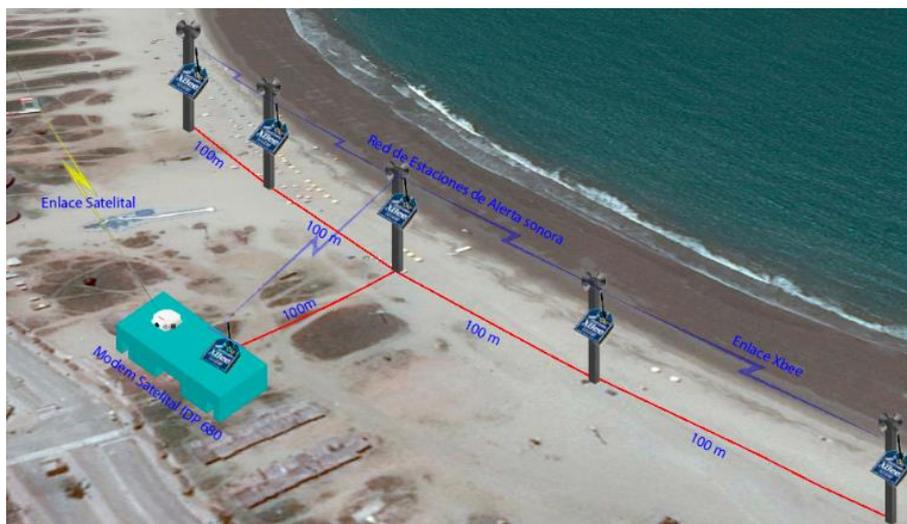
Fuente: Sitio web Telegrafia.

Figura 5.36: Estación de alerta sonora instalada en Francia [44].

Como objeto de prueba para el desarrollo de este diseño, este proyecto integrador considera la previa implementación de un sistema de alerta sonora en las playas del cantón Gral. Villamil Playas de la provincia del Guayas por parte de la Entidades de Riesgo del Ecuador.

Para el diseño de la red de comunicación que permita propagar la alerta de tsunami en varias estaciones de alerta sonora, se escogió la comunicación inalámbrica ZigBee, la cual se detalló en el capítulo 4. La ventaja principal de este tipo de comunicación es que no necesita radiobases, lo cual es fundamental para este proyecto integrador debido a que se considera sismos de alta magnitud.

Para diseñar la red inalámbrica ZigBee se usarán módulos Xbee en 5 estaciones de alerta sonora, los cuales recibirán la trama que adquiere el terminal satelital. En la figura 5.37 se observa la arquitectura que se desea diseñar usando el terminal satelital IDP 680 conectado a un módulo Xbee, y a partir de este punto propagar la alerta en las estaciones. El escenario escogido son las playas del cantón Gral. Villamil frente a la Municipalidad del cantón el mismo lugar en el que se analizaron los cálculos teóricos del sistema satelital para el terminal que se usará en la estación de alerta sonora.

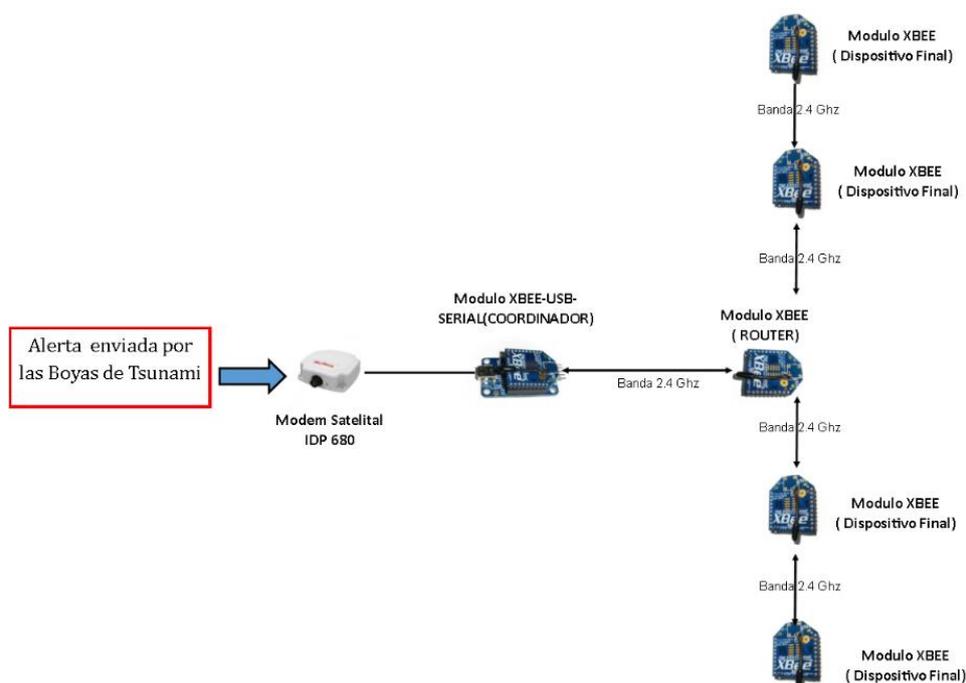


Fuente: Elaborado por el autor.

Figura 5.37: Red Inalámbrica ZIGBEE para 5 Estaciones de Alerta sonora activadas por un enlace satelital usando Google Earth.

Según las especificaciones técnicas de los módulos Xbee poseen un alcance de 50 m sin línea de vista y un alcance de 120 m con línea de vista. La figura 5.37, se encuentra a escala y cada estación de alerta sonora está separada 100 metros una de la otra, mientras que el módulo Xbee que se conectará al terminal satelital se encuentra a 100 metros de la estación a la que se comunica. Este diseño presenta varios módulos Xbee pero como se detalló en el capítulo 4, en las topologías de red ZigBee los módulos tienen tres modos de operación: coordinador, router y dispositivos finales.

En este diseño el módulo Xbee conectado al terminal satelital vía serial, estará funcionando en modo coordinador porque es el que iniciará la comunicación. El módulo Xbee que se encuentra frente al terminal satelital, opera en modo router, mientras que los restantes operan en modo de dispositivos finales, formando la topología que se muestra en la figura 5.38.



Fuente: Elaborado por el autor.

Figura 5.38: Topología de Red Inalámbrica ZigBee para 5 Estaciones de Alerta Sonora.

Esta topología es para cinco estaciones de alerta sonora, pero para automatizar una sola se usaría dos módulos Xbee, y la topología sería Coordinador a Router o Coordinador a Dispositivo final. Como se detalló en el capítulo 4, todos los dispositivos que no inicien la comunicación en la red ZigBee, tiene una función determinada. Esa función será recibir la trama y activar automáticamente las estaciones de alerta sonora. Para automatizar las alertas se usará el módulo Arduino UNO. Este módulo junto con el módulo Xbee conformará el diseño de Hardware para automatizar una estación de alerta sonora.

5.5.1 Diseño de Hardware

El diseño de Hardware consta de los siguientes equipos:

- Módulo Arduino UNO
- Módulos XBEE S2
- Entradas digitales de estaciones de alerta

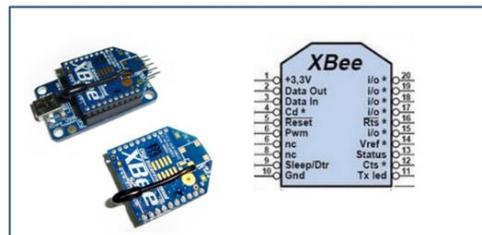
Para este diseño se escoge el módulo Arduino UNO como se puede observar en la figura 5.39, para programar el código fuente, debido a la capacidad de procesamiento de datos, la facilidad de programación para cualquier tipo de usuario y su uso libre sin necesidad de ninguna licencia.



Fuente: Elaborado por el autor.

Figura 5.39: Módulo en Arduino UNO.

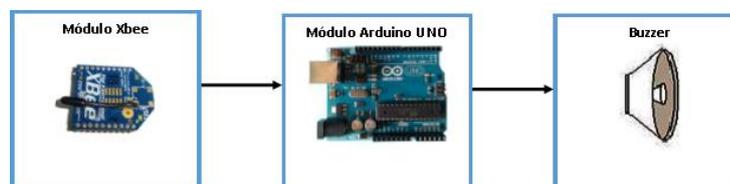
Como se detalló al inicio se usarán los módulos Xbee para el diseño de la red de comunicación. Para el desarrollo de este proyecto integrador se adquirió los módulos Xbee S2 para el análisis de transmisión en el cantón Gral. Villamil Playas. En la figura 5.40 se observa los módulos XBEE S2.



Fuente: Recuperada de sitio web Alselectro.

Figura 5.40: Módulo XBEE S2 [43].

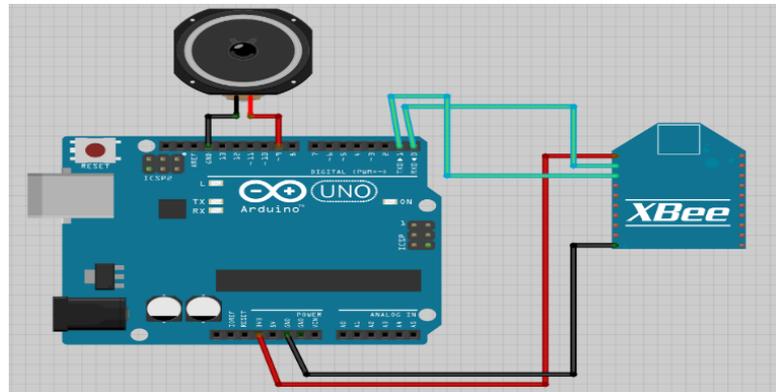
Como se observa en la figura 5.40, un módulo XBEE S2, se encuentra conectado a una plataforma. Esta plataforma es el integrado Xbee Explorer que permite conectar el Xbee a cualquier ordenador por su conexión USB-Serial, y regula los 3.3V necesarios para su operación. El Xbee que use esta plataforma será el Xbee Coordinador y será el que se conectará al terminal satelital. Usando el módulo Xbee S2 y el módulo Arduino UNO se diseña el respectivo diagrama de bloques del hardware que iría ubicado en cada estación de alerta sonora como se observa en la figura 5.41.



Fuente: Elaborado por el autor.

Figura 5.41: Diagrama de Bloques del Hardware para automatizar una Estación de Alerta Sonora.

El diseño del hardware se muestra en la figura 5.42.



Fuente: Elaborado por el autor.

Figura 5.42: Diseño de hardware para automatizar una Estación de Alerta Sonora usando el software Fritzing.

La figura 5.42 muestra la conexión entre el módulo Arduino UNO y el módulo Xbee. El pin 1 del módulo Xbee debe ser conectado al pin de 3.3V del módulo Arduino UNO, el pin 0 del Arduino (Rx) debe ir al pin 2 del Xbee (Data Out) y el pin 1 del Arduino (Tx) debe ir al pin 3 del Xbee (Data in)[46].

El Speaker simula las entradas digitales de una estación de alerta sonora, el cable de polaridad positiva(rojo) debe ir conectado a cualquiera de los pines 9, 10, 11 que son salidas de señales PWM, dependiendo de cuál se programe en el módulo Arduino, la polaridad negativa se conecta a la tierra del módulo Arduino[46].

5.5.2 Diseño de Software

El código que se usaría en el módulo Arduino se muestra en la figura 5.43.

```
//Codigo Fuente: Elaborado por el Autor

//Aldair Alarcón

// VARIABLES ALARMA
char input;
int speakerPin = 9;
int numTones = 10;
int tones[ ] = {261, 277, 294, 311, 330, 349, 370, 392, 415, 440,466, 494};
                // mid C C# D D# E F F# G G# A

// VARIABLES XBEE
int IN_XPIN=0;
int OUT_XPIN=1;
int XdataIN=0;
char orden;

void setup()
{

  pinMode(OUT_XPIN, OUTPUT);
  pinMode(IN_XPIN, INPUT);
  Serial.begin(9600);

}
//*****
void loop()
{

  if(Serial.available()>0){
    input=Serial.read();
    if(input=='$'){
      do{
        for (int i = 0; i < numTones; i++)
          {
            tone(speakerPin, tones[i]);
            delay(500);

          }
        }while(true); }
      noTone(speakerPin);
    }
  }
}
```

Fuente: Elaborado por el autor.

Figura 5.43: Código elaborado en Arduino para detección automática de Tsunami usando módulos Xbee.

Este código leerá la trama enviada por el Xbee Coordinador e identificará el carácter que permitirá activar la alarma que en la estación de enrutamiento se definió como '\$'. En la iniciación de variables se fijan el pin Rx y Tx para uso del módulo Xbee, y se programa el pin 9 para que envíe la señal PWM [46]. Para configurar cada módulo Xbee en los modos de coordinador, router y dispositivo finales, se necesita usar el programa XCTU el cual se encuentra disponible en la página web www.digi.com.

Este programa permite configurar los módulos en los modos que se desea, pero es necesario que sean configurados en modo AT para poder transmitir los comandos AT. Por ejemplo: Router AT, Coordinador AT y dispositivos finales AT. Después de configurar los módulos se procede a ingresar las direcciones de red.

Los parámetros que se configuran para formar una red Coordinador a Router se describen en la Tabla 9.

Módulos Xbee S2			
Parámetros	Coordinador	Router	Observaciones
Pan ID	2520	2520	Dirección de Red WPAN
Serial High	13A200	13A200	Número Serial H configurado por default
Serial Low	40C1424D	40C6710B	Número Serial L configurado por default
Destination High	13A200	13A200	Número Serial H de destino
Destination Low	40C6710B	40C6710B	Número Serial L de destino

Fuente: Elaborado por el autor.

Tabla 9: Parámetros de Módulos Xbee S2 para configurar modo Router y Coordinador

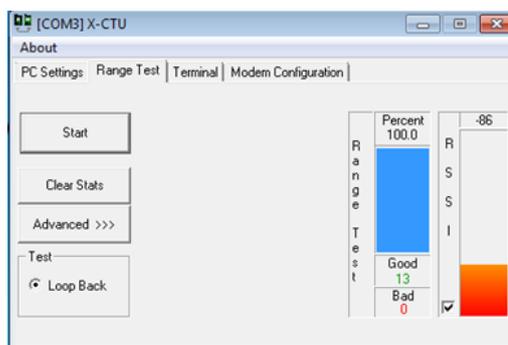
En la Tabla 9 se muestran los parámetros necesarios para realizar una comunicación punto a punto entre un Xbee Coordinador y un Xbee Router, cabe indicar que el número Serial H y el número Serial L vienen inscrito en el módulo Xbee. Para asegurar el funcionamiento de los módulos Xbee, se realizó una visita de campo a las playas del Cantón Gral. Villamil, para probar la comunicación inalámbrica de los módulos Xbee S2 como se observa en la figura 5.44.



Fuente: Fotografía Elaborado por el autor.

Figura 5.44: Pruebas de módulos Xbee S2 en el cantón Gral. Villamil Playas.

Con las configuraciones de la Tabla 9, se determina la potencia de transmisión a diferentes distancias mediante el software DIGI XCTU que permite determinar la potencia y la tasa de error de paquetes transmitidos como se puede observar en la figura 5.45.



Fuente: Elaborado por el autor.

Figura 5.45: Medición de potencia de transmisión y porcentaje de error de paquetes transmitidos a 10 metros de distancia, de los módulos Xbee S2 probados en el cantón Gral. Villamil Playas usando el software XCTU.

Para análisis de este proyecto integrador se realizó la medición de potencia y porcentaje de error de paquetes transmitidos a diferentes distancias las cuales se detallan en la Tabla 10.

Distancia (m)	Potencia de Transmisión (dbm)	Tasa de error de paquetes transmitidos
10	-86	0%
20	-94	10.5%
30	-91	11.5%
40	-91	69.6%
50	-93	100%
80	-95	100%

Fuente: Elaborado por el autor.

Tabla 10: Potencia de transmisión y Tasa de error de paquetes transmitidos de los Módulos Xbee S2 usando el software XCTU.

Analizando la Tabla 10 tal como se mencionó al inicio del diseño estos módulos tienen un alcance aproximado de 50 metros por lo que necesitan tener una amplia línea de vista para obtener menor tasa de error por lo tanto la potencia de transmisión no varía, pero al pasar los 30 metros la tasa de error aumenta.

En el análisis de campo se concluye que aunque la tasa de error aumenta aún existe recepción de los comandos AT hasta los 50 metros debido al tiempo de espera de los módulos Xbee, a partir de ese punto la señal empieza a llegar con muchos retrasos hasta perderse. Esto es debido a que se usó equipos de alimentación de baja potencia, al aumentar la potencia de los Xbee se podría alcanzar líneas de vista de hasta 300 m.

5.5.3 Presupuesto para el diseño de hardware y software para automatizar Estaciones de Alerta Sonora

En la Tabla 11 se detalla el presupuesto del diseño para automatizar una estación de alerta sonora sin contar con el módulo IDP 680 debido a que ya se considera en el presupuesto de sistema satelital. Este diseño se hace bajo hardware y software de licencia libre por lo que no se presenta ningún valor extra por licencia de uso.

Elemento	Precio	Cantidad	TOTAL
Módulo XBEE S2 – 1.25mW	\$40.00	2	\$80.00
Módulo XBee-USB I&T	\$39.20	1	\$39.20
Módulo Arduino UNO	\$29.00	1	\$29.00
TOTAL			\$148.20

Fuente: Presupuesto otorgado por IDETEC (<http://www.ideastechnology.com/>).

Tabla 11: Presupuesto de diseño para automatizar una Estación de alerta sonora.

En la Tabla 12, se presenta el presupuesto para el diseño de las 5 estaciones de alerta sonora que se consideraron en la figura 5.37.

Elemento	Precio	Cantidad	TOTAL
Módulo XBEE S2 – 1.25mW	\$40.00	6	\$240.00
Módulo XBee-USB I&T	\$39.20	1	\$39.20
Módulo Arduino UNO	\$29.00	5	\$145.00
TOTAL			\$424.20

Fuente: Presupuesto otorgado por IDETEC (<http://www.ideastechnology.com/>).

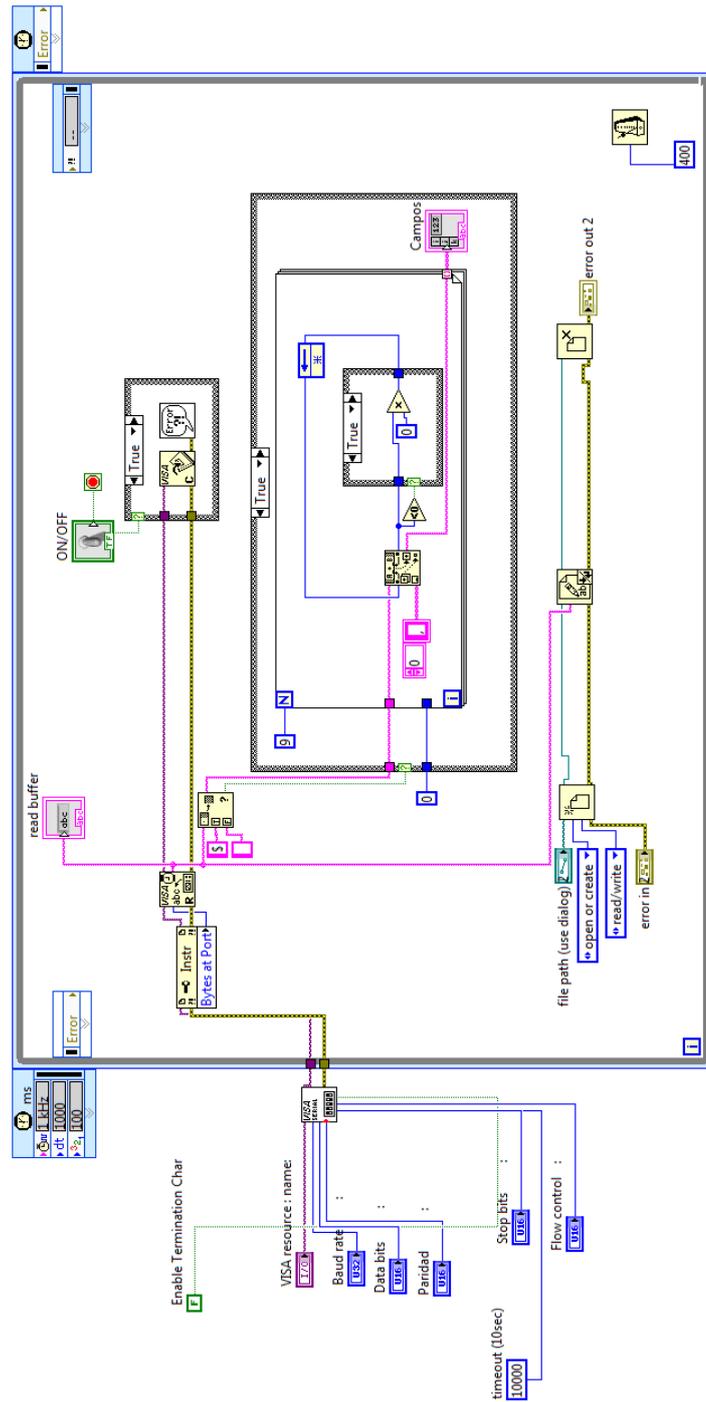
Tabla 12: Presupuesto de diseño para automatizar 5 Estaciones de alerta sonora.

5.6 Estación de monitoreo

La Estación de monitoreo corresponde al Centro de Monitoreo Oceánico ubicado en el INOCAR. La estación se comunicará mediante un enlace satelital al gateway de la red satelital IsatData Pro a través del terminal satelital IDP 680 de SkyWave. El diseño constará en ubicar el terminal satelital en un punto alto del edificio del Centro de Monitoreo Oceánico, con el ángulo de elevación y azimut ya calculados en la sección 5.2.3. El terminal satelital se comunicará de manera serial con un host específico del Centro de Monitoreo Oceánico, este host deberá contar con un software para almacenar los datos recibidos y presentarlos al usuario.

Para un uso más interactivo con el usuario y para facilidad de modificación por cualquier usuario que no sea un experto en programación, se optó por usar la programación en Lenguaje Gráfico LabView que se detalló en la sección 4.3.

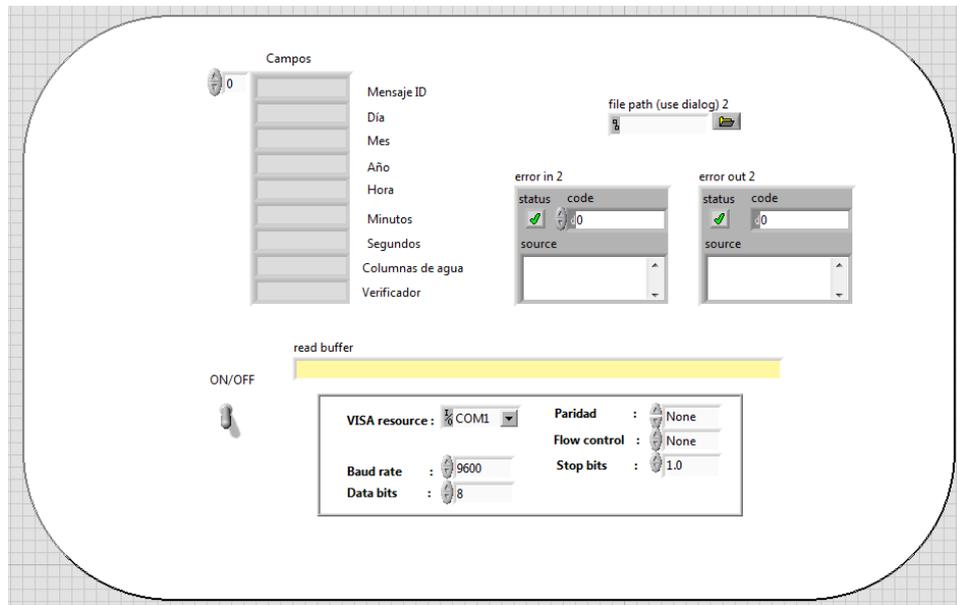
LabView brinda un lenguaje de programación gráfico y posee una librería de comunicación serial capaz de leer y escribir en los puertos seriales. La función principal del VI será la lectura del puerto serial, directamente conectado al terminal satelital, recibiendo la trama enviada por la boya de Tsunami. Las tramas tienen un formato ya establecido en la sección 5.3.1. El VI leerá la trama recibida en el puerto serial del host, la decodificará y la presentará en un formato de lectura para el usuario encargado de monitorear los datos. Se usará la configuración por default establecida en la sección 4.3. En la figura 5.46 se muestra el diagrama de bloques del VI's.



Fuente: Elaborado por el autor.

Figura 5.46: Diagrama de Bloques VI's "Decodificador de trama" elaborado en LabView.

En la figura 5.47 se muestra el Panel frontal que es donde el usuario visualizará la trama decodificada.

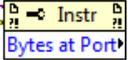
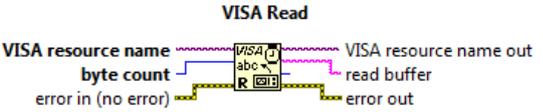
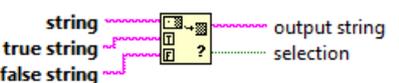
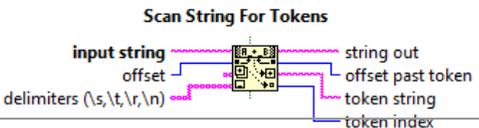


Fuente: Elaborado por el autor.

Figura 5.47: Panel Frontal VI's "Decodificador de trama" elaborado en LabView.

En el panel frontal se ingresan los valores con los que se iniciará la comunicación serial por default, la Baud rate será de 9600 bps, la Bits de dato 8, Bits de parada 1, Paridad y Flow Control no toma valor. En el cuadro read buffer se visualiza la trama que llega al puerto serial. En el arreglo Campos se muestra los valores decodificados de la trama y se agrega una función para guardar los datos en un archivo txt, denominado "file path", el switch ON/OFF termina el VI.

El diagrama de bloques posee diferentes enlaces repetitivos tanto de adquisición como de generación. También posee funciones especiales que permiten la partición de una trama en formato char, las cuales se describen la Tabla 13.

FUNCIÓN	DESCRIPCIÓN
<p style="text-align: center;">Property Node</p>  <p>The diagram shows a Property Node with 'Instr' as the object name and 'Bytes at Port' as the property name.</p>	Identifica la cantidad de bytes ingresados en el puerto serial
<p style="text-align: center;">VISA Read</p>  <p>The diagram shows a VISA Read block with inputs for 'VISA resource name' (abc), 'byte count' (R), and 'error in (no error)'. It has outputs for 'VISA resource name out', 'read buffer', and 'error out'.</p>	Lee el puerto serial
<p style="text-align: center;">Match True/False String</p>  <p>The diagram shows a Match True/False String block with inputs for 'string' (abc), 'true string' (T), and 'false string' (F). It has outputs for 'output string' and 'selection'.</p>	Identifica el carácter de inicio de cadena, si es coincide con "true string", enviará la trama
<p style="text-align: center;">Scan String for Token</p>  <p>The diagram shows a Scan String for Tokens block with inputs for 'input string', 'offset', and 'delimiters (\s, \t, \r, \n)'. It has outputs for 'string out', 'offset past token', 'token string', and 'token index'.</p>	Particiona la cadena, identificando el carácter separador, creando tokens.

Fuente: Elaborado por el autor usando LabView.

Tabla 13: Funciones del VI Decodificador de trama.

Para la función “Scan String for tokens”, es necesario inicializarla mediante un lazo repetitivo como se puede observar en la figura 5.46, debido a que leerá toda la trama recibida varias veces, y por default en el índice de la función se coloca -1 al terminar de leer una trama.

Este VI's es capaz de modificarse para recibir y decodificar tramas con mayor cantidad de bytes. Las pruebas experimentales para comprobar la funcionalidad del VI para decodificar la trama de tsunami de 33 bytes usada en diseños anteriores se encuentra en el anexo 2. Para el caso en que se desee enviar un comando AT desde el terminal satelital ubicado en el INOCAR hacia las boyas de tsunami, el proveedor SkyWave otorga programas para uso de envío y recepción de comandos establecidos para el terminal, pero esto no corresponde al alcance de este proyecto integrador.

5.6.1 Presupuesto para Diseño de Estación de monitoreo

El software LabView pertenece a la empresa National Instruments. Para ejecutar estas aplicaciones de desarrollo se necesita de una licencia de LabView. National Instruments presenta 4 licencias para el uso de LabView como se observa en la figura 5.48.

 <p>Base Desde \$1100</p> <p>E/S Básica Programación gráfica intuitiva, amplia integración de hardware y desarrollo de interfaces de usuario drag-and-drop</p> <p>Aprenda más</p>	 <p>Completa Desde \$3300</p> <p>Análisis y Procesamiento de Señales</p> <p>Análisis y exploración de datos completos con más de 950 algoritmos matemáticos y de procesamiento de señales</p> <p>Aprenda más</p>	 <p>Profesional Desde \$5500</p> <p>Desarrollo y validación de Código</p> <p>Desarrollo profesional con distribución de aplicaciones, validación de código y control de código fuente</p> <p>Aprenda más</p>	 <p>Paquetes de LabVIEW Desde \$10450</p> <p>Opción Premier</p> <p>Agrega el software de NI combinado con mayor frecuencia con LabVIEW para desarrollar aplicaciones de pruebas, diseño y control</p> <p>Aprenda más</p>
---	--	---	--

Fuente: Recuperada de sitio web National Instruments.

Figura 5.48: Opciones de Compra de Licencia LabView [47].

De acuerdo a la página web <https://www.ni.com/visa/license.htm> la librería NI-VISA puede ser utilizada en cualquier Licencia de LabView, por lo que este proyecto integrador sugiere adquirir una Licencia Base de LabView puesto a que únicamente se analizaran los datos recibidos por el terminal satelital conectado al puerto serial.

El presupuesto para obtener una licencia de LabView Básica se presenta en la Tabla 14.

Elemento	Precio	Cantidad	Total
Sistema de Desarrollo Base de LabView para Windows - 776671-35 (Anual)	\$ 1.100	1	\$ 1.100
Total			\$ 1.100

Fuente: Presupuesto otorgado por National Instruments
(<http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/1385>)

Tabla 14: Presupuesto de Licencia LabView Base anual (No incluye cargos de envío) [47].

Este proyecto integrador considera la adquisición previa de un ordenador por parte del Centro de Monitoreo Oceánico, por lo que no es considerada en el presupuesto.

5.7 Presupuesto final para implementar las estaciones del Sistema de Alerta Temprana de Tsunami diseñado.

El presupuesto que se muestra en la Tabla 15 corresponde al valor de los equipos para implementar las estaciones de este diseño que se especificaron a lo largo del capítulo 5.

Presupuesto del Equipos y Licencia de Software para implementar las Estaciones del Sistema de Alerta temprana Tsunami diseñado	Precio
Circuito de Carga para alimentación de terminales satelitales para Estación remota	\$ 485.96
Terminales satelitales del Sistema	\$ 5542,54
Servicio de mensajería por 1 año de los 4 terminales satelitales	\$ 1217.79
Licencia de software Java para Estación de Enrutamiento de mensajes	\$ 0.00
Elementos para automatizar 5 Estaciones de Alerta Sonora	\$ 424.20
Licencia de software LabView para Estación de Monitoreo en el Centro de Monitoreo Oceánico ubicado en el INOCAR por 1 año	\$ 1,100.00
TOTAL	\$ 8770.49

Fuente: Elaborado por el autor.

Tabla 15: Presupuesto para Implementar las Estaciones del Sistema de Alerta Temprana de Tsunami diseñado (No incluye cargos de envío).

El precio para instalar los equipos en la Estación Remota y en las Estaciones de alerta sonora, es variable debido a que corresponden a viajes fuera de Guayaquil.

Pero estos valores corresponden al Centro de Monitoreo Oceánico del INOCAR. Para objeto de estimación se propone un valor de \$4000.00 dólares, debido a los viajes a Esmeraldas, Manta y al lugar donde estén instaladas las estaciones de alerta sonora, los viajes en lancha hasta las boyas, y los cables para conectar los terminales satelitales a las boyas.

Para la instalación del terminal satelital ubicado en el Centro de Monitoreo Oceánico, es necesario un cable Serial de 10 m si se desea instalarlo en la azotea. En el mercado está cotizado en \$ 300 dólares. La estación de enrutamiento de mensajes y la estación de monitoreo necesitan de un ordenador cada una. Este proyecto integrador considera la adquisición previa de los ordenadores. Por lo tanto en la Tabla 16 se muestra el presupuesto final del proyecto integrador considerando los gastos de instalación.

Presupuesto Completo de instalación y equipos del Sistema de Alerta temprana Tsunami diseñado	Precio
Equipos para implementar las Estaciones del Sistema de Alerta temprana Tsunami diseñado	\$ 8770,49
Instalación de equipos en estación remota (Boyas de Tsunami) y estaciones de alerta sonora.	\$ 4000.00
Instalación de Terminal Satelital en el Centro de Monitoreo Oceánico ubicado en el INOCAR	\$ 300.00
Instalación de estación de enrutamiento y estación de monitoreo (Se considera adquisición previa de los ordenadores)	\$ 0.00
TOTAL	\$ 13,070.49

Fuente: Elaborado por el autor.

Tabla 16: Presupuesto Final del Sistema de Alerta Temprana de Tsunami diseñado (No incluye cargos de envío).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. De acuerdo al análisis de Sistemas de redes satelitales realizado se estableció que la selección de una red satelital Inmarsat, es la más factible para el caso de este diseño, debido a la ubicación geográfica del país la cual proporciona una excelente cobertura incluso en las aplicaciones marítimas, como lo es el diseño de este proyecto integrador.
2. De acuerdo al proveedor de terminales satelitales que operan sobre la red Inmarsat SkyWave, se seleccionó la serie IDP 600 para el diseño de este proyecto integrador, debido al uso de satélites Inmarsat 4 y su alta capacidad de envío de mensajes desde y hacia un terminal, permitiendo ampliar las tramas incluso hasta 6.4 kb de envío.
3. Se pudo determinar mediante cálculos teóricos las pérdidas de espacio libre, la potencia de transmisión, el azimut y el ángulo de elevación a la que se debe operar los terminales satelitales para este diseño
4. El análisis de una boya Tsunami, permitió conocer todas las características específicas que se debe considerar previo a un diseño permitiendo adherir un terminal satelital para que funcione independientemente al Sistema DART usado en la boya de Tsunami MESEMAR del Centro de Monitoreo Oceánico ubicado en las instalaciones del INOCAR.
5. Se comprobó mediante la herramienta Wireshark la conexión TCP/IP de la Aplicación Cliente Multiconexión desarrollada en Java estableciendo envío de mensajes en una red privada.
6. Utilizando la metodología de Aplicaciones Web bajo la programación de Socket en Java, se pudo diseñar una arquitectura completamente satelital, siendo los servicios Web transparentes para el usuario (Centro de Monitoreo Oceánico del INOCAR), únicamente comunicándose bajo enlaces satelitales en todas las estaciones de un Sistema de Alerta Temprana.

7. Se pudo determinar mediante una visita de campo a las playas del cantón General Villamil Playas de la provincia del Guayas, que la transmisión Xbee abarca grandes distancias en zonas que se consideran propensas a tsunamis, por lo que se concluye que este diseño de transmisión inalámbrica podrá propagar una alerta automáticamente detectada por las boyas de tsunamis.

Recomendaciones

1. Para que el diseño no se vea afectado por un sismo en el Centro de Monitoreo Oceánico en Guayaquil, lo más recomendable es instalar la estación de enrutamiento fuera de Guayaquil. Incluso existe la posibilidad de instalarla en Ottawa capital de Canadá, debido a que aquí se encuentran los servidores IsatData Pro que funcionan para los terminales satelitales de América.
2. Se recomienda programar en modo de bajo consumo los terminales satelitales puesto que esto ahorrará la batería y costos de mantenimiento.
3. Como un trabajo futuro se podría ampliar la red alerta sonora en varios balnearios del país, monitoreando todas las zonas que son propensas a un tsunami, desde el Centro de Monitoreo Oceánico ubicado en las instalaciones del INOCAR en Guayaquil.
4. A la arquitectura descrita en el presente trabajo se le puede añadir componentes de hardware y software como cámaras, radar o cámaras térmicas FLIR (Forward-Looking Infrared Imaging systems) para monitorear embarcaciones que se acerquen a la boya con el propósito de evitar actos de vandalismo.
5. Con el propósito de garantizar la integridad de los super-capacitores en futuros proyectos se puede agregar un circuito de protección adicional al balanceo positivo.
6. Dentro del diseño de hardware destinado para la boya de Tsunami se podría incluir la inmersión de las tarjetas electrónicas en aceite mineral para evitar los efectos del ambiente salino que causa corrosión.
7. La arquitectura de red diseñada en este proyecto integrador puede ser usada para sistemas de alerta temprana de erupciones volcánicas, inundaciones o accidentes industriales.

BIBLIOGRAFÍA

[1] C. Tenelema, "Metodología para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de Guayaquil", Tesis de Grado, Facd. de Ing. Ciencias de la Tierra, ESPOL, Guayaquil, Ecuador, 2005.

[2] SismoClub(Contenido bajo Licencia Creative Commons), (2011). Conceptos Básicos de Sismos [Online]. Disponible en: <https://sismoclub2011-1.wikispaces.com/Concepto+B%C3%A1sicos> [Último acceso Septiembre del 2015]

[3] Anónimo (Contenido bajo Licencia Creative Commons), (2010). CHILE: país sísmico [Online]. Disponible en: <https://terremotovaldiviablog.wordpress.com/sismos/sobre-chile/> [Último acceso Septiembre del 2015]

[4] BBC, (2014, Agosto 24). ¿Por qué el 90% de los terremotos suceden en el Cinturón del Pacífico? [Online]. Disponible en: http://www.bbc.co.uk/mundo/noticias/2014/08/140826_ciencia_cinturon_fuego_pacifico_zona_mas_sismica_mundo_iv [Último acceso Septiembre del 2015]

[5] C. Dehowitt, C. Acosta y N. Vásquez, (Septiembre 2005). Riesgos por tsunami en la costa ecuatoriana [Online]. Disponible en: <http://www.ipgh.gob.ec/documentos/recursos/Riesgos%20Tsunami%20Costa%20ecuatoriana.pdf> [Último acceso Septiembre del 2015]

[6] Constitución y Convenio de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, ISBN 92-61-04773-4, 1993. [Online]. Disponible en: http://www.itu.int/dms_pub/itu-s/oth/02/09/S020900000C5201PDFS.PDF

[Último acceso Septiembre del 2015]

[7] Asamblea Constituyente del Ecuador, (2008, Octubre 10). Constitución de la República del Ecuador. [Online]. Disponible en: http://www.asambleanacional.gob.ec/sites/default/files/documents/old/constitucion_de_bolsillo.pdf [Último acceso Septiembre del 2015]

[8] Acuerdo Ministerial Secretaria Nacional de Gestión de Riesgo, Acuerdo No. SNGR-002-10, 2010 [Online]. Disponible en: http://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/07/Acuerdo_No_SNGR-002.10.pdf

[Último acceso Septiembre del 2015]

[9] R. Norambuena, (2011, Abril). Diagnóstico de los Sistemas de Alerta Temprana ante Tsunami en el Pacífico Sudest [Online]. Disponible en: <http://cpps.dyndns.info/cpps-docs-web/dircient/tsunamis/DIAGNOSTICO%20SAT%20Tsunami%20-%20Pacifico%20Sur.pdf>. [Último acceso Septiembre del 2015]

[10] NOAA, (2011, Julio). Descripción de Sistemas DART [Online]. Disponible en: <http://www.ndbc.noaa.gov/dart/dart.shtml> [Último acceso Septiembre del 2015]

[11] NOAA, (2009, Julio 18). Diagrama de Boyas DART [Online]. Disponible en: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:DART_II_System_Diagram.jpg [Último acceso Septiembre del 2015]

[12] NOAA, (2011, Julio). Mapa de Boyas DART [Online]. Disponible en: <http://www.ndbc.noaa.gov/dart.shtml> [Último acceso Septiembre del 2015]

[13] C.O.E cantonal de Prov. Esmeraldas, (2010). Plan de contingencia frente a tsunami [Online]. Disponible en:

http://www.preventionweb.net/files/34288_34276cartillaplandecontingenciafren.pdf
[Último acceso Septiembre del 2015]

[14] C.O.E cantonal Prov. Sta. Elena, (2010). Estudio de zonas de riesgo de identificación en la provincia de Santa Elena – Ecuador [Online]. Disponible en: repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/1713/1/139_ESTUDIO_DE_RIESGOS_2010%281%29.pdf [Último acceso Septiembre del 2015]

[15] M. Ioualalen, T. Monfret, N. Béthoux, M. Chlieh, G. Ponce Adams, J.-Y. Collot, C. Martillo Bustamante, K. Chunga, E. Navarrete, (2014). Tsunami mapping in the Gulf of Guayaquil, Ecuador, due to local seismicity [Online]. Disponible en: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0CCoQFjABahUKEwiS7-KDkMbHAhWlQ5AKHUfhBkQ&url=http%3A%2F%2Fwww.equateur.ird.fr%2Fcontent%2Fdownload%2F84041%2F642864%2Fversion%2F2%2Ffile%2FPubli%2BMansour.pdf&ei=RV3dVdK4KoiHwQTHwpugBA&usg=AFQjCNH3iZkfJX60-iQoyGI4qfp_lz3aOg&cad=rja

[Último acceso Septiembre del 2015]

[16] El Universo, (28 de abril, 2015). Epicentro del sismo de 5,8 grados fue La Puntilla, confirmó el Instituto Geofísico [Online]. Disponible en: <http://www.eluniverso.com/noticias/2015/04/28/nota/4819646/sismo-58-grados-sesintio-esta-manana-guayas> [Último acceso Septiembre del 2015]

[17] MESEMAR, (2015). Sistema de Alerta Temprana de Tsunami [Online] Disponible en: <http://mesemar.com/wp-content/uploads/2015/01/Folleto-Tsunamis.pdf> , [Último acceso Septiembre del 2015]

[18] MESEMAR, (2015). Sistema de alerta temprana boya tsunámica [Online] Disponible en: http://mesemar.com/wp-content/uploads/2014/11/Boya-Tsunamica_sistema-de-alerta-temprana.pdf [Último acceso Septiembre del 2015]

[19] Blue Marble Geographics (2015). Software para Tramas GPS [Online]. Disponible en: http://www.bbc.co.uk/mundo/noticias/2014/08/140826_ciencia_cinturon_fuego_pacifico_zona_mas_sismica_mundo_lv [Último acceso Septiembre del 2015]

[20] NOAA (2005). Real-Time Deep-Ocean Tsunami Measuring, Monitoring and Reporting System: The NOAA DART II Description and Disclosure” [Online] Disponible en: http://www.ndbc.noaa.gov/dart/dart_ii_description_6_4_05.pdf [Último acceso Septiembre del 2015]

[21] Vocabulario de Radiocomunicaciones, Rec. UIT-R V.573-3,1990 [Online], Disponible en: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/v/R-REC-V.573-3-199006-S!!PDF-S.pdf . [Último acceso Septiembre del 2015]

[22] D. Roody, “Overview of Satellite Systems” en Satellite Communications, 4th ed, New York, McGraw-Hill, 2001, pp 1- 7.

[23] ARCOTEL, (2012). Plan Nacional de Frecuencias [Online]. Disponible en: http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/07/plan_nacional_frecuencias_2012.pdf [Último acceso Septiembre del 2015]

[24] Términos y definiciones relativos a radiocomunicaciones espaciales, Rec. UIT-R S.673-1, 2001 [Online]. Disponible en: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/s/R-REC-S.673-1-200106-S!!PDF-S.pdf . [Último acceso Septiembre del 2015]

[25] Utilización y ejemplos de sistemas de servicio móvil por satélite para operaciones de socorro en caso de catástrofes naturales y emergencias similares, Ginebra, Suiza (Versión Ingles), Reporte ITU-R M.2149-1, 2011 [Online]. Disponible en: https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-M.2149-1-2011-PDF-E.pdf . [Último acceso Septiembre del 2015]

[26] K. Maine, C. Devieux y P Swan (1995, Noviembre). Overview of Iridium Satellite Network en *Microelectronics Communications Technology Producing Quality Products Mobile and Portable Power Emerging Technologies*, ISBN, 1995, pp 7 – 9 [Online]. Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=485428>.. [Último acceso Septiembre del 2015]

[27] Sitio Web Globalstar, Disponible en: <http://www.globalstar.com> . [Último acceso Septiembre del 2015]

[28] Sitio web de Inmarsat, Disponible en: <http://www.inmarsat.com/> . [Último acceso Septiembre del 2015]

[29] Sitio Web Oficial SkyWave Disponible en: <http://www.skywave.com/> [Último acceso Septiembre del 2015]

[30] SkyWave, (2012). Manual de Operaciones Modem IDP Skywave, Guia de Hardware, [Online]. Disponible en: <http://www.pivotel.com.au/documents/IDP-600%20Series%20Hardware%20Guide.pdf> [Último acceso Septiembre del 2015]

[31] SkyWave, (2012). White Paper IP SCADA: Cerrar las brechas en los sistemas SCADA [Online]. Disponible en: http://www.skywave.com/styles/images/stories/whitepapers/whitepaper-ip_scada_filling_the_gaps_in_scada_systems_spa.pdf [Último acceso Septiembre del 2015]

[32] IEEE, (2006). Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs) [Online]. Disponible en: <http://profsite.um.ac.ir/~hyaghmae/ACN/WSNMAC1.pdf> [Último acceso Septiembre del 2015]

[33] National Instruments, (2008, Septiembre). Comunicación Serial Utilizando LabView con un Microcontrolador [Online]. Disponible en: www.ni.com/white-paper/7907/es/pdf [Último acceso Septiembre del 2015]

[34] E. Rusty H, Java Network Programming, 4th Edition, O' Reilly, United States of America, 2013 [Online]. Disponible en: infoman.teikav.edu.gr/~stpapad/JavaNetworkProgramming.pdf [Último acceso Septiembre del 2015]

[35] UCPR, (2009, Noviembre 9). Sockets [Online]. Disponible en: Fuente: <http://sistemas-distribuidos-ist-ucpr.wikispaces.com/7.1.1+SOCKETS> [Último acceso Septiembre del 2015]

[36] D. Roody, "Órbita Geoestacionaria" en Satellite Communications, 4th ed, New York, McGraw-Hill, 2001, pp 77- 85.

[37] D. Roody, "Enlace Espacial" en Satellite Communications, 4th ed, New York, McGraw-Hill, 2001, pp 351- 354.

[38] Agencia Pública de Noticias de Ecuador y Suramérica, (2013, Enero 24). Armada de Ecuador cambiará boya de alerta de tsunamis, deteriorada por mala acción de pescadores [Online]. Disponible en: <http://www.andes.info.ec/es/actualidad/armada-ecuador-cambiar%C3%A1-boya-alerta-tsunamis-deteriorada-mala-acci%C3%B3n-pescadores.html> [Último acceso Septiembre del 2015]

[39] Pierre Mars, (2010, Julio 1). Using a Small Solar Cell and a Supercapacitor in a Wireless Sensor [Online]. Disponible en: <http://www.sensormag.com/networking-communications/energy-harvesting/using-a-small-solar-cell-and-a-supercapacitor-a-wireless-sen-7310> [Último acceso Septiembre del 2015]

[40] Electronics-lab, (2013, Mayo 16). How to Charge a Super Capacitor with a Solar Panel [Online]. Disponible en: <http://www.electronics-lab.com/how-to-charge-a-super-capacitor-with-a-solar-panel/>

[Último acceso Septiembre del 2015]

[41] Amal Fahad, (2012). SOLARCAP: Super Capacitor Buffering of Solar Energy for Self-Sustainable Field Systems [Online]. Disponible en: <http://www.cs.rochester.edu/~kshen/papers/socc2012.pdf> [Último acceso Septiembre del 2015]

[42] HidroGroup, (2011). Compartimiento Hermético [Online]. Disponible en: www.hydrogroupplc.com. [Último acceso Septiembre del 2015]

[43] Alselectro, (2012, Diciembre 3).Xbee Series 1 [Online]. Disponible en: <https://alselectro.wordpress.com/tag/xbee-series-1/>. [Último acceso Septiembre del 2015]

[44] Telegrafia, (2010). Alerta temprana de Tsunamis y otros desastres naturales [Online]. Disponible en: http://www.telegrafia.eu/esp/Soluciones/alerta_publica/Pages/alerta_temprana_de_tsunamis_y_tornados.aspx [Último acceso Septiembre del 2015]

[45] Digi International, (2009, Septiembre 23). Datasheet Modulos Xbee/Xbee-Pro [Online]. Disponible en: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Wireless/Zigbee/XBee-Datasheet.pdf>. [Último acceso Septiembre del 2015]

[46] Arduino, (2009). Datasheet Arduino [Online]. Disponible en: <http://datasheet.octopart.com/A000066-Arduino-datasheet-38879526.pdf> [Último acceso Septiembre del 2015]

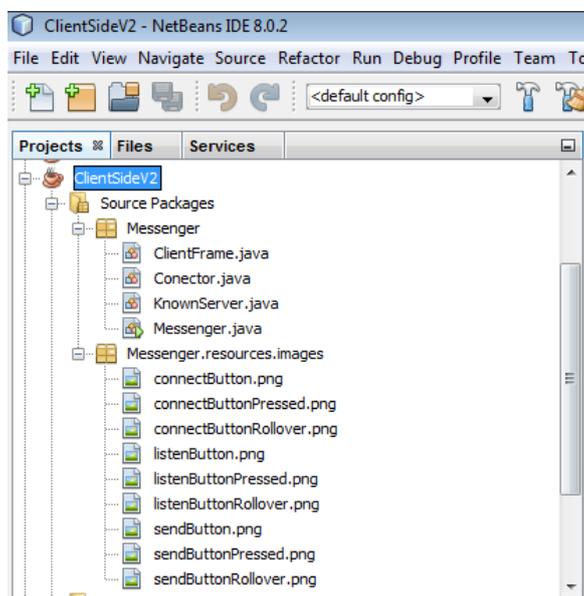
[47] National Instruments, (2015). Presupuesto LabView [Online]. Disponible en: <http://www.ni.com/LabView/buy/esa/> [Último acceso Septiembre del 2015]

ANEXOS

ANEXO 1: CODIGO FUENTE PROGRAMA APLICACIÓN CLIENTE Y APLICACIÓN SERVIDOR

APLICACIÓN CLIENTE

Los archivos java class deberán ser guardados con los siguientes nombres al igual que los recursos para diseñar la interfaz gráfica.



Código Java Class Conector

```
package Messenger;
import java.net.*;
import java.io.*;
```

```
public class Conector extends Thread{//Iniciacion de variables de la clase
    private Socket s=null;
    private ClientFrame clientFrame = null;
    private DataOutputStream outputStream;
    private BufferedReader bufferedReader;
    //Adquisición del socket del main Messenger
    public Conector(Socket s, ClientFrame clientFrame){
        this.s=s; //y de la interfaz Gráfica clientFrame
        this.clientFrame = clientFrame;
```

```

        try{
            bufferedReader=new BufferedReader(new
InputStreamReader(s.getInputStream()));
        }
        catch(Exception e1){
        }
    }

@Override
public void run(){//Metodo de Enrutamiento
    String texto;// Aldair Alarcón Rubio
    while (true){
        try{
            texto=bufferedReader.readLine();
            System.out.println(texto);
            clientFrame.setOutputTextArea(texto);

            if(Messenger.flag){
                if(texto.toCharArray()[0]=='$'){
                    Messenger.connectionThread2.enviarMsg("\n"+texto);//Si se
implementa
                    Messenger.connectionThread3.enviarMsg("\n"+"$");// se debe quitar \n
                }
            }
            catch(IOException e){
            }
        }
    }

    public void enviarMsg(String msg) // Metodo para enviar mensajes al presionar
Send!
    {
        try {
            this.outputStream=new DataOutputStream(s.getOutputStream());
            this.outputStream.writeUTF(msg + "\n");
        }
        catch(IOException e){
        }
    }
}

```

Código Client Frame Java Class// Este código corresponde al diseño de la interfaz gráfica

```
package Messenger;

import javax.swing.*;
import java.awt.BorderLayout;
import java.awt.Color;
import java.awt.GridLayout;
import java.awt.event.ItemEvent;
import java.awt.event.ItemListener;
import java.util.ArrayList;
import java.awt.Container;
import java.awt.Dimension;
import java.awt.event.ActionEvent;
import java.awt.event.ActionListener;

public class ClientFrame extends JFrame{

    ArrayList<KnownServer> knownServers;

    //Icons
    private Icon sendIcon;
    private Icon sendRolloverIcon;
    private Icon sendPressedIcon;

    private Icon connectIcon;
    private Icon connectRolloverIcon;
    private Icon connectPressedIcon;

    //panels
    private JPanel upperPanel;
    private JScrollPane centerScrollPane;
    //private JPanel rightPanel;
    //private JPanel rightPanelWrapper;
    private JPanel centerPanel;
    private JPanel destinationPanel;
    private JPanel lowerPanel;
    private Container contentPane;
    //upperPanel
    private JLabel nameLabel;
    private JTextField nameTextField;

    private JLabel blankSpace;
    private JLabel serverLabel;
    private JLabel inetAddressLabel;
    private JLabel portLabel;
```

```

private JComboBox serverComboBox;
private JTextField inetTextField;
private JTextField portTextField;
private JButton connectButton;
//leftPanel
private JTextArea outputTextArea;
//    //rightPanel
//    private JLabel startNodeLabel;
//    private JLabel endNodesLabel;
//    private JComboBox<String> startNodeComboBox;
//    private JList<String> endNodesList;
//lowerPanel

private JLabel destinationLabel;
private JComboBox destinationComboBox;
private JCheckBox setTransmissionCheckBox;

private JTextField inputTextField;
private JButton sendButton;

//Metodo para diseñar la interfaz gráfica
public ClientFrame(ArrayList<KnownServer> knownServers){
    super("ClientGUI");

    this.knownServers = knownServers;
    //icons
    sendIcon = new
    ImageIcon(getClass().getResource("resources/images/sendButton.png"));
    sendRolloverIcon = new
    ImageIcon(getClass().getResource("resources/images/sendButtonRollover.png"));
    sendPressedIcon = new
    ImageIcon(getClass().getResource("resources/images/sendButtonPressed.png"));

    connectIcon = new
    ImageIcon(getClass().getResource("resources/images/connectButton.png"));
    connectRolloverIcon = new
    ImageIcon(getClass().getResource("resources/images/connectButtonRollover.png"));
    ;
    connectPressedIcon = new
    ImageIcon(getClass().getResource("resources/images/connectButtonPressed.png"));
    ;
    //panels
    upperPanel = new JPanel(new GridLayout(2,5,10,0));

    //
    rightPanel = new JPanel(new GridLayout(2,2,10,0));
    //
    rightPanelWrapper = new JPanel(new BorderLayout());

```

```

//          centerPanel = new JPanel (new GridLayout(1,2,10,10));
destinationPanel = new JPanel(new GridLayout(1,2,10,0));
centerPanel = new JPanel (new GridLayout(1,1,10,10));
lowerPanel = new JPanel(new GridLayout(2,2,10,10));

//upperPanel
nameLabel = new JLabel("Name: ");
nameLabel.setHorizontalAlignment(SwingConstants.CENTER);
serverLabel = new JLabel("Server:");
inetAddressLabel = new JLabel("Inet address:");
portLabel = new JLabel("Port:");
blankSpace = new JLabel();
blankSpace.setVisible(false);
upperPanel.add(nameLabel);
upperPanel.add(serverLabel);
upperPanel.add(inetAddressLabel);
upperPanel.add(portLabel);
upperPanel.add(blankSpace);

nameTextField = new JTextField("Client - ");
serverComboBox = new JComboBox<String>();
serverComboBox.addItem("Select a server:");
this.addKnownServers(this.serverComboBox, knownServers);
serverComboBox.addItemListener(new ItemHandler());
inetTextField = new JTextField();
portTextField = new JTextField();

connectButton = new JButton();
connectButton.setIcon(connectIcon);
connectButton.setRolloverIcon(connectRolloverIcon);
connectButton.setPressedIcon(connectPressedIcon);
connectButton.setBorderPainted(false);
connectButton.setFocusPainted(false);
connectButton.setBackground(new Color(21,21,21));
connectButton.addActionListener(new ConnectButtonHandler());

upperPanel.add(nameTextField);
upperPanel.add(serverComboBox);
upperPanel.add(inetTextField);
upperPanel.add(portTextField);
upperPanel.add(connectButton);

//leftPanel
outputTextArea = new JTextArea();
centerScrollPane = new JScrollPane(outputTextArea);

centerScrollPane.setVerticalScrollBarPolicy(JScrollPane.VERTICAL_SCROLLBAR_
ALWAYS);

```

```

centerScrollPane.setHorizontalScrollBarPolicy(JScrollPane.HORIZONTAL_SCROLL
BAR_ALWAYS);

//          //rightPanel
//          startNodeLabel = new JLabel("Start node:");
//          endNodesLabel = new JLabel("End node(s):");
//          startNodeComboBox = new JComboBox<String>();
//          endNodesList = new JList<String>();
//          rightPanel.add(startNodeLabel);
//          rightPanel.add(endNodesLabel);
//          rightPanel.add(startNodeComboBox);
//          rightPanel.add(endNodesList);
//          rightPanelWrapper.add(rightPanel, BorderLayout.NORTH);

//centerPanel
centerPanel.add(centerScrollPane);
//          centerPanel.add(rightPanelWrapper);

//lowerPanel

destinationLabel = new JLabel("Destination: ");
destinationLabel.setHorizontalAlignment(SwingConstants.CENTER);
destinationComboBox = new JComboBox();
this.addKnownServers(destinationComboBox, knownServers);
destinationPanel.add(destinationLabel);
destinationPanel.add(destinationComboBox);

setTransmissionCheckBox = new JCheckBox("Set Transmission");
setTransmissionCheckBox.addActionListener(new
SetTransmissionCheckBoxHandler());
inputTextField = new JTextField();
sendButton = new JButton();
sendButton.setIcon(sendIcon);
sendButton.setRolloverIcon(sendRolloverIcon);
sendButton.setPressedIcon(sendPressedIcon);
sendButton.setBorderPainted(false);
sendButton.setFocusPainted(false);
sendButton.setBackground(new Color(21,21,21));
sendButton.addActionListener(new SendButtonHandler());

lowerPanel.add(inputTextField);
lowerPanel.add(destinationPanel);
lowerPanel.add(setTransmissionCheckBox);
lowerPanel.add(sendButton);

//contentPane

```

```

        contentPane = getContentPane();
        contentPane.setLayout(new BorderLayout());
        contentPane.add(upperPanel, BorderLayout.NORTH);
        contentPane.add(centerPanel, BorderLayout.CENTER);
        contentPane.add(lowerPanel, BorderLayout.SOUTH);

        this.setSize(750, 450);
        this.setMinimumSize(new Dimension(750,450));
    }
    //Metodo para adherir Servidores guardados para simulacion
    private void addKnownServers(JComboBox jComboBox, ArrayList
knownServers){
        KnownServer server = null;
        for(Object item : knownServers){
            server = (KnownServer)item;
            jComboBox.addItem(server.getName());
        }
    }
    // Método para obtener al nombre de los servidores
    private KnownServer getServerByName(ArrayList knownServers, String
serverName){
        KnownServer server = null;
        KnownServer serverToReturn = null;
        for(Object item : knownServers){
            server = (KnownServer)item;
            if(server.getName().equals(serverName)){
                serverToReturn = server;
            }
        }
        return serverToReturn;
    }

    private class ItemHandler implements ItemListener{
        KnownServer server = null;
        @Override
        public void itemStateChanged(ItemEvent event) {
            if(event.getStateChange() == ItemEvent.SELECTED){
                server = getServerByName(ClientFrame.this.knownServers,
serverComboBox.getSelectedItem().toString());
                if(server != null){
                    inetTextField.setText(server.getIpAddress());
                    portTextField.setText(server.getPort());
                }
            }
            else{
                inetTextField.setText("");
                portTextField.setText("");
            }
        }
    }

```

```

    }

}

// Método para iniciar conexión con el botón Connect!
private class ConnectButtonHandler implements ActionListener{

    @Override
    public void actionPerformed(ActionEvent e) {

Messenger.initServer(inetTextField.getText(), Integer.parseInt(portTextField.getText()
));
    }

}

// Método para enviar mensaje hace a cada dirección IP conectada
private class SendButtonHandler implements ActionListener{

    @Override
    public void actionPerformed(ActionEvent e) {
        switch(destinationComboBox.getSelectedItem().toString()){
            case "Server 1":
                Messenger.connectionThread1.enviarMsg(nameTextField.getText()+
dice a S1: "+
                inputTextField.getText());
                // fin de envío de secuencias de escape ESC/POS
                outputTextArea.setText(outputTextArea.getText()+"\n" +
nameTextField.getText()+ " dice a S1: " +
                inputTextField.getText());
                break;
            case "Server 2":
                Messenger.connectionThread2.enviarMsg(nameTextField.getText()+
dice a S2: "+
                inputTextField.getText());
                outputTextArea.setText(outputTextArea.getText()+"\n" +
nameTextField.getText()+ " dice a S2: " +
                inputTextField.getText());
                break;
            case "Server 3":
                Messenger.connectionThread3.enviarMsg(nameTextField.getText()+
dice a S3: "+
                inputTextField.getText());
                outputTextArea.setText(outputTextArea.getText()+"\n" +
nameTextField.getText()+ " dice a S3: " +
                inputTextField.getText());
                break;

            default:

```

```
        System.out.println("Server not found.");
    } }

}
// CheckBox Set Transmission para enrutar mensajes entre terminales
private class SetTransmissionCheckBoxHandler implements ActionListener{

    @Override
    public void actionPerformed(ActionEvent e) {
        Messenger.flag = setTransmissionCheckBox.isSelected();
    }

}
// Metodo para imprimir en la interfaz gráfica
public void setOutputTextArea(String text){
    this.outputTextArea.setText(outputTextArea.getText()+"\n"+text);
}
}
```

Codigo KnownServer Java Class// Para almacenar IP

```
package Messenger;

public class KnownServer {
    private String inetAddress;
    private String name;
    private String port;

    public KnownServer(String name, String inetAddress, String port){
        this.name = name;
        this.inetAddress = inetAddress;
        this.port = port;
    }

    public String getInetAddress() {
        return inetAddress;
    }

    public String getName() {
        return name;
    }

    public String getPort() {
        return port;
    }
}
```

Codigo Main Java Class// Para Iniciar todas las variables publicas

```
package Messenger;

import java.net.*;
import java.util.ArrayList;
import javax.swing.JFrame;

/**
 *
 * @author Aldair Alarcón Rubio
 */
public class Messenger {

    public static Socket ss= null;
    public static Socket s2=null;
    public static Socket s3=null;
    public static Conector connectionThread1;
    public static Conector connectionThread2;
    public static Conector connectionThread3;
    public static boolean flag = false;
    public static ClientFrame clientFrame;
    public static void main(String [] args) {

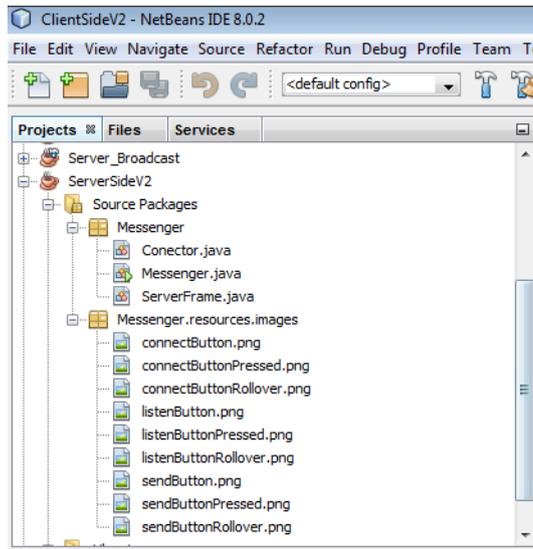
        ArrayList<KnownServer> knownServers = new ArrayList<>();
        knownServers.add(new KnownServer("Server 1", "localhost", "8000"));
        knownServers.add(new KnownServer("Server 2", "localhost", "8001"));
        knownServers.add(new KnownServer("Server 3", "localhost", "8002"));
        String[] ports = {"8000","8001","8002"};
        clientFrame = new ClientFrame(knownServers);
        clientFrame.setDefaultCloseOperation(JFrame.EXIT_ON_CLOSE);
        clientFrame.setLocationRelativeTo(null);
        clientFrame.setVisible(true);
    }

    public static void initServer(String ip,int port){
        try{
            if(port==8000){
                ss=new Socket(ip,port);
                connectionThread1= new Conector(ss, clientFrame);
                connectionThread1.start();
            }
            if(port==8001){
                s2=new Socket(ip,port);
                connectionThread2= new Conector(s2, clientFrame);
                connectionThread2.start();
            }
        }
    }
}
```

```
    }  
    if(port==8002){  
        s3=new Socket(ip,port);  
        connectionThread3= new Conector(s3, clientFrame);  
        connectionThread3.start();  
    }  
  
    }  
    catch(Exception e){};  
    }  
}
```

APLICACIÓN SERVIDOR

Los archivos java class deberán ser guardados con los siguientes nombres al igual que los recursos para diseñar la interfaz gráfica.



Conector java class:

```
package Messenger;
```

```
import java.net.*;  
import java.io.*;  
import Messenger.Messenger;
```

```
public class Conector extends Thread
```

```
{
```

```
    private Socket s=null;  
    private ServerFrame serverFrame;  
    private InputStreamReader entradaSocket;  
    private DataOutputStream salida;  
    private BufferedReader entrada;  
    final int puerto=8000;
```

```
// Recibir Socket y interfaz gráfica del main Messenger  
    public Conector (Socket s, ServerFrame serverFrame)  
    {  
        super("Conector");
```

```

        this.serverFrame = serverFrame;
        this.s=s;
    try {
        entradaSocket=new InputStreamReader(s.getInputStream());
        entrada=new BufferedReader(entradaSocket);
        salida=new DataOutputStream(s.getOutputStream());
        this.salida.writeUTF("Conexión establecida exitosamente.\n");
    }
    catch(IOException e){
    }

}

// Método run para objeto de simulacion

public void run(){
    String texto;
    while (true){
        try{
            texto=this.entrada.readLine();
            if(texto.toCharArray()[0]=='$')
                serverFrame.setOutputTextArea("\n" + texto);

        }
        catch(IOException e){
        }

    }

}

public void enviarMsg(String msg){
    try {
        this.salida.writeUTF(msg + "\n");
    }
    catch(IOException e){}
}
}

```

Clase Java Main: Messenger

```
/*
 * To change this license header, choose License Headers in Project Properties.
 * To change this template file, choose Tools | Templates
 * and open the template in the editor.
 */
package Messenger;

import java.net.*;
import javax.swing.JFrame;

/**
 *
 * @author Aldair Alarcón
 */
public class Messenger {

    public static ServerSocket ss= null;
    public static Conector Servidor;
    public static int i=0;
    static ServerFrame sframe;
    public static void main(String [] args) {

//        ventanaServidor server= new ventanaServidor();
//        server.main();
        String[] ports = {"8000", "8001", "8002"};
        sframe = new ServerFrame(ports);
        sframe.setDefaultCloseOperation(JFrame.EXIT_ON_CLOSE);
        sframe.setLocationRelativeTo(null);
        sframe.setVisible(true);

    }
    public static void initserver (int m)
    {

        try{
            ss=new ServerSocket(m);
            Servidor= new Conector(ss.accept(), sframe);
            Servidor.start();
        }catch(Exception e1){}
    }
}
```

Codigo interfaz gráfica: ServerFrame java class

```
package Messenger;

import javax.swing.*;
import java.awt.BorderLayout;
import java.awt.Color;
import java.awt.GridLayout;
import java.awt.event.ItemEvent;
import java.awt.event.ItemListener;
import java.awt.Container;
import java.awt.Dimension;
import java.awt.event.ActionEvent;
import java.awt.event.ActionListener;

public class ServerFrame extends JFrame{
    //Icons
    private Icon sendIcon;
    private Icon sendRolloverIcon;
    private Icon sendPressedIcon;

    private Icon listenIcon;
    private Icon listenRolloverIcon;
    private Icon listenPressedIcon;

    //panels
    private JPanel upperPanel;
    private JScrollPane centerScrollPane;
    private JPanel lowerPanel;
    private Container contentPane;
    //upperPanel
    private JLabel nameLabel;
    private JTextField nameTextField;
    private JLabel portLabel;
    private JComboBox<String> portComboBox;
    private JTextField portTextField;
    private JButton listenButton;
    //centerPanel
    private JTextArea outputTextArea;
    //lowerPanel
    private JTextField inputTextField;
    private JButton sendButton;

    public ServerFrame(String[] ports){
        super("ServerGUI");
        //icons
        listenIcon = new
        ImageIcon(getClass().getResource("resources/images/listenButton.png"));
```

```

        listenRolloverIcon = new
        ImageIcon(getClass().getResource("resources/images/listenButtonRollover.png"));
        listenPressedIcon = new
        ImageIcon(getClass().getResource("resources/images/listenButtonPressed.png"));
        sendIcon = new
        ImageIcon(getClass().getResource("resources/images/sendButton.png"));
        sendRolloverIcon = new
        ImageIcon(getClass().getResource("resources/images/sendButtonRollover.png"));
        sendPressedIcon = new
        ImageIcon(getClass().getResource("resources/images/sendButtonPressed.png"));
        //panels
        upperPanel = new JPanel(new GridLayout(1,4,10,10));

        lowerPanel = new JPanel(new GridLayout(1,2,10,10));
        //upperPanel
        nameLabel = new JLabel("Name: ");
        nameLabel.setHorizontalAlignment(SwingConstants.CENTER);
        nameTextField = new JTextField("Server - ");
        portLabel = new JLabel("Port: ");
        portLabel.setHorizontalAlignment(SwingConstants.CENTER);
        portComboBox = new JComboBox<String>();
        portComboBox.addItem("Select a port:");
        this.addPorts(ports);
        portComboBox.addItemListener(new ItemHandler());
        portTextField = new JTextField();
        listenButton = new JButton();

        listenButton.setIcon(listenIcon);
        listenButton.setRolloverIcon(listenRolloverIcon);
        listenButton.setPressedIcon(listenPressedIcon);
        listenButton.setBorderPainted(false);
        listenButton.setFocusPainted(false);
        listenButton.setBackground(new Color(21,21,21));
        listenButton.addActionListener(new listenButtonHandler());

        upperPanel.add(nameLabel);
        upperPanel.add(nameTextField);
        upperPanel.add(portComboBox);
        upperPanel.add(portLabel);
        upperPanel.add(portTextField);
        upperPanel.add(listenButton);
        //centerPanel
        outputTextArea = new JTextArea();
        centerScrollPane = new JScrollPane(outputTextArea);

        centerScrollPane.setVerticalScrollBarPolicy(JScrollPane.VERTICAL_SCROLLBAR_
        ALWAYS);

```

```

centerScrollPane.setHorizontalScrollBarPolicy(JScrollPane.HORIZONTAL_SCROLL
BAR_ALWAYS);
    //lowerPanel

    inputTextField = new JTextField();
    sendButton = new JButton();
    sendButton.setIcon(sendIcon);
    sendButton.setRolloverIcon(sendRolloverIcon);
    sendButton.setPressedIcon(sendPressedIcon);
    sendButton.setBorderPainted(false);
    sendButton.setFocusPainted(false);
    sendButton.setBackground(new Color(21,21,21));
    sendButton.addActionListener(new sendButtonHandler());
    lowerPanel.add(inputTextField);
    lowerPanel.add(sendButton);
    //contentPane
    contentPane = getContentPane();
    contentPane.setLayout(new BorderLayout());
    contentPane.add(upperPanel, BorderLayout.NORTH);
    contentPane.add(centerScrollPane, BorderLayout.CENTER);
    contentPane.add(lowerPanel, BorderLayout.SOUTH);

    this.setSize(750, 300);
    this.setMinimumSize(new Dimension(750,300));
}

private class ItemHandler implements ItemListener{
    @Override
    public void itemStateChanged(ItemEvent event) {
        System.out.println(event.getClass());
        System.out.println("Hello");

        if(event.getStateChange() == ItemEvent.SELECTED){
            if(!portComboBox.getSelectedItem().toString().equals("Select a
port:")){
portTextField.setText(portComboBox.getSelectedItem().toString());
            }
            else{
                portTextField.setText("");
            }
        }
    }
}

private class listenButtonHandler implements ActionListener{

```

```

        @Override
        public void actionPerformed(ActionEvent e) {
            Messenger.initserver(Integer.parseInt(portTextField.getText()));
        }
    }
    private class sendButtonHandler implements ActionListener{
        @Override
        public void actionPerformed(ActionEvent e) {
            Messenger.Servidor.enviarMsg(nameTextField.getText() + " dice: \n" +
inputTextField.getText());
            outputTextArea.setText(outputTextArea.getText() + "\n" +
nameTextField.getText() + " dice: " + inputTextField.getText());
        }
    }

    private void addPorts(String[] ports){
        for(String port : ports){
            portComboBox.addItem(port);
        }
    }

    public void setUpButton(JButton button, Icon icon, Icon rollover, Icon pressed){
        button.setFocusPainted(false);
        button.setBorderPainted(false);
        button.setIcon(icon);
        button.setRolloverIcon(rollover);
        button.setPressedIcon(pressed);
    }

    public void setOutputTextArea(String text){
        outputTextArea.setText(outputTextArea.getText() + text);
    }
}

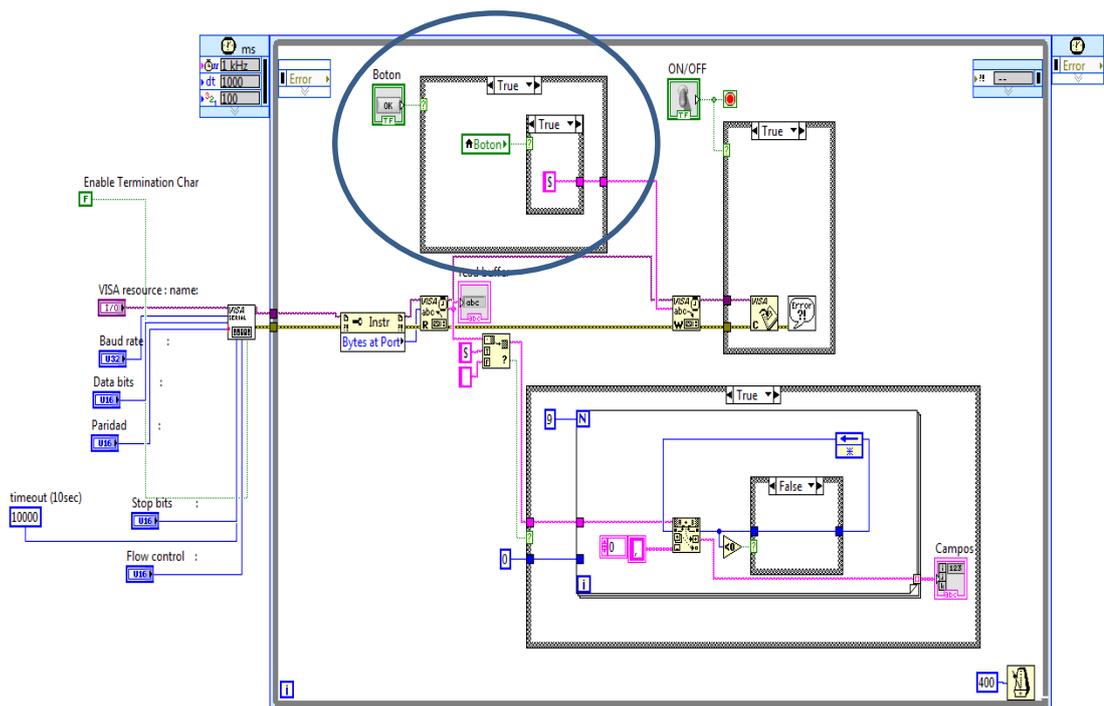
```

ANEXO 2: PRUEBA DE DECODIFICACIÓN DE TRAMAS QUE SE ENVÍAN DESDE UNA PLATAFORMA ARDUINO

Para esta experimentación se modifica el VI diseñado en el proyecto integrador para poder enviar un carácter '\$' por el puerto serial a la plataforma Arduino. De esta forma la plataforma Arduino detectará el carácter y enviará la trama de tsunami de 33 bytes. En este caso se enviará desde el Arduino la trama:

\$AB,27,05,15,00,00,00,0099ABCD,EF

El Vi modificado se presenta en la siguiente figura. La circunferencia muestra la parte modificada:



El código de la plataforma Arduino será:

```
char input;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  // put your setup code here, to run once:
}

void loop() {

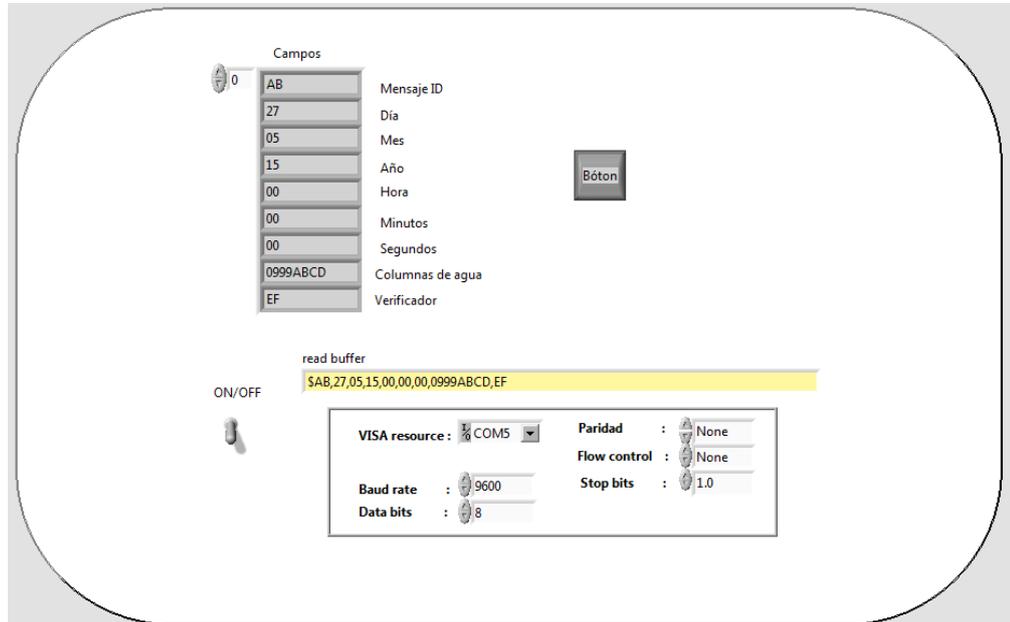
  if(Serial.available()>0) {

    input=Serial.read();
    if(input=='$')
    {
      Serial.print("$");
      Serial.print("AB,27,05,15,00,00,00,0999ABCD,EF");
    }

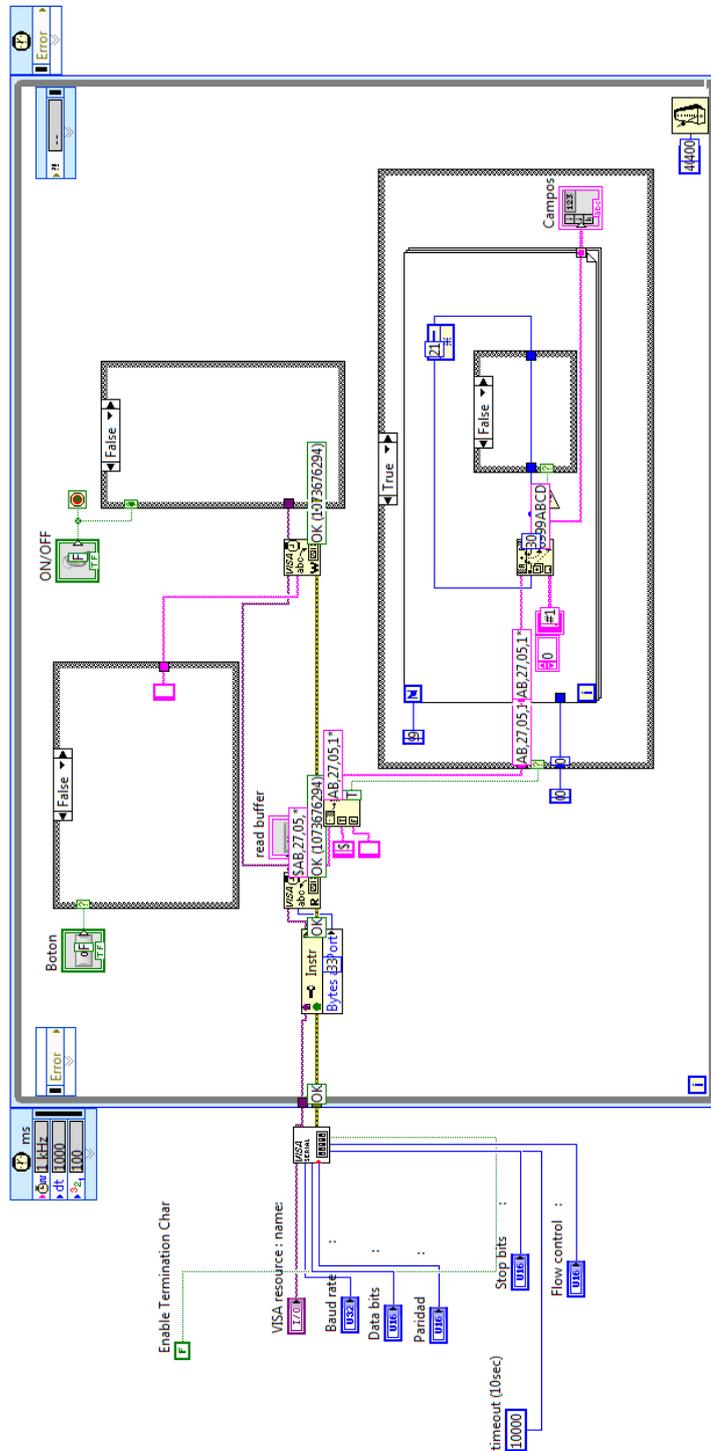
  }

}
```

En el panel frontal al presionar botón se obtiene la trama y su decodificación:



Al correr el VI en simulación continua y ejecución HighLight se obtiene la trama de 33 bytes en el bloque Bytes in a port



ANEXO 3: PRUEBAS DE LABORATORIO DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA XBEE PARA ENVIAR UNA TRAMA DE TSUNAMI

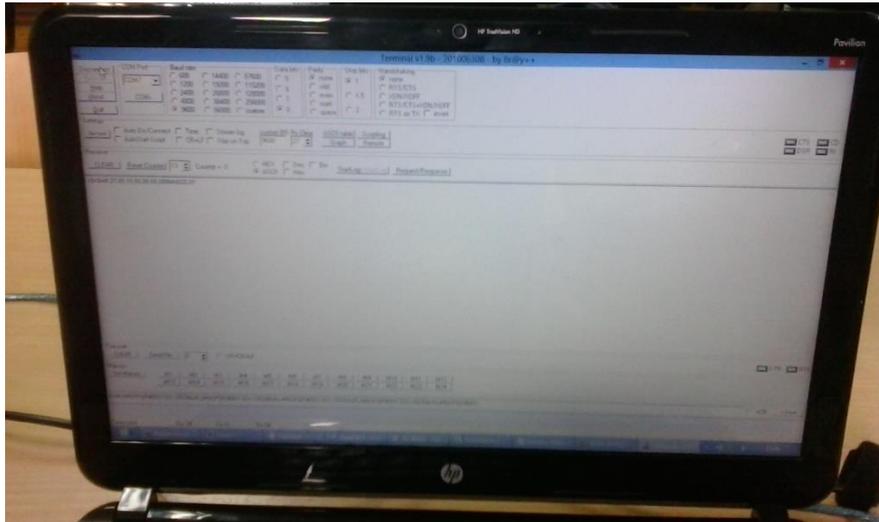
Plataforma Transmisora FPGA



Plataforma Receptora FPGA



Recepción de trama de la Plataforma transmisora.



ANEXO 4: ABREVIATURAS

Ah: Amperio- Hora

ASCII: (acrónimo inglés de American Standard Code for Information Interchange - Código Estándar Estadounidense para el Intercambio de Información)

BGAN: Broadband Global Area Network.

BPR: Bottom Pressure Recorder

Bps: Bits por segundo

C.O.E: Centro de Operaciones de Emergencia

DART: Deep-ocean Assessment and Reporting of Tsunami

DC: Corriente Continua

DC-DC: Dispositivo que cambian la magnitud de una corriente continua

Dst: Destino

EWS: Easy Warning System

FDMA: Frequency Division Multiple Access

GEO Geostacionary Earth Orbit

Ghz: Gigahertz

GLONASS: Sistema Global de Navegación por satélite.

GMDSS: Global Maritime Distress Safety System

GPRS: General Packet Radio Service

GPS: Global Position Satelital

IDP 600: Isat Data Pro 600

IP: Internet Protocol

ISL: Enlaces entre satélites.

LED: light-emitting diode

LEO: Low Earth Orbit

LUA: Lenguaje de programación

M2M: Machine to Machine

MEO Middle Earth Orbit,

MHz: MegaHertz

MOSFET: Transistor de efecto de campo metal-óxido-semiconductor

MSS: Mobile Satellite System

NDBC: National Data Buoy Center

NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration

OQPSK: Offset Quadrature Phase Shift Keying

PTWC: Pacific Tsunami Warning Center

PWM: Pulse Wide Modulation

QPSK: Quadrature Phase Shift Keying

RS232: Norma estándar de la comunicación serial

RS485: Norma de comunicación serial para altas velocidades

Rx: Recepción

SMS: Short Message Services

Src: Source (fuente)

TCP/IP: Transfer Control Protocolo para Internet Protocol

TDM: Time Division Multiplexer

TDMA: Time división multiplexer Acces

TWS: Tsunami Warning System

Tx: Transmisión

UIT: Unión Internacional de Telecomunicaciones

VPN: Virtual Private Network

WEB: World Wide web

WPAN: Wireless Personal Area Network