



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL  
LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Electricidad y  
Computación**

“DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA  
DE TSUNAMIS PARA LAS ZONAS SENSIBLES DE LA REGIÓN  
COSTANERA DEL CANTÓN ESMERALDAS”

**INFORME DE PROYECTO INTEGRADOR**

**Previa a la obtención del título de:**

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES**

ULISES GABRIEL PAÑORA REYNA

ALEJANDRO GABRIEL RAMÍREZ JIMÉNEZ

Guayaquil – Ecuador

2015

## **AGRADECIMIENTOS**

A las entidades públicas y privadas, como capitanías del Puerto de Esmeraldas, Armada del Ecuador, Inocar, Envirtech y otras entidades Internacionales, que de manera desinteresada apoyaron a la realización de este proyecto. De la misma manera al personal docente de la Escuela Superior Politécnica del Litoral, por la constante búsqueda de la excelencia profesional y humana de cada uno de nosotros.

## DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a toda mi familia en especial a mi padre Carlos Pañora, mi madre Josefina Reyna, y a mi hermano David Pañora, por ser el complemento ideal a lo largo de toda mi vida. También una mención muy especial mi abuelito (+) José Pañora, que donde quiera que esté siempre nos estará cuidando.

A mis amigos citando lo que dijo una vez Gustavo Cerati: *“No hubiéramos sido nada sin ustedes y toda la gente que estuvo con nosotros desde el comienzo, gracias totales”*.

Ulises Gabriel Pañora Reyna

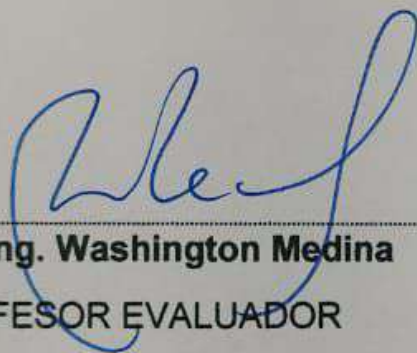
Para los maravillosos padres que Dios coloco en mi vida: El Sr. Abg. Alejandro Ramírez y la Sra. Eva Jiménez, quienes me han acompañado en cada una de las batallas durante mi formación personal y profesional, brindándome cada uno de sus sabios consejos y apoyo incondicional. Para mis hermanos Paúl Ramírez y Alexandra Ramírez, que de una u otra manera siempre estaban ahí dándome ese apoyo incondicional y ánimos para seguir adelante antes las adversidades que se presentan en la vida. Para mis dos sobrinos y sobrina, fuente infinita de felicidad con cada sonrisa y pequeño detalle que de ellos recibo.

Recordando lo que dijo el Papa Francisco: *“Tener un lugar a donde ir, se llama Hogar. Tener personas a quien amar, se llama Familia, y tener ambas se llama bendición”*

Para aquellos amigos que he conocido durante el transcurso de mi formación, que ni el pasar borrara estos lazos de amistad y gratos recuerdos compartidos con ellos, los cuales los llevaré conmigo siempre.

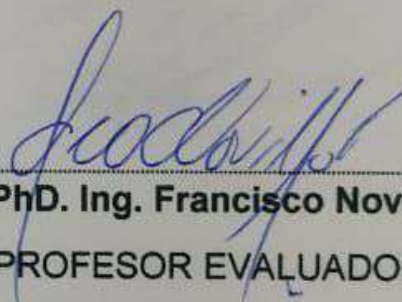
Alejandro Gabriel Ramírez Jiménez.

## TRIBUNAL DE EVALUACIÓN



---

**Mag. Ing. Washington Medina**  
PROFESOR EVALUADOR



---

**PhD. Ing. Francisco Novillo**  
PROFESOR EVALUADOR

## DECLARACIÓN EXPRESA

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

Ulises Gabriel Pañora Reyna

Alejandro Gabriel Ramírez Jiménez

## RESUMEN

En el trabajo realizado se diseñó y elaboró la simulación de un sistema de Alerta Temprana (SAT) de Tsunami para la región costanera del cantón Esmeraldas; un SAT consta de un enlace satelital de subida entre un transductor marino en alta mar hacia un satélite y un enlace satelital de bajada desde el satélite hasta el servidor desde donde se realiza la administración nacional e internacional; para esto se utilizó tres potenciómetros, cada uno de ellos representaba un sensor como: tsunamómetro, sismógrafo y mareógrafo, estos sensores estaban conectados mediante conexión serial hacia un computador que mediante un Vi elaborado en Labview, llamado sensores a Data Center, se observó los datos adquiridos de los sensores en el primer computador, luego estos datos eran enviados usando protocolo TCP/IP desde un computador hacia otro, ambos ordenadores estuvieron conectados a una misma red brindada por un celular (usado como router). Para poder establecer conexión se tuvo que haber establecido previamente el número de puerto y dirección IP para que exista comunicación entre cliente y servidor. Cuando los datos fueron recibidos en el centro de monitoreo (segundo computador), el personal encargado procedía a realizar la activación de la alerta cuando se presentaba alguna anomalía; esta señal de activación salía desde el computador de la estación de trabajo hacia el módulo maestro, el mismo que procedía a enviar un SMS usando el módulo escudo shield GSM. Este SMS era recibido por un celular (representaba el número celular de alguna autoridad) alertando sobre el evento y por dos módulos los cuales actuaban como receptores para realizar la activar la sirena.

Las tecnologías aplicadas para estudio de los océanos son de gran importancia, debido a la presencia de los fenómenos naturales como los tsunamis, tormentas, maremotos, huracanes, etc. Estos sistemas de alerta nos ayuda al monitoreo en tiempo real de posibles catástrofes, para de esta manera salvaguardar vidas.

Diseñar un sistema con estas características, es contribuir con el cambio de la matriz productiva que el gobierno ecuatoriano está impulsando mediante el uso de las TICS (Tecnología de la Información y Comunicación).

## ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	ii
DEDICATORIA .....	iii
TRIBUNAL DE EVALUACIÓN .....	iv
DECLARACIÓN EXPRESA .....	v
RESUMEN.....	vi
ÍNDICE GENERAL .....	vii
CAPÍTULO 1.....	1
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.2 Antecedentes .....	2
1.3 Formulación de la solución.....	3
1.4 Limitaciones .....	4
1.5 Justificación .....	4
1.6 Objetivo General .....	5
1.7 Objetivos Específicos.....	5
1.8 Metodología .....	5
CAPÍTULO 2.....	7
2 Información Técnica .....	7
2.1 Teoría de Tsunamis .....	7
2.1.1 Generación .....	7
2.1.2 Propagación de Tsunamis.....	8
2.1.3 Inundación .....	11
2.2 Sistema de alerta temprana .....	13
2.2.1 Sistema de detección y red de sensores para Tsunami .....	13
2.2.2 Sismógrafo.....	14
2.2.3 Mareógrafo.....	15
2.2.3.1 Mareógrafo Flotador .....	17

2.2.3.2	Mareógrafo Sistema de Presión .....	18
2.2.3.3	Mareógrafo Acústico.....	19
2.2.3.4	Mareógrafo sistema de Radar .....	20
2.2.4	Sistema Tsunamómetro .....	21
2.2.4.1	Módulo Submarino .....	22
2.2.4.2	Boya Superficial.....	23
2.3	Sistema de Telecomunicaciones.....	26
2.3.1	Modulación de Onda continua.....	27
2.3.2	Modulación Digital.....	29
2.3.2.1	ASK Modulación por desplazamiento de Amplitud .....	29
2.3.2.2	FSK Modulación por desplazamiento de frecuencia.....	30
2.3.3	Sistema de Comunicación Celular .....	31
2.3.3.1	Sistema GSM .....	31
2.3.4	Comunicaciones Acústicas Submarinas.....	32
2.3.4.1	Conductividad del Agua.....	33
2.3.4.2	Atenuación .....	33
2.3.4.3	Ruido.....	35
2.3.4.4	Propagación Multicamino .....	36
2.3.5	Comunicaciones Satelitales .....	38
2.3.5.1	Satélite Artificial.....	38
2.3.5.2	Servicios Satelitales .....	39
2.3.5.3	Asignación de Frecuencias.....	39
2.3.5.4	Transmisión Digital de señales Digitales.....	40
2.3.5.5	Propagación de Ondas de Radio.....	40
	CAPÍTULO 3.....	42
3	Diseño y simulación.....	42
3.1	Diseño.....	42
3.1.1	Justificación del Proyecto.....	42
3.1.2	Solución al problema.....	46
3.2	Simulación e Implementación .....	78



3.3	Desarrollos Futuros.....	92
	CAPÍTULO 4.....	100
4	Análisis Económico.....	100
4.1	Análisis Social-Económico .....	100
4.2	Costos del desarrollo. ....	102
4.3	Mantenimiento de Equipos.....	104
4.4	Costo de transmisión de datos de equipos.....	105
4.5	Calculo de la Inversión .....	105
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	110
	BIBLIOGRAFÍA.....	112
	ANEXOS .....	116

# CAPÍTULO 1

## 1 INTRODUCCIÓN

### 1.1 Planteamiento del problema

A través de los siglos los Tsunamis han sido considerados unos de los mayores fenómenos devastadores del mundo, diferentes fenómenos geofísicos como deslizamientos, volcanes en actividad, meteoritos pueden generarlos. Van Dorn mencionó que otra causa por el cual se podría generar un Tsunami es una explosión nuclear en el mar. Aunque mayormente estos fenómenos son causados por actividades sísmicas oceánicas hay que recalcar que no cualquier evento que se presente de este tipo significa generación de un Tsunami.

En comparación con los otros desastres naturales como los terremotos, huracanes y tornados, los Tsunamis predominan como los que alcanzan mayores escalas de destrucción mortal.

Es por eso que uno de los ejes principales de cada nación es la detección temprana y la predicción de las magnitudes que pueden llegar alcanzar.

Mayormente estos fenómenos se producen en el océano Atlántico, El Caribe, el Mar Mediterráneo, pero con más frecuencia en el “Anillo de Fuego” también llamado Océano Pacífico. En base a estas temáticas los ingenieros y científicos alrededor del mundo han desarrollado técnicas fiables para poder observar estos fenómenos por el cual se escogió como el objetivo principal contribuir a la seguridad nacional del Ecuador y por qué no del resto del mundo con un Diseño y Simulación de un sistema de alerta temprana de Tsunamis dirigido al Cantón ESMERALDAS el cual se basa en la propagación de la alerta, generada por los eventos en redes de mareógrafos, sismógrafos que junto con el sistemas de boyas marinas, trabajan en tiempo real para poder alertar a la población de este cantón de manera eficaz con el fin de evitar pérdidas lamentables.

Actualmente Ecuador cuenta con unas pocas boyas que se conectan directamente mediante un enlace satelital al INOCAR y después se encarga de evaluar los eventos en tiempo real para emitir o no una alerta de Tsunami.

Los Tsunamis tienen dos fuentes: una de origen cercano y otro lejano. La primera generalmente se da cuando un movimiento sísmico violento es producido cerca al perfil costero, y el otro cuando se origina en una región lejana a las costas, una vez producido el evento este tarda en replicarse hacia una costa un tiempo determinado. En la Figura 1.1 se puede observar la representación gráfica del problema.



**Figura 1. 1: Árbol del problema.**  
[1]

## 1.2 Antecedentes

En las costas ecuatorianas, con el transcurrir de los tiempos, distintos avisos de tsunamis se han registrado; los cuales en muchos de los casos sus efectos no han sido mayores; pero en otros sí, ninguno aún con tal magnitud como los que azotaron las costas de Chile y Japón.

**31 de Enero de 1906:** Según informativo del Centro Regional de Sismología para América del Sur (CERECIS), registra que se produjo un

terremoto de magnitud sísmica de 8.6. Otras fuentes datan magnitudes de 8.7 y 8.9.

Este evento tuvo un impacto sector norte-sur, entre Guayaquil y Medellín cubriendo una extensión de 1200 km, este terremoto dio origen a un tsunami en la localidad de Tumaco, a media hora de producido el evento sísmico, observándose por el lapso de 4 horas largas olas.

En Total, se registraron 23 viviendas afectadas. En Esmeraldas el río presento cambios de caudal y desbordamiento, causando inundaciones en puntos bajos. También se lo pudo presenciar en Bahía de Caráquez, donde el mar se elevó de 80 a 100cm en un lapso de 20 minutos.

**2 de Octubre de 1993:** Se evidenció un sismo con magnitud 6.9 en escala de Richter, en el punto 2°S y 81° en cercanía de La Libertad en la Península de Santa Elena, presenciando bruscas variaciones del nivel del mar (altamar- bajamar) desde las 10:30-14:00. Estas variaciones presentadas, generalmente se las puede evidenciar en el tiempo de 10 horas y no en 3.5 horas. Pero solo se presenció pequeña inundación al arribo de las costas.

**12 de Diciembre de 1953:** Se evidenció un sismo con magnitud sísmica 7.8, según lo registrado en CERECIS (1985), en el punto 1.37°N y 79.34°W. Lo cual produjo que una embarcación casi naufragara, y la altura, con la cual se observaron las olas sobre las costas, fue desde 2.0 a 5.9m. Evidenciando daños en Tumaco como también en el punto norte de la provincia de Esmeraldas. [2]

### **1.3 Formulación de la solución**

La falta de un sistema de alerta temprana de tsunami para las zonas sensibles costeras imposibilita un aviso oportuno hacia la población,

retardando la puesta en marcha planes de evacuación y salvaguardo de muchas vidas.

## **1.4 Limitaciones**

En cuanto al diseño de sistema de alerta temprana de Tsunami, al ser un tema extenso nos enfocaremos en el monitoreo y en la difusión y comunicación del mensaje de alerta temprana, mediante una red de sensores que detecten eventos de mayor magnitud y para la notificación por un sistema de sirenas y uso de la infraestructura de los operadores locales para el sistema de difusión por mensaje de texto corto. En nuestro país en la actualidad no se cuenta con un sistema tecnológico avanzado para el aviso de emergencias el cual permita una notificación oportuna, en comparación con Japón, México, Chile y otros países.

En el desarrollo de un sistema de alerta temprana existen inconvenientes en cuanto a parámetros diferentes a los que se toman normalmente. Puesto los tsunamis son de origen de la naturaleza y no se puede predecir en que momento ocurrirá uno o si sigue los parámetros estandarizados.

El factor de respuesta, ante un evento de tsunami, debe ser el menor tiempo posible, considerando el lugar de ocurrencia. Si el lugar donde ocurre el evento, está próximo al perfil costanero ecuatoriano, esto reduce el tiempo de respuesta de activación de la alerta, provocando que la ola de tsunami viaje paralelamente con la señal de alerta de Tsunami. [3]

## **1.5 Justificación**

En la sociedad actual, dado los constantes avances en el uso de herramientas tecnológicas, se tiene la necesidad de desarrollar comunicaciones de emergencia con el fin de prevenir los desastres que causa el fenómeno Tsunami. Realizando el estudio de las zonas sensibles y en ellas diseñar un sistema que permita mitigar las consecuencias negativas sobre la comunidad.

Debemos priorizar la idea, la cual es salvaguardar vidas por eso buscamos soluciones que faciliten el aviso en un tiempo oportuno y disminuir el impacto de las fuertes olas sobre los puertos. Para estos sistemas se

necesita un desarrollo integral, mutua relación entre sociedad, organismos y tecnología, para la coordinación de prontas respuestas.

La gran problemática está dada en que estos sistemas no se encuentran implementados en todos los países del globo terráqueo y en algunos no son tan modernos, estos necesitan actualización para una mejor respuesta.

La ciudad de Esmeraldas en la actualidad no consta con un sistema de alerta temprana actualizado, es por eso que con el presente trabajo se pretende otorgarle el diseño de uno, dado que esta localidad se encuentra cercana a las placas tectónicas como las del Pacífico y Nazca, porque eso tiene alta probabilidad de sufrir estos eventos. Los beneficiarios directos, serían los habitantes de Esmeraldas.

## **1.6 Objetivo General**

Diseñar y simular un sistema de alerta de Tsunami mediante un sistema de sirenas para el perfil costanero del cantón Esmeraldas conectada a una red internacional de centro de alerta de Tsunami.

## **1.7 Objetivos Específicos**

Definir los principales parámetros de diseño.

Realizar un proceso comparativo entre los tipos de sistemas a utilizar.

Diseñar y simular la comunicación entre el Tsunamómetro con la red internacional de centros de alerta de Tsunami y de un sistema de la red local de indicadores y alarmas.

Simular el desarrollo del evento Tsunámico, desde la fase de generación de alerta por sensores marinos hacia él envió de alerta a la comunidad.

## **1.8 Metodología**

Primero se realizará un estudio sobre el fenómeno Tsunami, cómo se origina, bajo qué circunstancias y que parámetros o variables se deben analizar para la toma de decisiones con respecto a la generación de

posibles alertas a los centros de prevención de riesgos y en especial a la población.

Se visitará el INOCAR, para conocer los procedimientos en la evaluación de posibles amenazas de Tsunamis y el tipo de instrumentos de medición con el cual se cuenta al momento. También sobre los posibles escenarios de alerta de Tsunami que se simulan en el interior de la institución.

Se analizará y comparará los métodos existentes en la actualidad, con los cuales se puede contar para el desarrollo de un sistema de alerta de Tsunami; a su vez cómo están conformados cada uno y qué tipo de comunicación se realiza entre los miembros que constituyen el sistema.

Una vez analizados los métodos existentes en otros países, se tomará el que mejor se acople a las condiciones de la realidad local. Para la realización del diseño se debe considerar que un Sistema de Alerta Tsunamis debe estar estructurado bajo el siguiente esquema: monitoreo, alertas, difusión y comunicación. Se procederá a detallar cada uno de los equipos con los cuales se trabajará, realizando un bosquejo gráfico de cada una de las etapas que constara nuestro proyecto y como estarán interconectadas o relacionadas unas con otras.

Se finalizará con la simulación del evento Tsunami desde la generación hasta envío final de la información a un centro de acopio e inmediatamente se procederá a la difusión de la alerta, se describirá cuáles fueron los resultados obtenidos a partir del diseño, con las respectivas conclusiones y recomendaciones para nuevos diseños o integraciones al proyecto en lo posterior.

## CAPÍTULO 2

### 2 Información Técnica

#### 2.1 Teoría de Tsunamis

Los Tsunamis a lo largo de la historia han sido los mayores culpables de catástrofes a nivel mundial sobre la mayoría de las costas del mundo, especialmente sobre las zonas que son más vulnerables que están situadas en fallas geográficas.

Los tsunamis son olas las cuales tienen alrededor de 10 km a lo largo y una altura aproximada de 1 metro en mar adentro, esta ola viaja a velocidades de 700 – 800 Km/h. La energía de estas olas se puede transmitir a distancias muy lejanas que atraviesan de un océano a otro.

Como lo ocurrido en los eventos de marzo del 2011 en Japón. Cuando las olas de Tsunami se aproximaban a la zona costera, estas sufrían un aumento en su amplitud mientras la velocidad de propagación decrece.

Los estados de un Tsunami usualmente están divididos en tres partes:

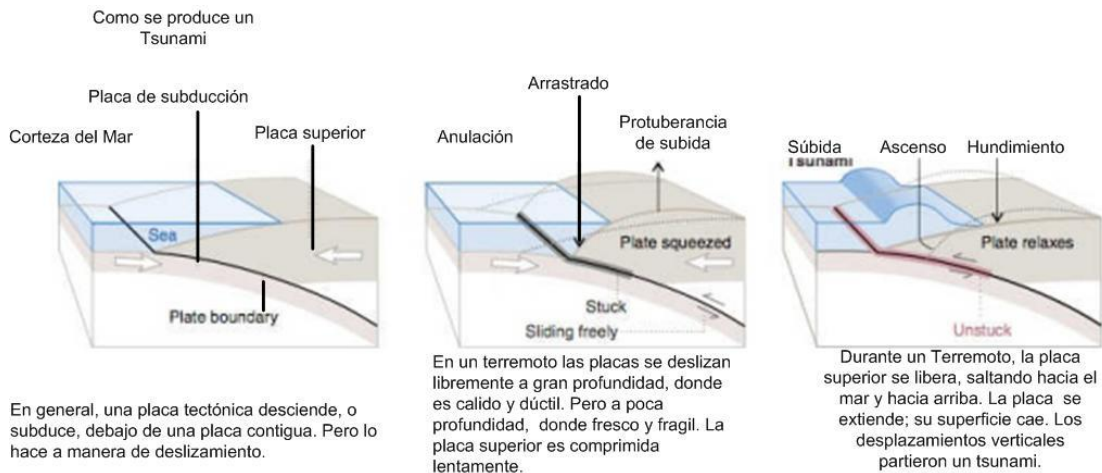
- Generación
- Propagación
- Inundación

##### 2.1.1 Generación

Para que un Tsunami sea generado, un gran volumen de agua debe ser desplazado. Comúnmente el mecanismo de generación es provocado por un terremoto el cual produce el levantamiento de la capa tectónica y el hundimiento del suelo marino. Cuando las placas convergentes pasan una sobre la otra en subducción.

En los límites de la inter-placas, la tensión se acumula entre las placas tectónicas que se interconectan en todo el movimiento. Durante un terremoto, las placas se liberan y la placa oceánica tiene un movimiento ascendente hacia el mar, lo cual produce que se desplace una gran cantidad de agua, es ahí que se crea el Tsunami (ver figura 2.1).





**Figura 2. 1: Como se produce un Tsunami.**  
[4]

Adicionalmente los terremotos, deslizamiento de tierra pueden generar tsunamis severos, los recientes eventos tsunami génicos han venido atribuyéndose a deslizamientos, tal como en 1998 en Papua New Guinea Tsunami. [5]

Algo usual en los Tsunamis son los llamados Meteotsunamis, los cuales son formados por perturbaciones atmosféricas en el océano y amplificaciones en las regiones costeras junto a mecanismos de resonancia. [6]

Ellos son de mucha menor energía que los Tsunamis sísmicos y son producidos lejos de la localidad.

### 2.1.2 Propagación de Tsunamis

Por lo general debido a sus grandes longitudes de onda (valor crítico que separa las olas de aguas costeras y las olas de agua profunda) las olas son refractadas, con lo cual la mitad de estas longitudes son superiores a las profundidades en la que se propagan, es decir en cualquier punto oceánico la velocidad de propagación puede ser calculada en función de la profundidad de ella. [7]

$$v = \sqrt{g * D} \quad (2.1)$$

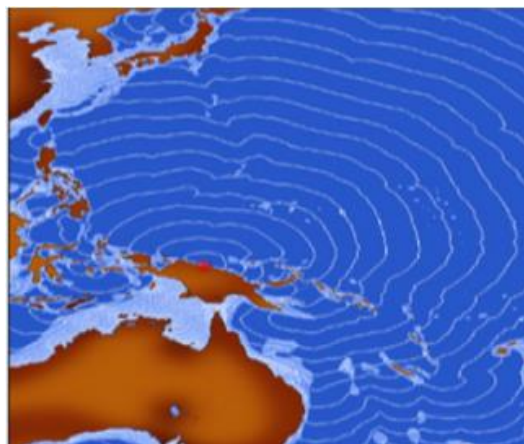
Donde  $v$  es igual a la velocidad con la que el Tsunami se propaga en el

océano,  $g$  es la aceleración gravitatoria la cual es aproximadamente  $9.81 \frac{m}{s^2}$  y  $D$  es la distancia desde la superficie al suelo marino. Entonces si la profundidad disminuye la velocidad también, como se puede apreciar en la tabla 1.

PROFUNDIDAD (Brasas de 1.8 m)	VELOCIDAD (Nudos: 1852m/hora)
5000	582
3000	451
1000	260
500	184
100	82
10	26

**Tabla 1: Velocidad de propagación de un Tsunami con respecto a su altura.**  
[7]

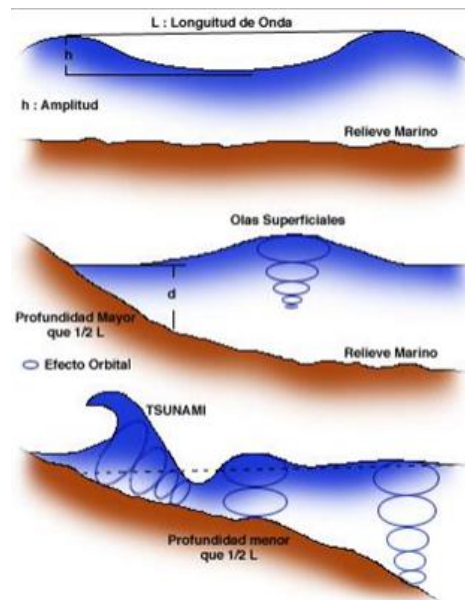
Es decir, que cuando los Tsunamis viajan en aguas profundas pueden alcanzar grandes velocidades, pero al llegar a aguas bajas debido a las refracciones esta disminuye su velocidad pero su altura en cambio aumenta hasta 20 metros según la gravedad de los eventos producidos. Es posible dibujar esquemas de propagación (ver figura 2.2), para observar y predecir su comportamiento hasta llegar a la región costera.



**Figura 2. 2: Esquema de propagación.**  
[7]

Normalmente las características del Tsunami difieren por los vientos generados paralelamente, los cuales ofrecen un efecto orbital que llegan a

obtener una profundidad igual a la mitad de la longitud de onda, la diferencia de una ola generada por una tormenta puede alcanzar 300 metros de longitud de onda, en cambio una generada por un tsunami puede superar los 50 km e incluso llegar a alcanzar los 1000 km. (Ver Figura 2.3)



**Figura 2. 3: Parámetros físicos y geométricos de la onda de tsunami.**  
[Fuente: Ramírez, 1986]

Entonces se puede ver la siguiente ecuación, donde  $L$  es la longitud de onda del Tsunami,  $V$  es la velocidad de propagación y  $T$  el periodo, realizándose un producto entre ellas.

$$L = V \times T \quad (2.2)$$

Ejemplo para  $V = 800 \text{ Km/H}$  y un  $T = 17 \text{ Min}$   $L$  sería igual a  $226.7 \text{ Km}$ . Entonces eso quiere decir que debido a que su longitud de onda alcanza valores grandes el desplazamiento en mar adentro será de pocos centímetros de elevación.

Los períodos de oscilación de las olas son una parte importante ya que si tienen un valor menor a 15 segundos solo son generadas por vientos o huracanes, en cambio si su valor es de 20 a 60 minutos ya estamos hablando de un posible Tsunami. (Ver Figura 2.4 y Tabla 2).

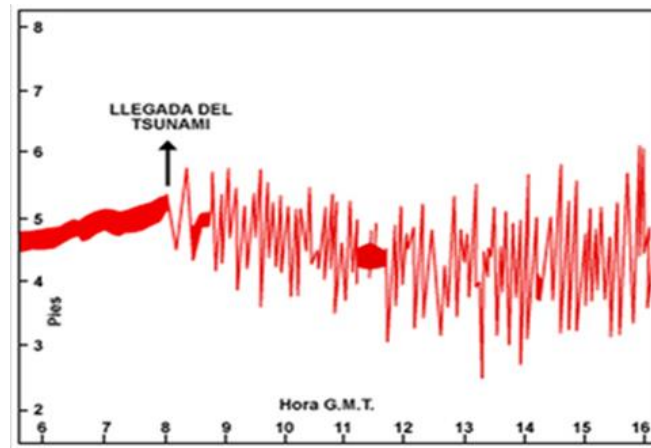


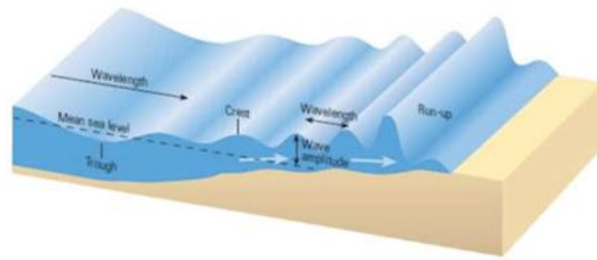
Figura 2. 4: Registro de un mareógrafo.  
[4]

CARACTERÍSTICA	TSUNAMI	OLA COMÚN
Longitud de onda	De 150m a 100Km	90m O. Atlántico 300m O. Pacífico
Velocidad máxima	900km/hr	< 100km/hr
Período o amplitud	De 10 a 90 min.	< 15 sg
Altura o amplitud	Pocos centímetros de	< de 13 m
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mar adentro</li> <li>• Costa</li> </ul>	1-30 m	< de 6 m
Influencia en el fondo	Perturba totalmente el fondo	Ninguna, sólo en la playa

Tabla 2: Características de las olas de un Tsunami y olas comunes.

### 2.1.3 Inundación

La última etapa de los Tsunamis es la inundación, en la cual la onda creada crece a una extensión máxima por encima de los niveles normales de agua en las costas. Durante esta fase los Tsunamis desaceleran y su amplitud aumenta significativamente (Ver Figura 2.5).



**Figura 2. 5: Modelamiento y recorrido de un Tsunami.**  
[4]

Usualmente alcanzan de 4 a 15 metros, dependiendo de la geografía de la costa donde vaya a llegar. Los Tsunamis en esta fase son usualmente asociados con fuertes corrientes las cuales son responsables de daños de infraestructura y pérdidas de vida. Aunque a lo largo de la historia han existido los que también se llaman los Mega Tsunamis los cuales pueden superar los 100 metros de altura.

Algunos factores pueden considerarse para determinar el nivel destructor de un Tsunami cuando llega a la costa (Ver figura 2.6):



**Figura 2. 6: Llegada del Tsunami a las costas.**  
[7]

- Tipo y magnitud del fenómeno que provoca el Tsunami, como Sismos, terremotos, maremotos, etc.
- Topología del sitio en el que se propaga el Tsunami.
- Distancia desde donde se generó el fenómeno que causó el Tsunami hacia la costa.
- Cómo se encuentra la línea costera estructurada para este tipo de

eventos.

Tiempo de llegada

## **2.2 Sistema de alerta temprana**

El diseño de un sistema de alerta temprana consta de 4 ejes principales los cuales son:

- Red de sensores
- Sistema de comunicaciones
- Estación Terrena ( procesamiento de Datos)
- Sistema de Aviso a la comunidad

Para la red de sensores se habla sobre los sistemas de boyas, mareógrafos y sismógrafos los cuales trabajan en conjunto para formar una red más robusta de detección.

Los sistema de comunicaciones son muy importantes ya que estos ayudan a realizar la interacción entre el transductor hacia un centro de procesamiento de datos o estación terrena, y de esta hacia los puntos de aviso para la comunidad.

La estación terrena se encargará de procesar los datos provenientes del sensor y evaluarlos para determinar posibles amenazas.

El sistema de aviso a la comunidad por su parte es de gran importancia al momento que ya se quiera alertar a la población.

### **2.2.1 Sistema de detección y red de sensores para Tsunami**

Para el análisis, el sistema requiere datos provenientes de redes de sensores sísmicos y a nivel del mar como son los mareógrafos.

Para recopilar estos datos, el sistema se basa en el uso de instrumentos los cuales pueden sensar todos los cambios físicos que ocasionan los

Tsunamis, estos son llevados a los diferentes Centros Nacionales de Alerta de Tsunami (NTWC) y a los Proveedores Regionales de Vigilancia de Tsunami (RTWP) para interpretarlos mediante redes internacionales de observación en tiempo real. (Ver figura 2.7)

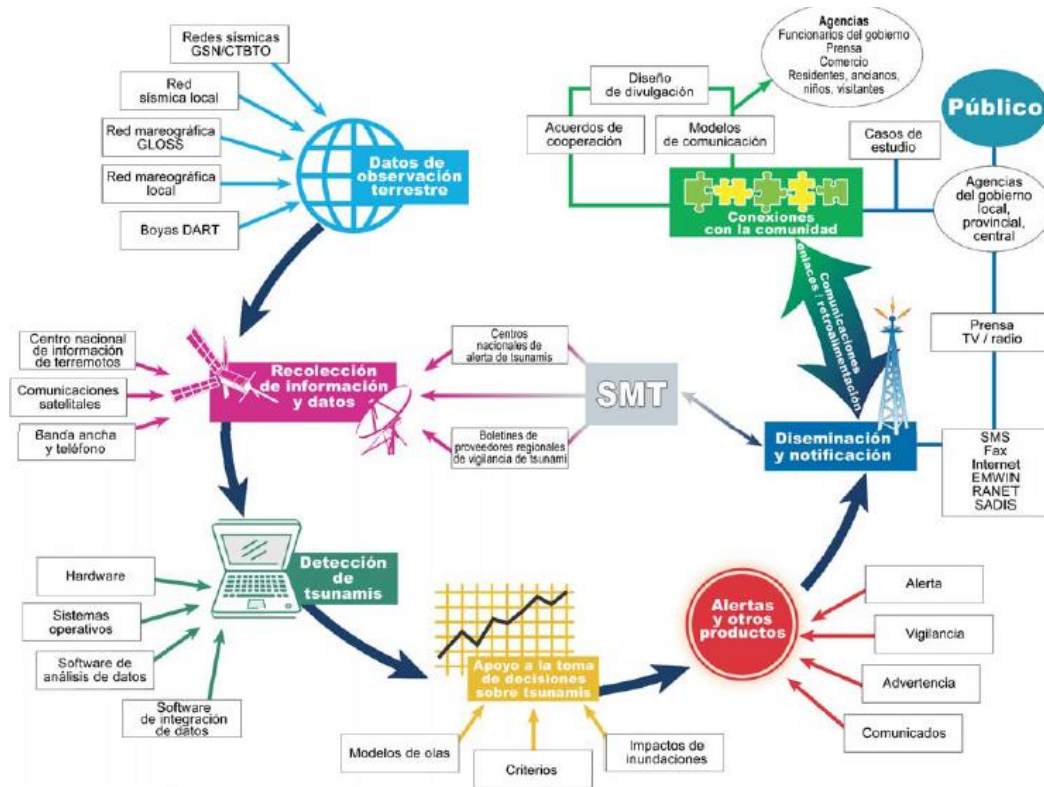
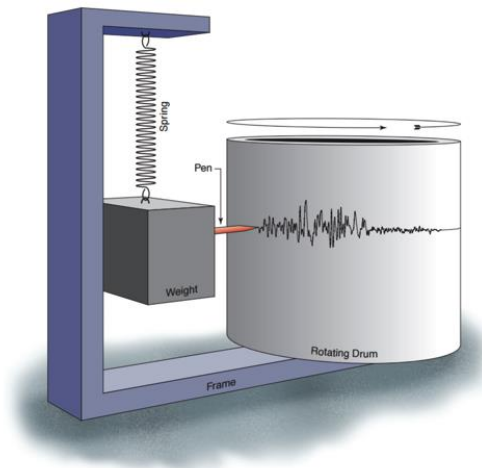


Figura 2. 7: Sistema Alerta de Tsunami.  
[10]

### 2.2.2 Sismógrafo

Un sismógrafo es un dispositivo que detecta, amplifica y registra cualquier movimiento de la tierra especialmente los terremotos. También es muy frecuente usar la palabra sismómetro aunque hay una diferencia ya que sismómetro es una parte del sensor o detector del sistema del sismógrafo. En la figura 2.8 se muestra un sismógrafo simple.



**Figura 2. 8: Sismógrafo simple.**  
[11]

El principio de los sismógrafos se basa en las leyes de la inercia de objetos fijos o estacionarios, los cuales básicamente constan de una masa  $m$  que permanece quieta hasta que alguna fuerza perturbe la masa.

Cuando la tierra se mueve provoca que la masa salga de ese estado estacionario y comience a desplazarse relativamente al peso de la misma, ella a su vez si un sistema de grabación está instalado, tal como un tambor giratorio unido a la estructura, y una pluma unida a la masa podrá ser grabada para producir una historia de movimiento de tierra, llamado un sismograma. [11]

### 2.2.3 Mareógrafo

La medición del nivel de las olas ha sido muy importante; para relacionar su comportamiento hasta predecir el alcance debido a los diferentes fenómenos naturales que se pueden generar.

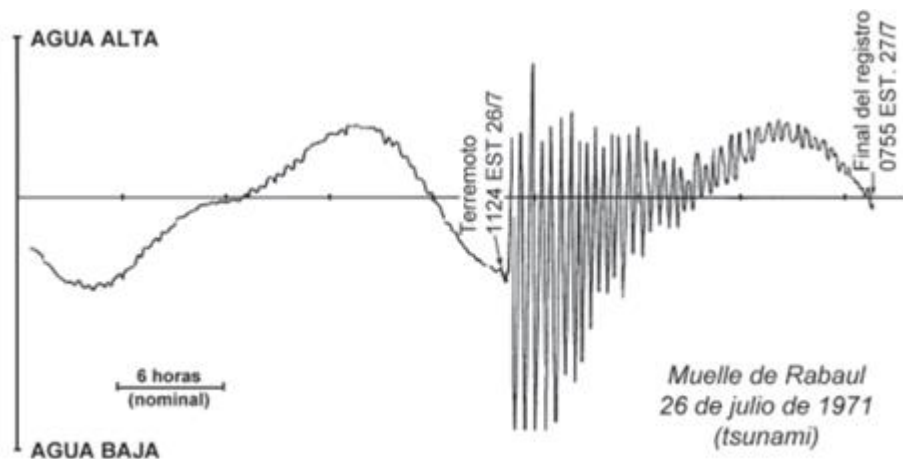
La base para algunos análisis científicos de niveles del mar se fundamenta en series de cuidadosas mediciones. Estas mediciones por lo general consta de tres componentes, que sumados en cualquier instante pueden aproximar el nivel observado del mar:

Nivel Observado= Promedio del Nivel del Mar+ Marea+ Residuos Meteorológicos



Estos datos son muy importantes para aceptar o denegar alguna alerta, ajustando sus datos de observación en tiempo real a medida que se va desarrollando el evento. La mayoría de estos datos son obtenidos mediante mareógrafos que se encuentran en los cordones costeros y las boyas marinas que están en alta mar.

Al momento de estar en presencia de un Tsunami crea algunas componentes críticas como se puede observar en la figura 2.9.



**Figura 2. 9: Registro de un mareógrafo del efecto de un Tsunami.**

[12]

Puntos importantes que recordar sobre las causas de las variaciones del nivel del mar.

Las variaciones del nivel del mar son producto de la combinación de factores físicos que normalmente se pueden distinguir por su período. Los siguientes son algunos de los factores que influyen en el nivel del mar:

- Ondas de gravedad superficiales, con períodos de 1 a 20 segundos.
- Los tsunamis tienen períodos desde minutos hasta más de una hora.
- Cambios de mareas de aproximadamente 12 y 24 horas.
- Fenómenos meteorológicos de varios días de duración.
- Variabilidad interanual y decenal.
- Tendencias del nivel del mar a largo plazo causadas por efectos geológicos y climatológicos.

Un tsunami crea un cuarto componente que normalmente no figura en el nivel observado del mar. Afortunadamente, la huella de las olas de tsunami se distingue claramente en el trazado del mareógrafo.

Existen 4 tipos de mareógrafos que se emplean para medir los cambios del nivel de altura del mar [12].

Aunque también hay métodos no tan robustos basados en una medición directa fundamentados en sistemas de resistencia o capacitancia. Los actuales métodos utilizan avances tecnológicos como los métodos de reflexión del GPS, los cuales deben cumplir con ciertas características como:

- Ofrecer una precisión aproximada de 1cm.
- Estabilidad a largo plazo.
- Soportar la variación de climas.
- Costo.
- Grado de dificultad de instalación.
- Facilidad de mantenimiento y reparación.
- Soporte técnico adecuado.

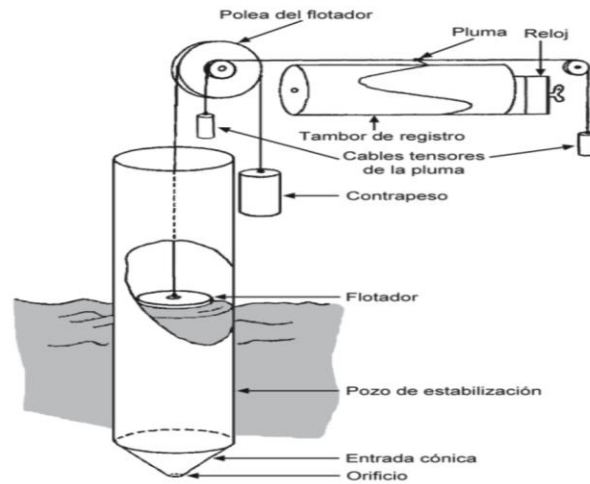
Los mareógrafos se pueden dividir diferentes 4 tipos básicos:

- De flotador
- De presión
- Acústico
- De radar

### **2.2.3.1 Mareógrafo Flotador**

Este mareógrafo como se puede observar en la (figura 2.10) consta de un cilindro que su principal objetivo es amortiguar la actividad de las olas para que los niveles del mar se puedan registrar con mayor precisión.

El flotador, por medio de un sistema conectado mecánicamente a una pluma registra las variaciones de nivel del mar en un tambor aunque en sistemas más modernos esta actividad se la hace digitalmente.



**Figura 2. 10: Mareógrafo de flotador.**

[12]

### 2.2.3.2 Mareógrafo Sistema de Presión

Este sistema se ha vuelto más común a la hora de medir directamente el nivel del mar por lo que se encuentra debajo de la superficie del agua. Aunque depende mucho de la densidad del agua y de la aceleración gravitatoria sus mediciones tienen más ventajas.

Generalmente constan estos sistemas de dos tipos:

- Burbuja (ver figura 2.11)
- Sensor de presión

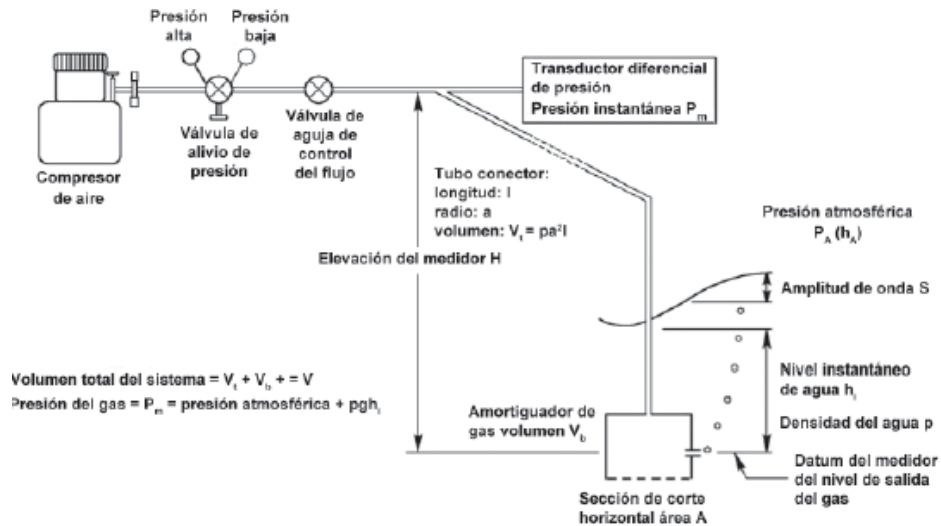
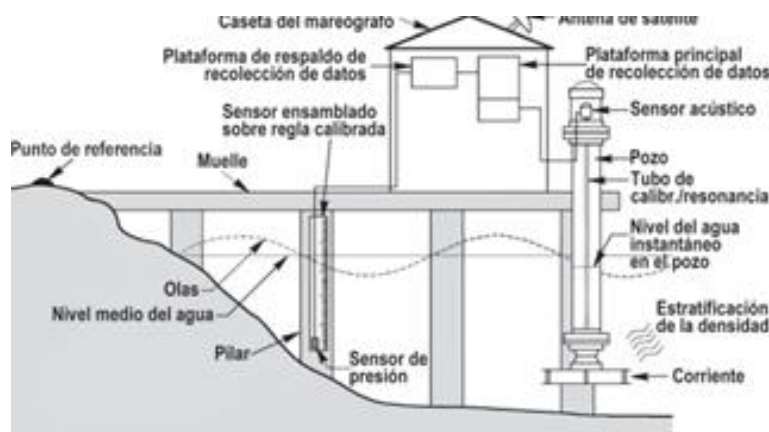


Figura 2. 11: Componentes de un sistema burbuja.  
 [12]

### 2.2.3.3 Mareógrafo Acústico

Los mareógrafos acústicos utilizan un sensor de onda expansiva de energía acústica y determina el tiempo en el que la onda reflejada regresa al momento de que una parte de ella rebote en el agua. Costa de dos sensores térmicos que proporcionan gradientes de temperatura a lo largo del tubo que contiene al sensor acústico para que las mediciones sean más exactas al momento de detectar estas variaciones que pueden afectar la velocidad del sonido. Por lo general se utilizan tubos de PVC para colocar el sistema de resonancia pero también se utilizan tubos de acero inoxidable en los lugares que tienen un registro de movimiento mareográfico muy fuerte, esto ayuda a la protección del sistema de mareógrafos amortiguándolo.

La figura 2.12 ilustra en forma esquemática una instalación típica de un sistema Next Generation Water Level Measurement System (NGWLMS).



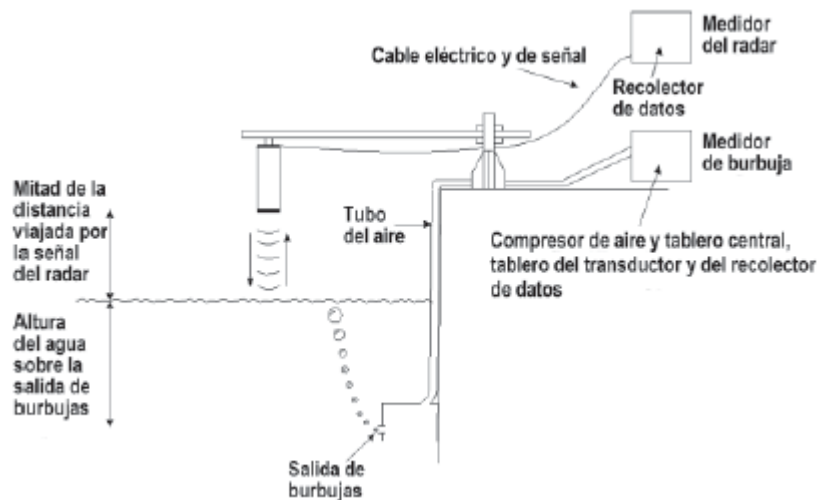
**Figura 2. 12: Mareógrafo del sistema NGWMS de NOAA.**  
[12]

Para lograr una precisión óptima, el sensor acústico se calibra al sistema de unidad con el que se trabaja en la región, para la toma de datos periódicamente en un intervalo mínimo de 6 minutos y que cada medición conste de 180 muestras, incorporando un sistema de filtros que rechacen valores atípicos que pueden ser producidos por reflexiones falsas u otros fenómenos.

#### **2.2.3.4 Mareógrafo sistema de Radar**

A diferencia de los otros tipos de sensores o sistemas de mareógrafos estos tienen muy poco tiempo desde que se comenzaron a implementar, estos poseen algunas ventajas sobre los métodos tradicionales como el costo, mantenimiento e Instalación. Este instrumento viene con un hardware y software necesarios para convertir sus mediciones en altura de nivel del mar.

La figura 2.13 muestra un diagrama del sistema instalado y sus partes principales.

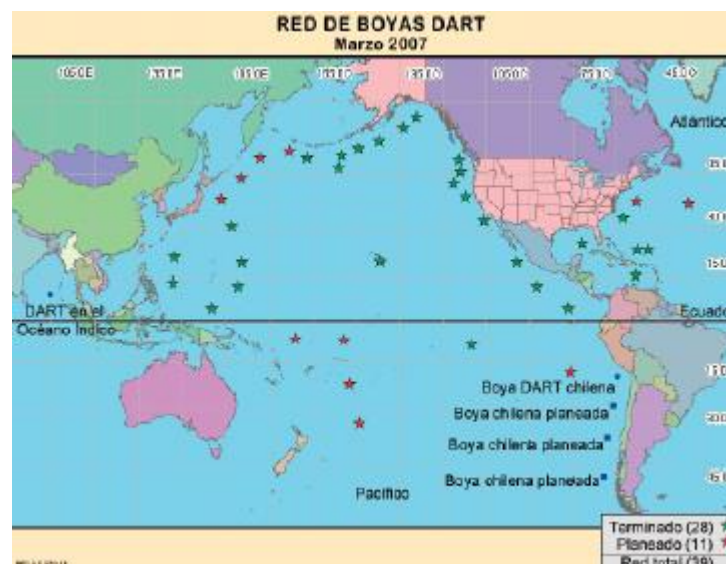


**Figura 2. 13: Comparación entre un sistema de radar y uno de burbuja.**  
[13]

## 2.2.4 Sistema Tsunamómetro

Los Tsunamómetros son una de las partes más importantes para completar un sistema de detección de Tsunami, ya que aunque se tenga sistemas de mareógrafos en las costas (ver figura 2. 14), se puede presentar una buena estimación en tiempo real de un Tsunami pero no cuentan con una verificación adelantada de que en camino se encuentra uno de ellos.

Estos dispositivos se instalan en alta mar, por lo general en zonas que presentan fallas geológicas debido a las grandes cantidades de energía que transmiten las placas tectónicas produciendo así los posibles Tsunamis.



**Figura 2. 14: Distribución de la boya Tsunami en el 2007.**  
[14]

El Tsunamómetro consta de dos elementos principales que son:

- Módulo Submarino
- Boya Superficial

### 2.2.4.1 Módulo Submarino

Este es instalado en el fondo marino en mar abierto para la medición precisa de las olas y la identificación de condiciones anormales.

Este instrumento está compuesto por una estructura mecánica integrada en las siguientes partes:

- Un sensor de presión de alta precisión para la detección de los cambios de altura de columna de agua.
- Una unidad electrónica de alto procesamiento de datos.
- Módem acústico para la comunicación con la boya superficial.
- Módulos de energía para mantener constantemente el módulo trabajando.
- Un sistema que permite una segura instalación compuesta por modelos de amortiguación y de rastreo.

Como se muestra en la figura 2. 15, el diagrama esquemático del módulo submarino [15].

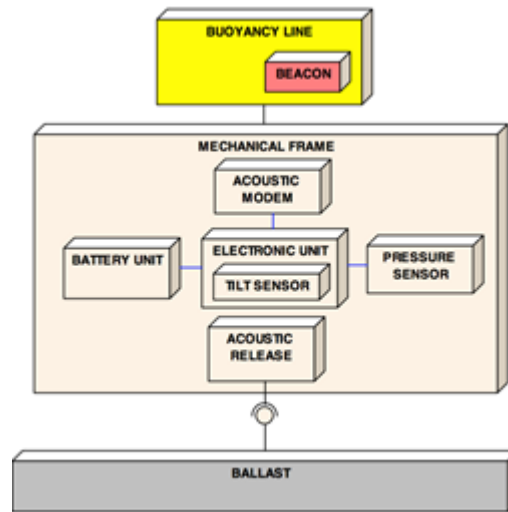


Figura 2. 15: UM- Diagrama de Bloque.  
[15]

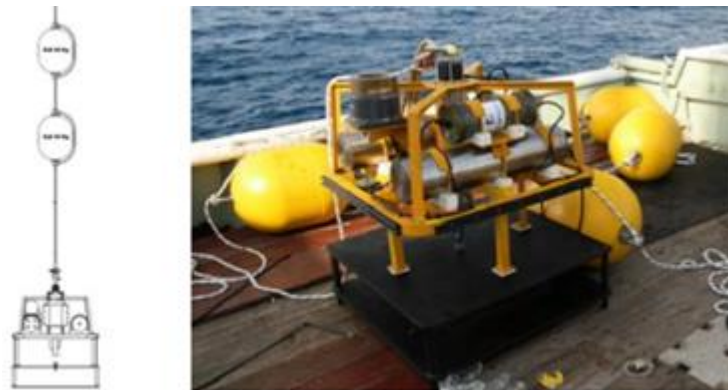


Figura 2. 16: Proceso de recuperación del sistema.  
[15]

#### 2.2.4.2 Boya Superficial

La boya superficial va amarrada al módulo submarino que recibe mediante un enlace acústico las mediciones de módulo para ser transmitidos por un enlace satelital a un Centro de Datos para su visualización y análisis.



Este sistema consta de una boya, que es caracterizada por una alta y baja configuración. La boya flota en posición vertical, las configuraciones tienden a ser estable en la plataforma oceánica. [16]

Esta boya superficial está compuesta por 3 partes principales:

1. Polo superficial
2. Un boyante (cono + cilindro) en el medio
3. Una torreta en la parte superior

Las principales ventajas de esta configuración para las específicas aplicaciones son las siguientes:

- El polo inferior proporciona un soporte mecánico confiable del módem acústico y cables relacionados del transductor
- La boyante aloja en la parte central, la batería y la unidad electrónica con conectores relacionados.
- La torreta en la parte superior permite montar los paneles solares, módems satelitales y dispositivos adicionales como interfaz WiFi, estaciones meteorológicas, etc.
- La hidrodinámica de la boya propuesta está caracterizada por pequeños movimientos de inclinación esto permite obtener una plataforma vertical, estable para optimizar las prestaciones del enlace acústico entre la boya y el módulo bajo el agua para obtener los datos relacionados al sistema de detección.

Diagrama de bloques de la boya propuesto se presenta en la figura 2. 17.

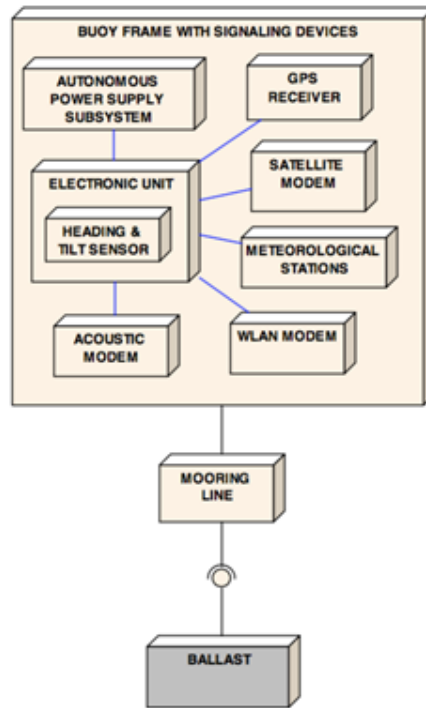


Figura 2. 17: SB Diagrama de bloque.  
[16]

La estructura de metal de la Boya de superficie, está equipada con redundancia de sistemas como para el satélite y módems acústicos, (ver figura 2. 18).



Figura 2. 18: Boya de superficie.  
[16]

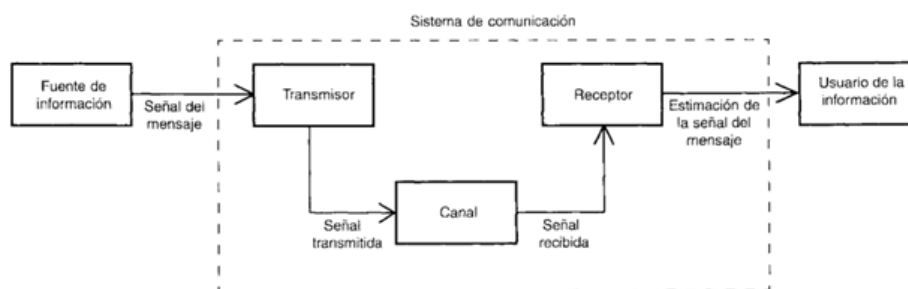
## 2.3 Sistema de Telecomunicaciones

Los sistemas de telecomunicaciones son la ciencia que se encarga de la generación, transmisión y recepción de una señal mensaje por diferentes medios como eléctrico, electromagnético, ópticos, electroacústicas, etc. Las señales mensajes pueden ser voz, imágenes, música o datos de una computadora. [16]

Independientemente de los métodos de comunicación moderna existe una base que es el común denominador en todos los sistemas los cuales son:

- Transmisor
- Canal
- Receptor

Como podemos ver en la figura 2. 19, la fuente de información es en si el mensaje que se desea transmitir como ya habíamos mencionado.



**Figura 2. 19: Elementos de un sistema de Comunicación.**  
[17]

El transmisor y el receptor son los puntos externos entre los cuales se quiere realizar la comunicación; por otro lado el canal es el medio físico que une a estos dos puntos. Este condiciona el mensaje de tal forma que al momento de viajar por el medio no sufra daños y pueda ser recibido por el receptor.

Una vez que la señal logra propagarse por el medio, el receptor se encarga de acondicionarla para que pueda ser interpretada por el usuario de la Información.

Para realizar todo este proceso se utiliza un fundamento llamado proceso de modulación el cual consiste en que la señal mensaje sea modificada con otra señal llamada portadora.

El receptor reconstruye la señal original a partir de una versión degradada, este proceso se llama demodulación, la cual es el proceso inverso de la modulación. Sin embargo no se puede recuperar exactamente la señal mensaje original, porque siempre está el factor ruido presente en todos los medios de comunicación. El nivel de degradación depende del esquema de modulación que se utilice.

### 2.3.1 Modulación de Onda continúa.

En términos de procesamiento básico de señales encontramos que el transmisor de un sistema de comunicaciones consta de un modulador y el receptor de un demodulador como se muestra en la figura 2. 20.



**Figura 2. 20: Componentes de un sistema de modulación de onda continua: a) transmisor y b) receptor [17]**

En las modulaciones de onda continua existen 2 tipos: modulación por amplitud y modulación por fase.

En la modulación por amplitud se varia la señal portadora en función de la señal mensaje o banda base, es decir se multiplica una señal de banda base  $M(t)$  por una señal portadora  $C(t) = \cos(2\pi ft)$  = que su principal función es darle un transporte a esta señal  $M(t)$  que se encuentra en banda base. Donde la envolvente de la señal compleja sería  $g(t) = A_c[1 + m(t)]$  entonces la señal modulada ver expresión 3.1.

$$S(t) = A_c[1 + m(t)] \cos(2\pi ft) \quad (3.1)$$

Dónde:

$A_c$  constante para especificar el nivel de potencia

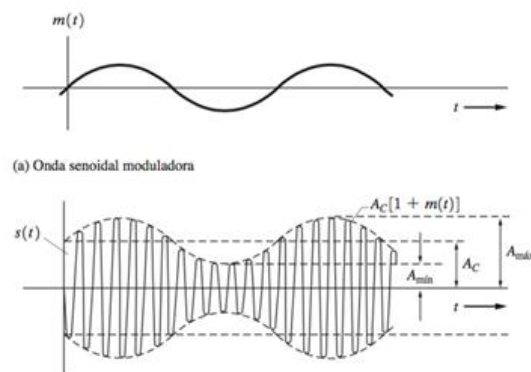
$M(t)$  señal moduladora

$F$  es la frecuencia de la portadora (más alta que la del mensaje)

$A_{max}$  valor máximo de  $A_c[1 + m(t)]$

$A_{min}$  valor mínimo  $A_c[1 + m(t)]$

Como se puede ver en la figura 2. 21



**Figura 2. 21: Forma de onda señal AM.**  
[17]

La modulación en frecuencia se realiza por medio de una función no lineal de la señal moduladora  $m(t)$  este proceso básicamente cambia la frecuencia de la señal portadora en función de su señal banda base o señal mensaje como se muestra en la figura 2. 22. Y en la ecuación característica 3.2. [17]

$$S(t) = A_c \cos(2\pi f_c t + \beta \sin 2\pi f_m t) \quad (3.2)$$

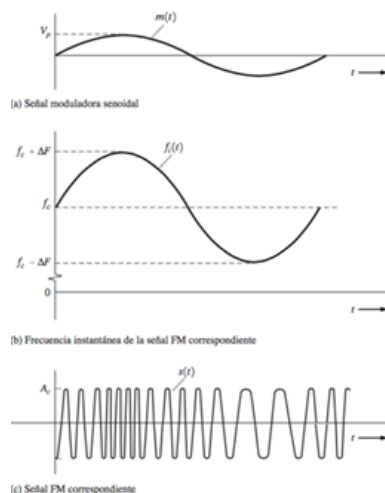
Dónde:

$A_c$  es la amplitud de la señal modulada

$F_c$  es la frecuencia de la señal portadora

$B$  es índice de modulación

$F_m$  es la frecuencia de la señal mensaje



**Figura 2. 22: FM con una señal moduladora en banda base.**  
[17]

### 2.3.2 Modulación Digital

Las técnicas de modulación digital son la evolución de las modulaciones analógicas ya que actualmente se utilizan para transportar grandes cantidades de información pasa banda digital.

Las modulaciones básicas son:

- ASK, por desplazamiento de amplitud.
- FSK, por desplazamiento de frecuencia.
- PSK, por desplazamiento de fase.

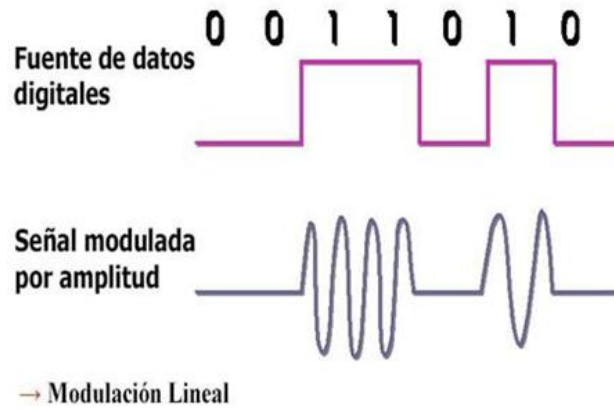
#### 2.3.2.1 ASK MODULACIÓN POR DESPLAZAMIENTO DE AMPLITUD

Esta modulación cambia la amplitud de la portador en función de los datos que se dese transportar mediante algún canal de comunicación, manteniendo la frecuencia y la fase constante. En general estos datos están representados por 0s y 1s.

Este tipo de modulación está dada por la ecuación 3.3.

$$s(t) = A \cdot m(t) \cdot \cos(2\pi F_c \cdot t) \quad (3.3)$$

Donde A es una constante,  $m(t) = 1$  o  $0$ ,  $F_c$  es la frecuencia de portadora y T es la duración de bit. Ver figura 2. 23



**Figura 2. 23: Modulación ASK.**  
[17]

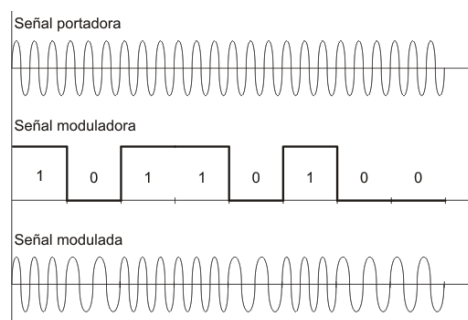
### 2.3.2.2 FSK MODULACIÓN POR DESLAZAMIENTO DE FRECUENCIA

Este tipo de modulación cambia su frecuencia en función del dato que se desea transportar (ver figura 2. 24). Se usa dos tipos de frecuencia de portador por símbolo.

Este tipo de modulación está dada por la ecuación 3.4.

$$s1(t) = A \cdot m(t) \cdot \text{Cos}(2\pi F_{c1} \cdot t + \theta c) \quad ; \quad 0 < t < T$$

$$s2(t) = A \cdot m(t) \cdot \text{Cos}(2\pi F_{c2} \cdot t + \theta c) \quad ; \quad 0 < t < T \quad (3.4)$$



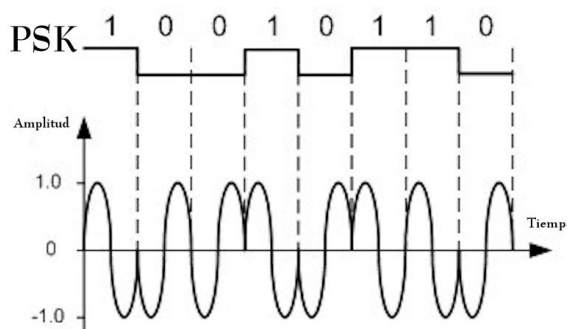
**Figura 2. 24: Modulación PSK.**  
[17]

### PSK Modulación por desplazamiento de fase

Esta modulación consigue variar la fase de la portadora en función del mensaje tal que la señal es definida por la expresión 3.5:

$$s(t) = A \cdot m(t) \cdot \cos(2\pi F_c \cdot t + \theta_c) \quad ; \quad 0 < t < T \quad (3.5)$$

Donde A es una constante,  $m(t) = +1$  o  $-1$ ,  $F_c$  es la frecuencia de la portadora y T es la duración de bit. Ver figura 2. 25



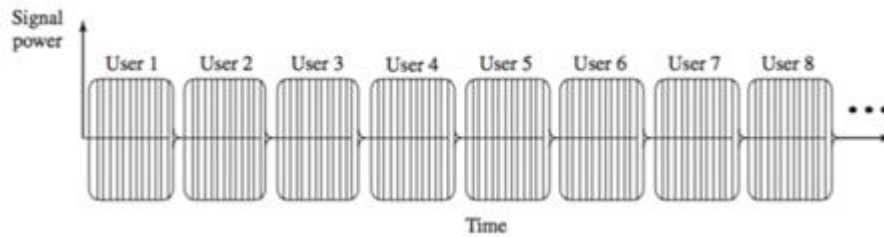
**Figura 2. 25: Modulación PSK.**  
[17]

## 2.3.3 Sistema de Comunicación Celular

### 2.3.3.1 Sistema GSM

Este sistema fue diseñado en Europa para propósito de proveer un sistema comunicación celular estándar la cual pueda servir a todo el continente. Actualmente este sistema es usado en todo el mundo, la cual funciona en las bandas de frecuencia de 890 – 915 MHz para el enlace de subida y de 935 – 960 MHz para los enlaces de bajada, las dos utilizan las bandas de 25 MHz las cuales cada una está dividida en 125 canales, donde cada canal está dividida en anchos de banda de 200 KHz, cada una de estas asignan datos para 8 usuarios por cada 8 espacios asignados de TDMA sin solapamiento como se muestra en la figura 2. 26.



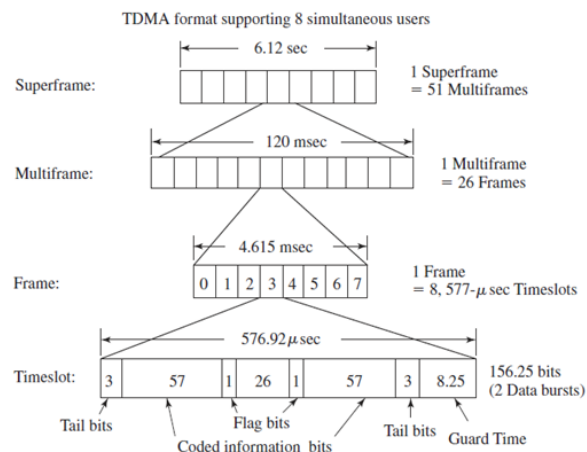


**Figura 2. 26: Trama TDMA en GSM.**  
[18]

Este protocolo tiene las siguientes características:

- Para los 8 espacios en el tiempo constituyen una franja con duración de 4.615 ms.
- Cada espacio de tiempo tienen una duración de 576.875 us.
- Los datos son transmitidos a una tasa de 270.833 Kbps.

La figura 2. 27, se muestra la estructura básica de una trama GSM



**Figura 2. 27 : Estructura de la trama GSM.**  
[18]

### 2.3.4 Comunicaciones Acústicas Submarinas

Los medios subacuáticos son conocidos por ser uno de los más difíciles medios de comunicación. Para la mayoría de los modelos empleados es muy común ver el uso de bajas frecuencias como por ejemplo 7 a 13 kHz y el ancho de banda es restringido como 6kHz, sin embargo un ancho de banda como este es muy bajo; a pesar de eso los sistemas usan ultra

banda ancha observando que el ancho de banda no es despreciable con respecto a la frecuencia central.

La propagación del sonido en un medio subacuático es baja y está alrededor de los 1500 m/s y está sujeta a fenómenos como las de multicamino, produciendo retardos en milisegundo; mientras el movimiento de las olas produce el efecto Doppler. En general los peores parámetros físicos de comunicaciones terrestres y satelitales son combinados en los modelos de comunicación subacuáticos. [19]

Las comunicaciones acústicas en medios subacuáticos se enfocan en cinco secciones principales:

1. Conductividad del agua
2. Atenuación
3. Ruido
4. Propagación multicamino
5. Efecto Doppler.

#### **2.3.4.1 Conductividad del Agua**

Una de las características principales del agua es su propiedad de aislante en su estado puro , pero en su estado natural esta contiene minerales y otras sustancias disueltas que hacen que tenga cierto porcentaje de conductividad, aunque esto es nocivo para las ondas electromagnéticas ya que presentan mayor atenuación al momento de propagarse mediante este medio. Otra propiedad física que varía la conductividad es la temperatura es decir que en el mar estas propiedades afectan mucho a las comunicaciones subacuáticas.

#### **2.3.4.2 Atenuación**

La atenuación en un medio de comunicaciones es un parámetro que disminuye la calidad de la señal al prologarse en un medio determinado, un canal subacuático está dado por la ecuación 3.6.

$$A(d, f) = d^k a(f)^d \quad (3.6)$$

Aplicando logaritmo se tienen la ecuación 3.7.

$$10 \text{ Log } A(d, f) = 10 k \log(d) + d 10 \text{ Log } (a(f)) \quad (3.7)$$

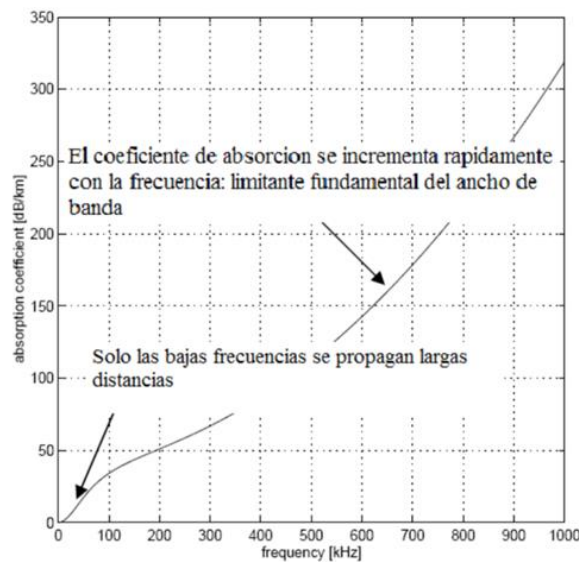
Donde

- $10 k \log (d)$  es la pérdida de propagación
- $d 10 \log (a(f))$  es la pérdida por absorción del medio
- $d$  es la distancia en [km]
- $f$  es la frecuencia en [kHz]
- $k$  es constante que puede adoptar los siguientes valores dependiendo del tipo de modulación :
  - $k=2$  , propagación esférica
  - $k=1.5$  , propagación practica
  - $k=1$  , propagación cilíndrica

Para calcular el coeficiente de absorción se usa una ecuación 3.8 empírica de Thorp's:

$$10 \log a(f) = \frac{0.11f^2}{1+f^2} + \frac{44f^2}{4100+f^2} + 0.000275 f^2 + \frac{0.003dB}{km} , \text{ para } f [\text{kHz}] \quad (3.8)$$

Esta ecuación se obtiene de forma empírica mediante el grafico de la figura 2. 28 que relaciona el coeficiente de absorción [dB/Km] en comparación a la frecuencia [kHz].



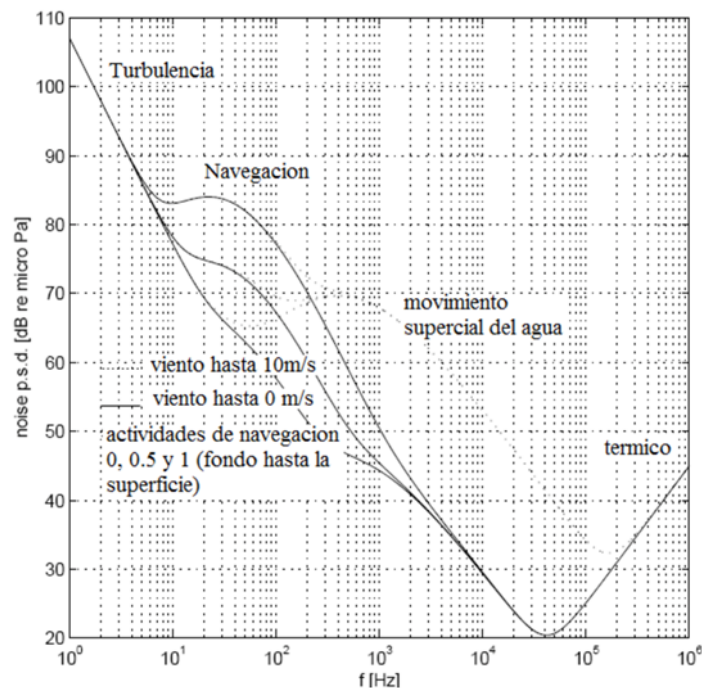
**Figura 2. 28: Coeficiente de absorción v/s frecuencia.**  
[19]

### 2.3.4.3 Ruido

Es una de las más importantes propiedades a tomar en cuenta en un diseño ya que en todo medio de comunicación existe. Al analizar los ruidos normalmente generados en el mar se tiene la ecuación 3.9, con sus respectivas expresiones:

- Ruidos por turbulencia =  $17 - 30 \log f$ ,  $f$  [kHz]
- Ruidos por navegación de barcos =  $40 + 20(s - 0.5) + 26 \log f - 60 \log(f + 0.03)$
- Ruido superficial =  $50 + 0.7 w^{0.5} + 20 \log f - 40 \log f + 0.4$
- Ruido térmico =  $-15 + 20 \log f$  (3.9)

En la siguiente figura 2. 29 se podrá observar el grafio de los tipos de ruidos en función de la frecuencia.



**Figura 2. 29: Coeficiente de ruido vs frecuencia.**  
[19]

Después de esto se hace un estudio de la relación señal ruido la que puede ser calculada mediante la expresión 3.10.

$$SNR(d, f) \sim 10 k \log d - d 10 \log a(f) - b 10 \log f \quad (3. 10)$$

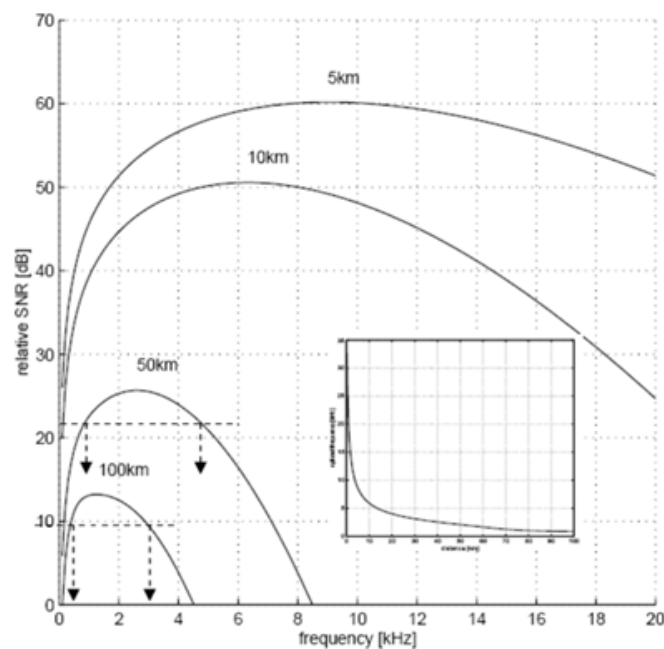
Donde

- $d$ = distancia en [km]
- $f$ = frecuencia en [kHz]

También se debe tomar en cuenta los siguientes criterios:

- Existe una frecuencia central óptica para una distancia dada
- El ancho de banda está limitado en el extremo inferior por el ruido y en el extremo superior por la absorción
- Una limitación extra es el ancho de banda del transductor utilizado (transmisor – receptor )
- La eficiencia del ancho de banda en la modulación es necesaria para una alta tasa de transferencia de datos en las comunicaciones.

El comportamiento de la relación señal ruido se puede observar en el gráfico de la figura 2. 30

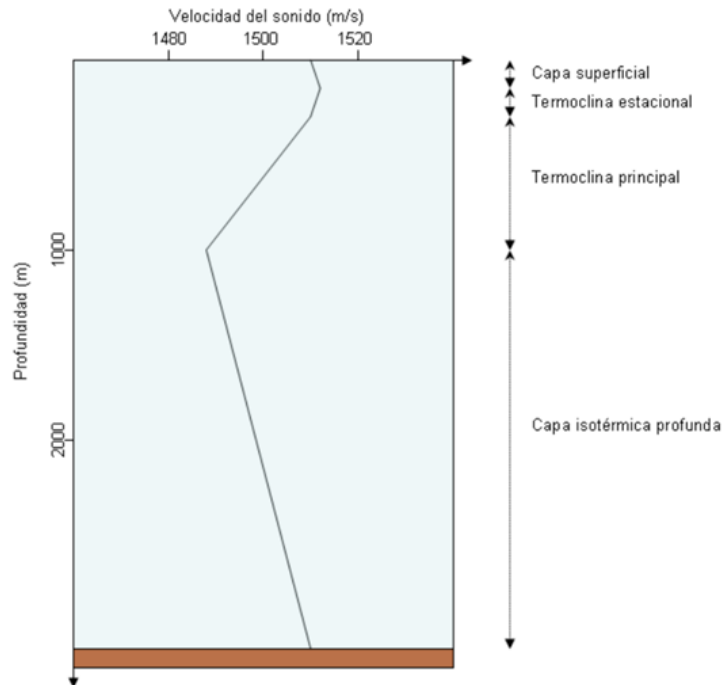


**Figura 2. 30: Relación señal relativa vs frecuencia.**  
[19]

#### 2.3.4.4 Propagación Multicamino

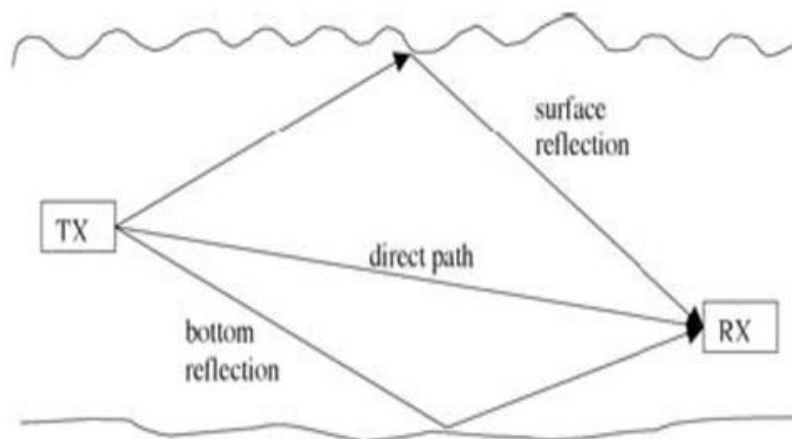
La velocidad del sonido bajo condiciones marinas cambia considerablemente respecto a medios de comunicación comunes esta velocidad está llegando a los 1500 m/s, a pesar de esto la velocidad

también varía por otro factor como es la profundidad, este fenómeno se puede observar en la figura 2. 31, en la cual se muestra la variación de la velocidad del sonido con respecto a la profundidad del mar, indicando algunas características del medio marino.



**Figura 2. 31: Perfil típico para latitudes medias.**  
[19]

Las aguas superficiales están sujetas a propagación multicamino, producida por la reflexión de la señal tanto en la superficie y en el fondo, como se muestra en la figura 2. 32. La propagación multicamino crea ecos de la señal, lo cual produce interferencia intersimbólica en un sistema de comunicación digital. Para superficies mayores a 100 m, los rayos se producen debido a reflexión; las ondas acústicas viajan bajo la velocidad del sonido.



**Figura 2. 32: Propagación multicamino en aguas de baja profundidad.**  
[19]

### 2.3.5 Comunicaciones Satelitales

Los satélites artificiales y satélites naturales alrededor de la tierra

Hay dos tipos de órbita:

- Geoestacionario
- Polar

#### 2.3.5.1 Satélite Artificial.

Los satélites artificiales geoestacionarios no son estacionarios, sino que viajan a la misma velocidad de la tierra, la ventaja de esto es que el receptor satelital en la tierra siempre apunta a la misma dirección en el cielo, la cual se encarga de transmitir señales generadas en la tierra y retransmitirlas a otro punto de la misma a un centro de comunicaciones que decodifica todo el mensaje para poder ser interpretado por cualquier persona.

Es decir, es un centro de comunicaciones que procesa datos recibidos desde nuestro planeta y los envía de regreso, bien al punto que envió la señal, bien a otro distinto. [20]

Los satélites manejan diferentes tipos de datos ya sea voz, imagen, datos etc., complementándolos con información del espacio exterior.

### 2.3.5.2 Servicios Satelitales

Los principales servicios satelitales son:

- Fijos (Punto-a-Punto o Multipunto)
- Radiodifusión (Broadcasting)
- Móviles
- Navegación
- Meteorológicos
- Científicos

### 2.3.5.3 Asignación de Frecuencias

La tabla 4, muestra las bandas comúnmente asignadas para las comunicaciones satelitales.

De la cual tomaremos la banda C, esta banda es usada para comunicaciones marítimas.

Rango de frecuencia	GHz ancho de banda
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
---------	----

**Tabla 3: Asignación de bandas.**  
[20]

#### 2.3.5.4 Transmisión Digital de señales Digitales

Para las comunicaciones satelitales están designados los siguientes estándares para la tasa de transmisión de datos dependiendo de los servicios como se puede ver en la tabla 5. Para los sistemas de alerta se usa el servicio de datos.

Tipo de Aplicación	Tasa de Transmisión
Voz	64 Kbps
Volp	8K-32Kbps
Audio	44K-128Kbps
Video	0.512M-1500Mbps
Video Comprimido	27Mbps
Datos ( Internet) – Ecuador	512-6000

**Tabla 4: Tasa de servicios para comunicaciones satelitales.**  
[20]

#### 2.3.5.5 Propagación de Ondas de Radio

Para establecer una comunicación satelital se necesita tener un criterio de diseño robusto para al enviar el mensaje este llegue de manera exitosa. Esta señal debe pasar por diferentes tipos de medio como son la atmosfera incluida la ionosfera las cuales causan perdidas por absorción y atenuación.

En la figura 3. 33, se muestra las pérdidas por absorción vs la frecuencia en la cual destacan las siguientes frecuencias:

- A 20 GHz: pérdidas por resonancia con las moléculas de agua.
- A 60 GHz: pérdidas por resonancia con el oxígeno.

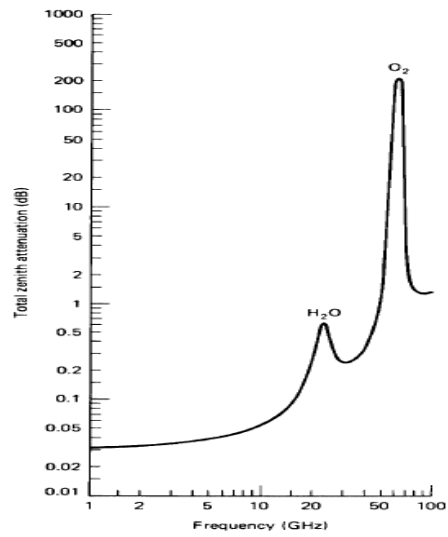


Figura 2. 33: Perdidas de absorción vs frecuencia.  
[20]

## CAPÍTULO 3

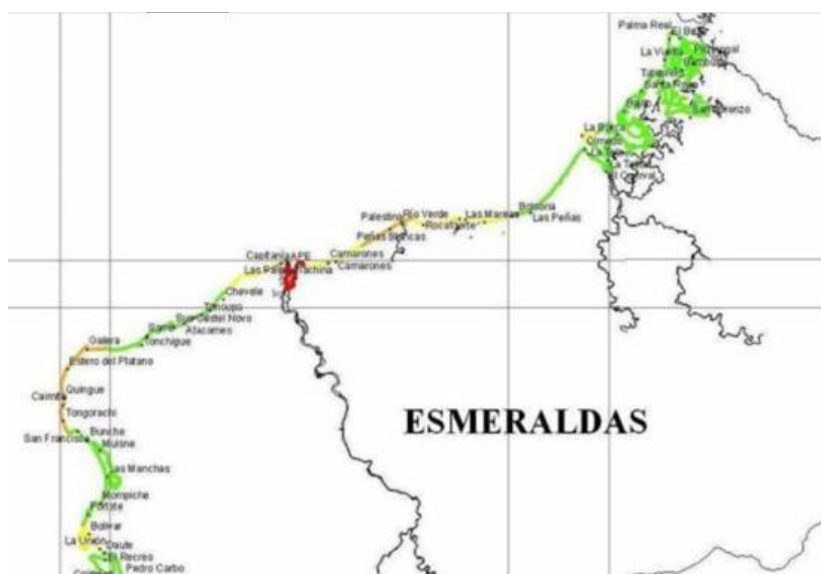
### 3 Diseño y simulación

#### 3.1 Diseño

##### 3.1.1 Justificación del Proyecto


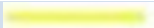


El lugar seleccionado para el estudio del diseño del sistema de alerta temprana, fue escogido debido a las condiciones particulares que se presenta en el lugar, estas características son el perfil costanero y la profundidad. Para lo primero el perfil costanero en Esmeraldas es plano, no dispone de pendientes lo cual facilita el arribo de grandes olas y con respecto a la profundidad esta posee 3000 m. En nuestro país es el punto que dispone de mayor profundidad.

Se puede observar en la figura 3. 1, los puntos sensibles por escala de colores, representando el rojo mayor magnitud.



**Figura 3. 1: Altura Aproximada de Olas.**  
[21]

En la tabla 6, se muestra el tamaño de la ola por cada escala de color, altura estimada de arribo en metros y nivel de consideración.

Escala de Color	Metros (m)	Altura de Ola
	1,26-3,00	BAJA
	3,01-6,00	MEDIA
	6,01-9,00	ALTA
	9,01-11,31	EXTREMA

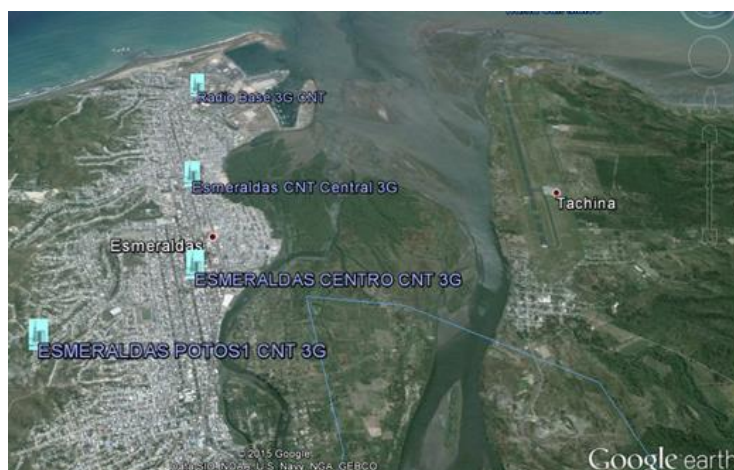
**Tabla 5: Altura aproximada de arribo ola de Tsunami.  
[21]**

Para el desarrollo del sistema de alerta se tiene presenta las zonas de riesgo en Esmeraldas, para en base a esto dar cobertura con el sistema de sirena. Las zonas son las siguientes:

- Ver en Anexo 3 la Zona 1, correspondiente a la Parroquia Luis Tello.
- Ver en Anexo 4 la Zona 2, correspondiente a la Parroquia Bartolomé Ruiz.
- Ver en Anexo 5 la Zona 3, correspondiente a la Parroquia Esmeraldas.
- Ver en Anexo 6 las Zonas 4 y 5, correspondiente a la Parroquia 5 de agosto.
- Ver en Anexo 7 la Zona 6, correspondiente a la Parroquia Tachina.

En Esmeraldas se recorrió el lugar para poder ubicar y georreferenciar la localización de las BTS de los operadores móviles como CNT y CLARO, para corroborar la existencia de cobertura celular en el sector.

En la figura 3.2 y tabla 7, se observa la localización de las estaciones base de transmisión de la operadora telefónica CNT EP.

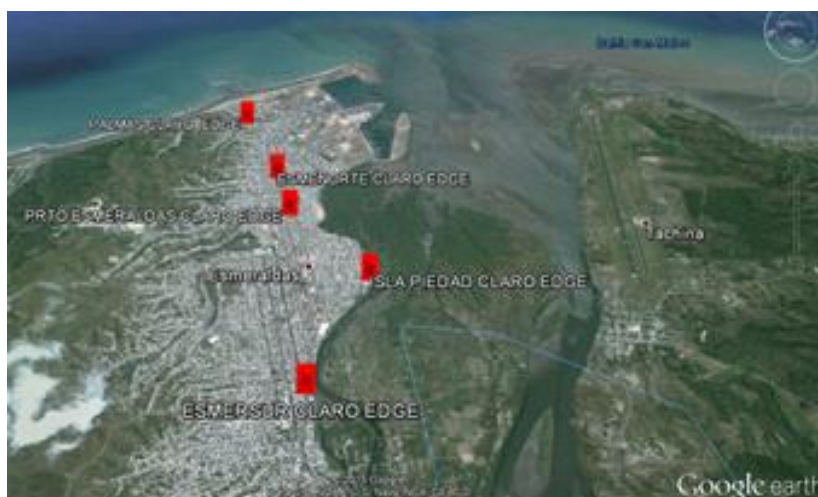


**Figura 3. 2: Ubicación en Esmeraldas BTS DE CNT.**  
[22]

Empresa	Tipo	Comuna	Dirección	Longitud	Latitud
CNT	BTS 3G			79°39'14.82"O	0°59'13.25"N
CNT	CENTRAL			9°39'13.34"O	0°58'29.57"N
CNT	BTS 3G	POTOS		79°39'45.29"O	0°57'29.86"N
CNT	BTS 3G	CENTRO		79°39'10.12"O	0°57'54.02"N

**Tabla 6: Latitud y longitud de BTS DE CNT.**  
[22]

En la siguiente figura 3.3 y tabla 8 se observa la localización de las estaciones base de transmisión de la operadora telefónica CLARO.



**Figura 3. 3: Ubicación en Esmeraldas BTS de Claro.**  
[22]

Empresa	Tipo	Comuna	Longitud	Latitud
CLARO	BTS EDGE	SUR	79°39'4.86"O	0°57'26.39"N
CLARO	BTS EDGE	Isla Piedad	79°38'49.58"O	0°58'4.03"N
CLARO	BTS EDGE	Puerto	79°39'13.13"O	0°58'30.47"N
CLARO	BTS EDGE	NORTE	79°39'18.11"O	0°58'47.58"N
CLARO	BTS EDGE	UNIESTE	79°39'53.86"O	0°58'27.82"N
CLARO	BTS EDGE	PALMAS	79°39'30.29"O	0°59'15.21"N

**Tabla 7: Latitud y Longitud de BTS de Claro.**  
[22]

### 3.1.2 Solución al problema

Como se observa en la figura 3.4, el esquema de la solución planteada consta de un sistema de kit marino compuesto por medidor de presión en la profundidad y boya de superficie, este sistema de boyas se encuentra alrededor del mundo de varios fabricantes, las cuales permiten monitorear en los distintos centros de monitoreo tanto regional como local.

La comunicación satelital permite envío de datos censados desde la boya hacia el satélite, luego los datos receptados pasan a una base de datos de un servidor para darle salida por protocolo TCP/IP y puedan ser monitoreados por los centros de control locales, regionales de los demás países que integran el sistema de prevención de amenazas de Tsunami.

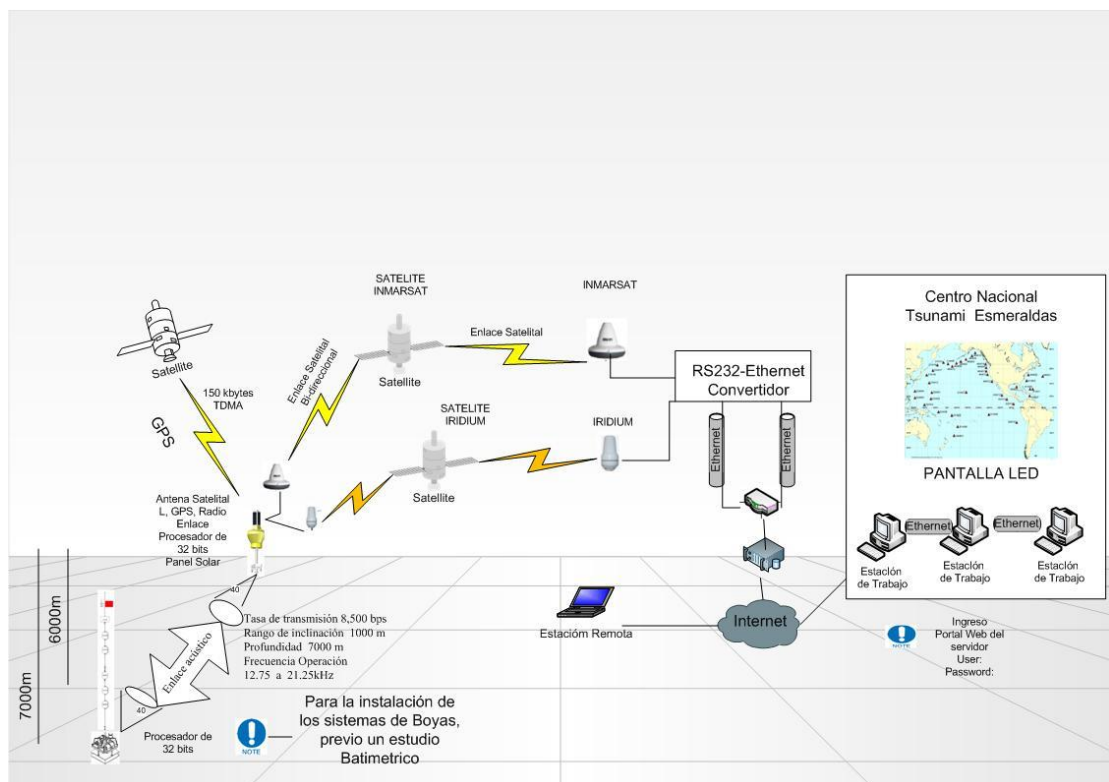
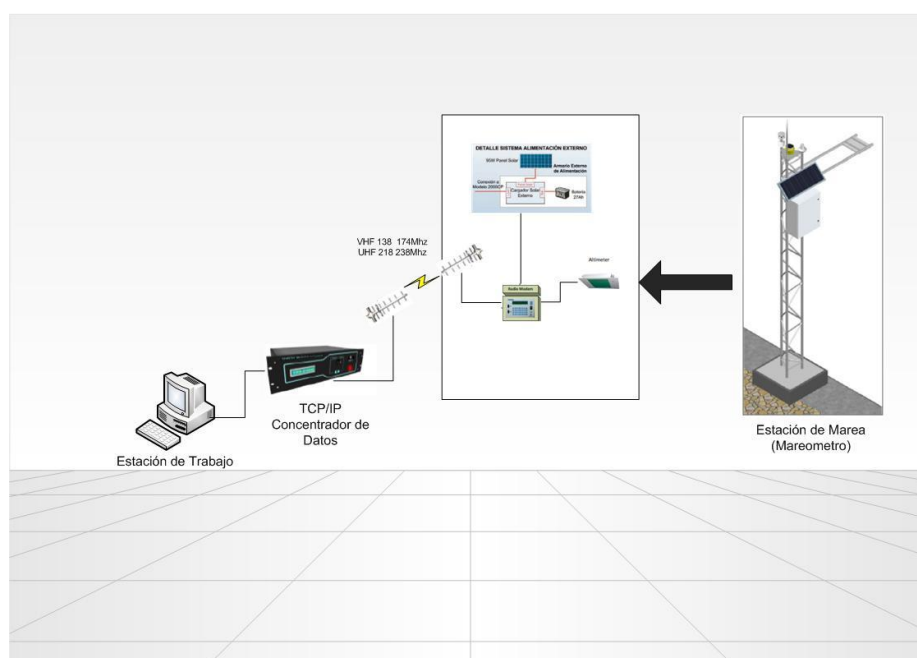


Figura 3. 4: Descripción de la propuesta.  
[23]

Cabe mencionar que el satélite antes descrito no es uno solo, sino que se trata de varios satélites enlazados entre ellos y a su vez cada uno se conecta con la estación de monitoreo más cercana, para poder recibir y transmitir datos.

El concentrador de información TCP/IP tiene multipropósitos se lo puede usar para crear un enlace redundante entre las boyas ubicadas en el perfil costanero hacia el centro de monitoreo permitiendo tener redundancia en el sistema. Este concentrador también se lo usa para poder comunicarse con el mareógrafo mediante enlace VHF, UHF, W-LAN, GPRS/EDGE. (Ver figura 3. 5).

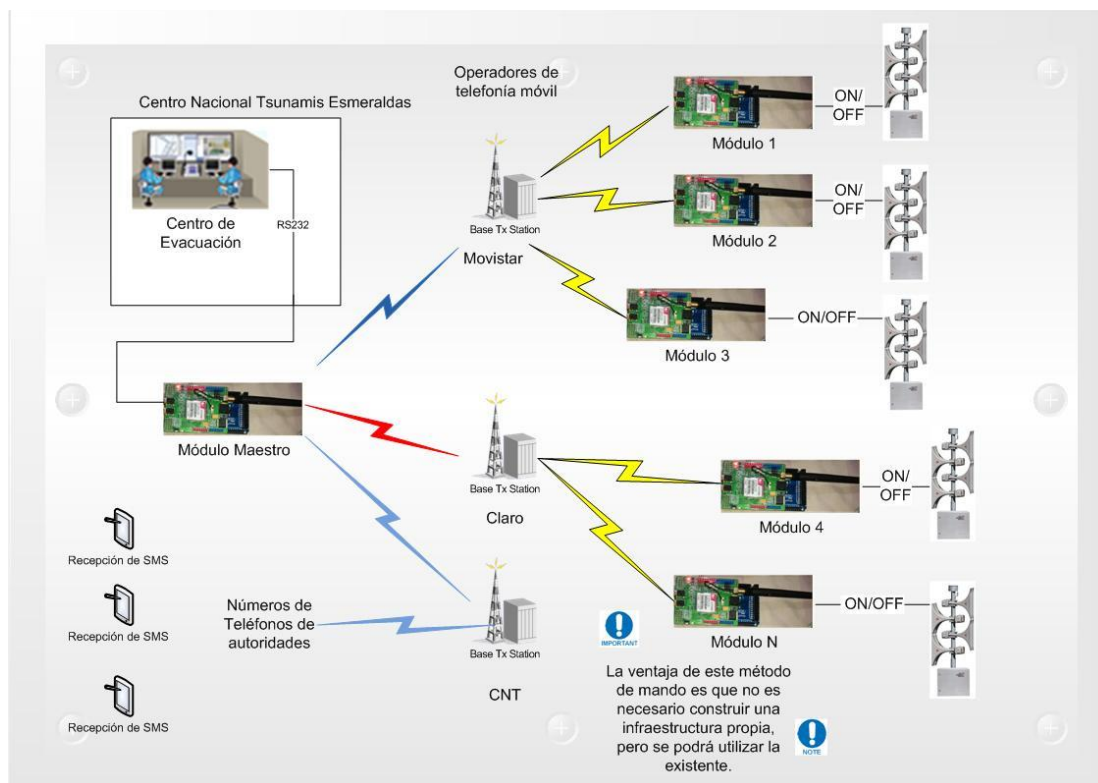


**Figura 3. 5: Esquema para comunicación con mareógrafo.**  
[23]

En la figura 3. 6 se presenta el esquema del sistema de alerta, diseñado usando módulo Arduino, el cual es un dispositivo que se programa en base a código libre. Este módulo sirve para poder establecer la comunicación desde un módulo de Arduino Shield GSM con los otros dispositivos; se conecta por puerto serial desde una estación de trabajo, con aplicativo de control desde Labview para poder controlar envío de mensaje hacia los módulos receptores localizados en las zonas de alerta donde se podrán distribuir N módulos para dar la suficiente cobertura; se puede establecer



en el módulo maestro, el número de las autoridades como el director de la Armada, Capitanía del puerto, Director de Gestión de Riesgo, Alcalde de Esmeraldas, etc. Para el respectivo envío del mensaje de alerta de Tsunami hacía las autoridades.



**Figura 3. 6: Esquema para comunicación con mareógrafo.**  
[23]

Con el avance de las tecnologías en las redes celulares, los usuarios han venido usando la red para el envío de mensajes de texto y llamadas; la plataforma de SMS es de amplio conocimiento en la población mundial, en sus inicios fue el boom en las comunicaciones pero en la actualidad los usuarios usan más el tráfico de datos en sus terminales móviles que el envío de SMS, dejando libre el uso de la plataforma de SMS, siendo ideal para permitir realizar el envío de mensaje de texto para la activación del sistema de alarma.

Para garantizar la cobertura de la red de los operadores nos basamos en la aplicación geo-portal de la página de Supertel en las figuras: 3.7, 3.8 y 3.9, ubicación de radio bases Claro, CNT EP y Movistar.

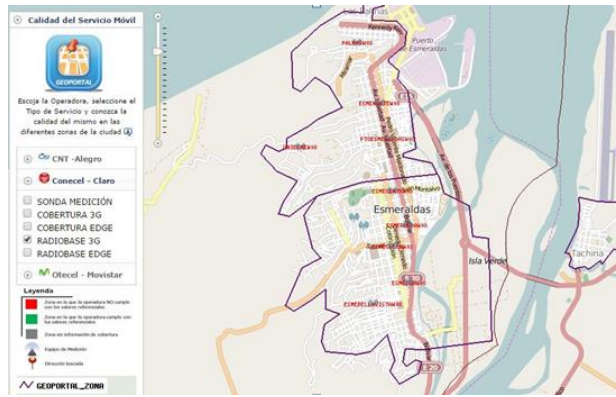


Figura 3. 7: Radio bases Claro. [24]

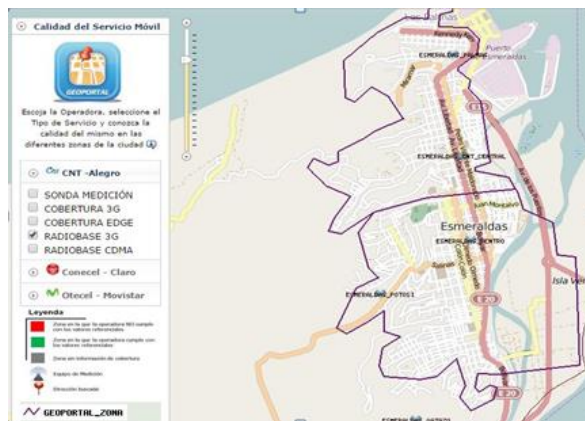


Figura 3. 8: Radio Bases CNT. [24]

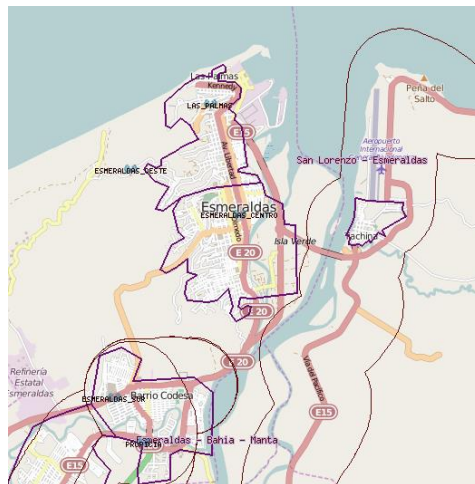
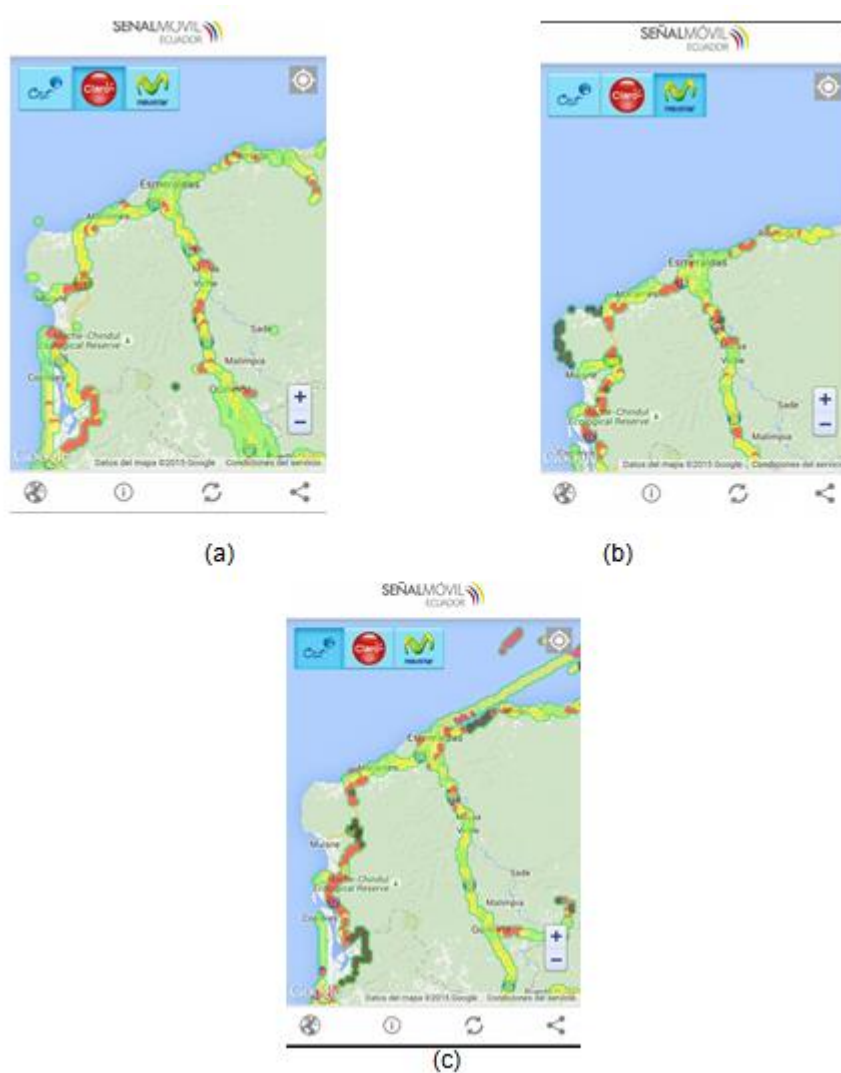


Figura 3. 9: Radio Bases Movistar. [24]

En la figuras 3.10: (a), (b), y (c), se aprecia la cobertura de la señal que tienen actualmente los operadores móviles.



**Figura 3. 10: Señal de cobertura de las empresas de telefonía móvil:  
(a) Claro, (b) Movistar y (c) CNT EP.  
[25]**

Como se observa en las siguientes figuras 3.11, y 3.12 según el portal de la ARCOTEL, sobre datos de la zona: la calidad del servicio de SMS.

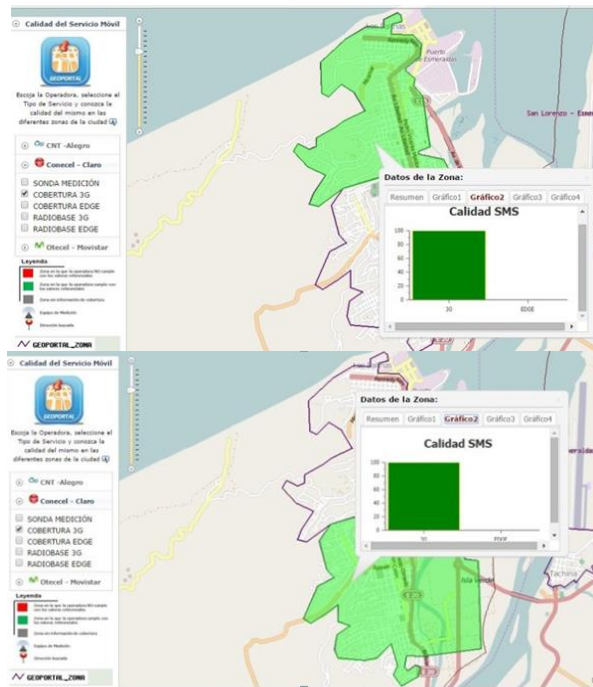


Figura 3. 11: Datos de la zona para operadora Claro.  
[24]

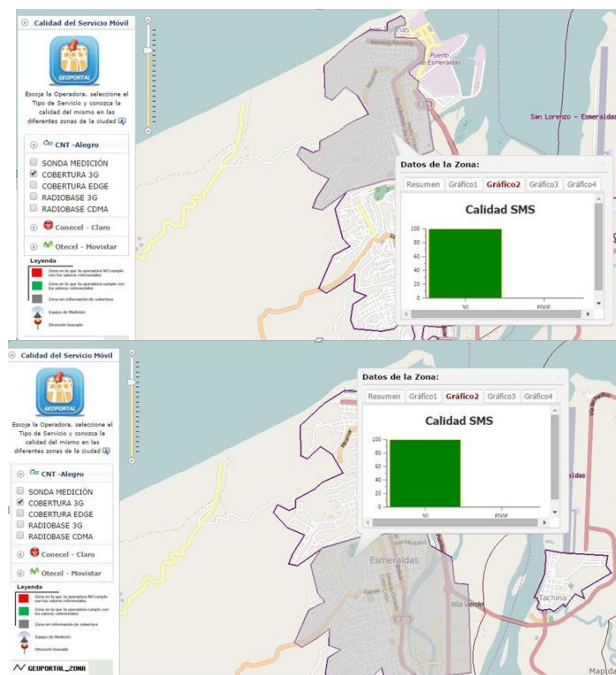
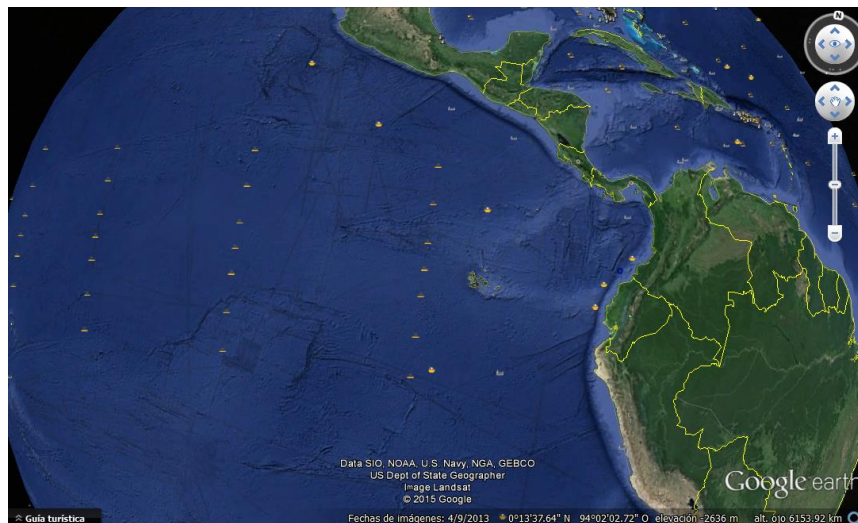


Figura 3. 12: Datos de la zona para operadora CNT EP.  
[24]

Boyas Tsunami Existentes

En base a la gráfica tomada desde la NOAA en formato .KMZ, se puede apreciar la existencia de boyas Tsunami (ver figura 3.13), por parte de distintos países y organizaciones regional para supervisar la presencia de un evento de Tsunami.



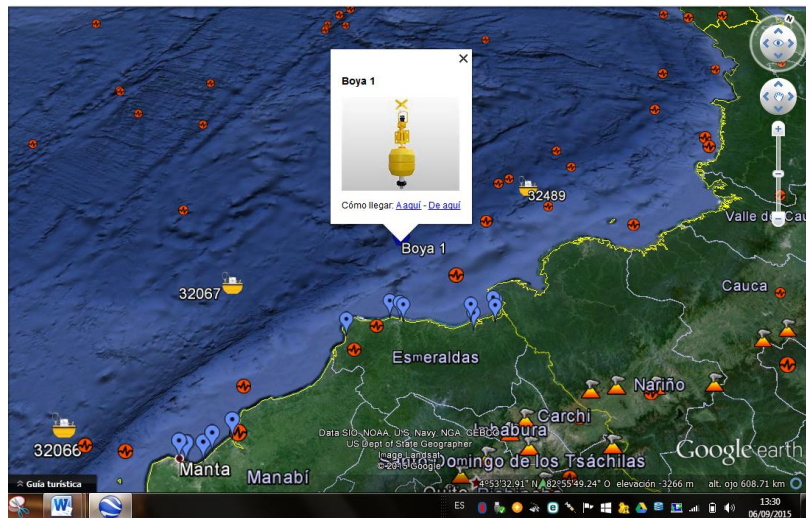
**Figura 3. 13: Localización de Boyas Existentes.**  
[26]

Actualmente según archivos de posición KML, se aprecia la existencia de dos boyas en las costas de Ecuador. Al revisar los datos transmitidos por la boya 32.066 de Esmeraldas, se puede apreciar que no está en funcionamiento, dado que no se registra datos transmitidos recientemente y al comprobar con registro de datos antiguos se observó irregularidad de pocos datos transmitidos.

### **Boya Tsunami Proyectoada**

Se plantea la localización de una boya de Tsunami (ver figura 3.14), en la localización: Latitud:  $1^{\circ}32'10.93^{\circ}$  N, Longitud:  $80^{\circ}6'23.45^{\circ}$ O, por las condiciones del lugar, está rodeado de registros de eventos sísmicos como el de M 7.7 el 12 diciembre de 1979, los cuales se pueden observar al ingresar en Google Earth, Mw 5.1 el 22 de agosto del 2000 y Mw 6.7 el 9 abril de 1976, todas estas cerca de las costas de Ecuador.



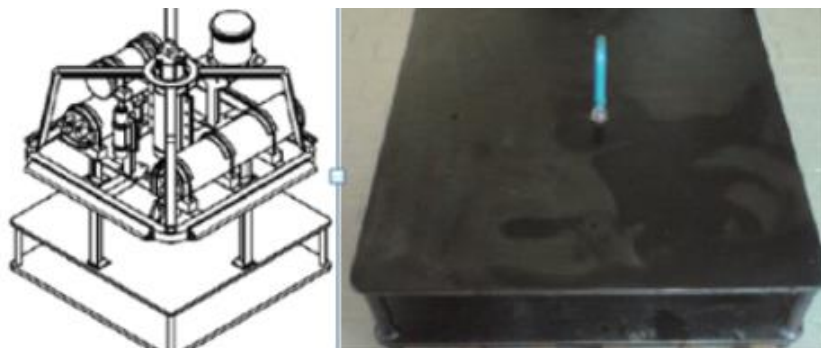


**Figura 3. 14: Localización de Boya Proyectoada.**  
[26]

### Módulo Submarino

#### Estructura del dispositivo.

Como se observa en la figura 3.15, la estructura de la unidad para el fondo del mar.



**Figura 3. 15: Estructura del módulo submarino e imagen del lastre.**  
[27]

El material con el cual está elaborado la estructura es de acero inoxidable tipo AISI316L, la cual cumple siguientes parámetros para el módulo submarino como:

- Tamaño: 900x900x800mm
- Peso en el aire: 180 kg

- Peso en el agua de: 110 kg
- Peso del Laste en el aire: 220 kg
- Peso del Laste en el agua: 185 kg

Para la instalación y recuperación del módulo submarino se debe considerar los siguientes factores como: velocidad y fuerza:

- La fuerza neta ejercida en caída libre debe ser de 886 N.
- Con una velocidad constante máxima en la instalación de 1,2 m/sg.
- La fuerza neta a la cual debe ser sometida para recuperar el módulo en el caso de necesitarlo por mantenimiento o cambio debe ser de 857 N
- Y la velocidad con la cual debe ser recuperado de 1,3 m / sg.

### **Sensor de Presión**

El sensor (ver figura 3.16) tiene un rango de alcance de 7000m, con una resolución de 0.1ppm un muestreo cada 15 segundos, a una temperatura de operación entre -4°y 45° C.



**Figura 3. 16: Sensor de presión Digiquartz Paroscientific.  
[27]**

### **Enlace acústico**

El dispositivo (ver figura 3.17) está contenido en una estructura doble de acero inoxidable, el peso limite el cual puede soportar es de unos 2500 kg y hasta una profundidad determinada de 6000m.



**Figura 3. 17: Dispositivo de alcance acústico oceánico 2500.**  
[27]

### **Equipo acústico**

Para la modulación el equipo acústico utiliza amplitud de espectro con una velocidad de procesamiento de datos de 5000 bps, con un rango de inclinación de 10000m resistiendo una profundidad de hasta unos 7000m. Mostramos en la siguiente figura 3.18:



**Figura 3. 18: UWM 10000 Módem Acústico.**  
[27]

### **Estructura de almacenado de la batería**

La alimentación del sistema se la realiza a través de baterías de 14.4V; 518Ah, entrega 1 A como máximo. En la batería se dispondrá de opciones de monitoreo de parámetros como la temperatura interna, la presión interna y hasta en caso de ingreso de agua. Como protección (ver figura 3.19) del paquete de baterías son almacenadas en una estructura de Titanio. Se muestra en la siguiente Ilustración:





**Figura 3. 19: Estructura contenedora de la Batería.**  
[27]

### **Estructura de protección componentes electrónicos**

El mecanismo electrónico del enlace acústico se alimenta de 25.2V almacena 104Ah y entrega 5Amp como máximo. La parte electrónica está compuesta de una tarjeta de procesamiento, una tarjeta de estado un panel de conmutación DC/DC. (Ver figura 3. 20)



**Figura 3. 20: Estructura de titanio para protección componentes electrónicos.**  
[27]

Ver Anexo 8, se observa los parámetros detallados del equipo.

Como se observa en la figura 3.21, el Tsunamómetro tiene dos modos de funcionamiento: modo normal y modo tsunami; el primero de ellos toma datos de presión de agua sobre el cada 15min y los

envía hacia la boya de superficie cada hora, cuando existe una variación en el nivel de presión este realiza mediciones cada 15sg de las cuales toma dos mediciones y las compara con el nivel de umbral (30mm) si existe un cambio activa el modo Tsunami y envía los datos hacia la boya cada 5min.

En la figura 3.22 se observa cómo opera la boya de superficie, esta espera un bit de control en el cual se verifica si está en el rango de alcance entre los módulos acústicos del tsunamómetro y la boya de superficie; si hay datos enviados desde el tsunamómetro entonces la boya procesa envía los datos hacia el satélite; para esto la boya está equipada con redundancia de módem satelital en el caso de mal funcionamiento de alguno de ellos.

#### **DIAGRAMA DE FLUJO**

En la siguiente figura 3.21, se detalla cómo funciona el equipo.

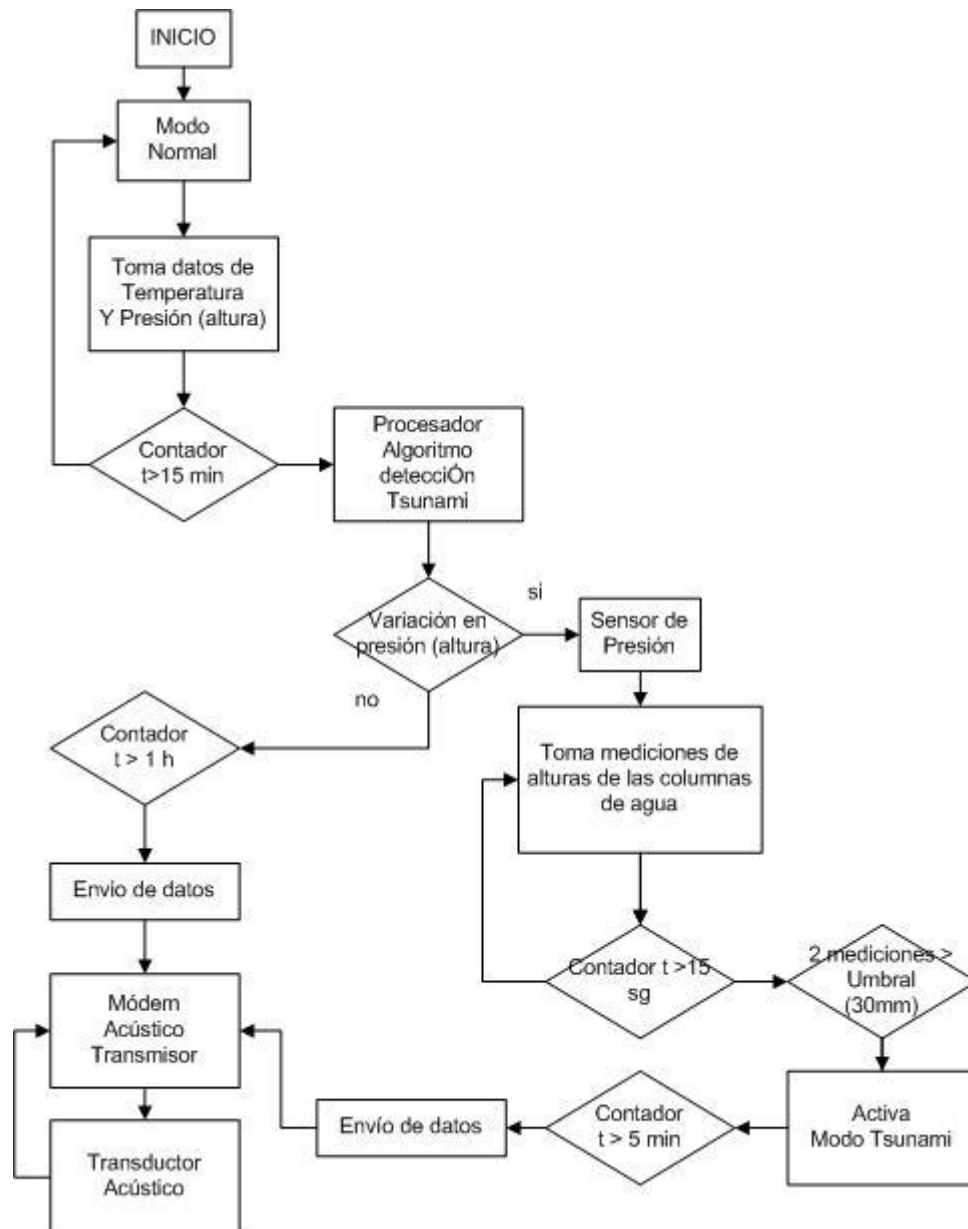


Figura 3. 21: Diagrama de flujo del Tsunamómetro.  
[23]

### Boya de Superficie

A continuación se describen los componentes importantes con los cuales dispone el equipo como son:

### Lastre y Línea de fijación

Esto es un gran factor el cual se debe considerar al momento de realizar el diseño, conocer a que profundidad y que fuerza se tiene en la corriente marina.

### **Estructura de la Boya.**

La boya debe disponer de señalización de aviso tanto para el día como para noche, para el día se tiene un reflector de radar para que navíos pueden detectar su presencia por medio de un sonar y para la noche disponen de luz marina que recibe alimentación por medio de los paneles, esta luz tiene un alcance de visibilidad por encima de las 4 millas náuticas y un plano focal de 3500mm.

### **Sistema independiente de fuente de alimentación.**

Se cuenta con un sistema de energía auto sustentado compuesto por 4 paneles solares de tipo poli cristalino con una potencia de 50W a 12VDC, por cada panel se encontrara conectado 1 acumulador de plomo tipo gel. El proceso de control de carga es supervisado por un controlador de carga el cual ayuda a mejorar la eficiencia en el sistema, se debe contar con un controlador por cada panel solar. Todo el sistema antes mencionado nos permite disponer de energía en un lapso de 70 días tomando como consideración días con ausencia de luz solar.

### **Estructura Electrónica.**

La estructura cilíndrica bajo estándar PTFE, dispone de 8 conectores debajo del agua para los módem satelitales, módem acústicos, módem WIFI, y un conector para la fuente de alimentación.

Ver en Anexo 9, los parámetros detallados del equipo.

### **DIAGRAMA DE FLUJO**

En la siguiente figura 3. 22, se detalla cómo funciona la boya de superficie.

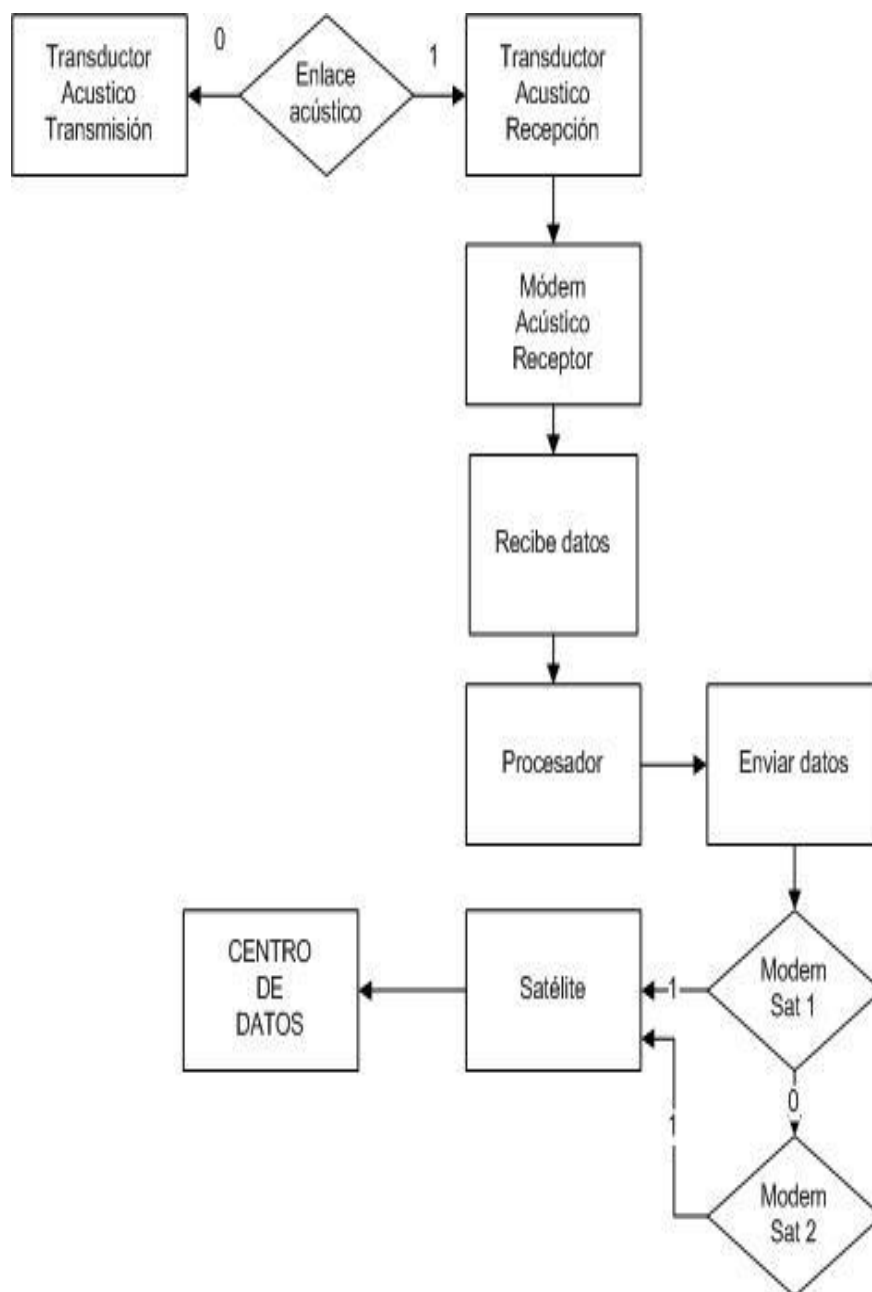


Figura 3. 22: Diagrama de flujo de la boya de superficie.  
[23]

## COMUNICACIÓN SATELITAL

### Módem Satelital

El módem satelital con él trabaja la boya superficial tipo Saylor

- Sistema de mensajes Inmarsat en banda C.

- Se dispone de una antena GPS con 12 canales.
- Bajo protocolo RS232.
- Longitud del cable a la antena menor a 30m.
- La tasa de transferencia del mensaje es de 600bit/sg.
- El tamaño máximo del mensaje que se puede transmitir es de 10 Kbyte
- Frecuencias de operación
  - Para recepción 1525.0 – 1559.0 MHZ
  - Para transmisión 1626.5 – 1660.5 MHZ
  - GPS: 1575.42MHZ

En la figura 3. 23, se observa el mapa de cobertura para la banda C, permitiéndonos hacer uso de esta red satelital para la comunicación de la boya con el centro de datos.



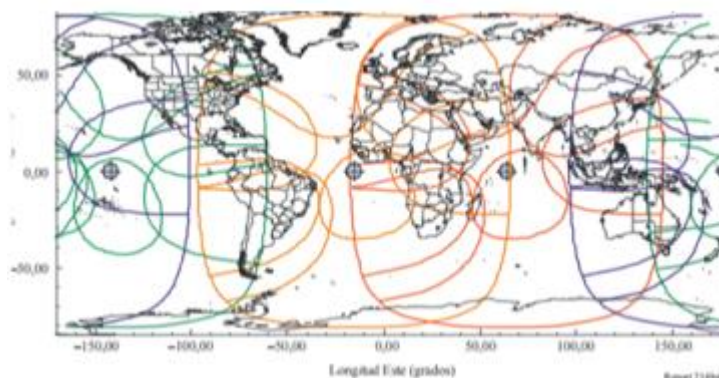
**Figura 3. 23: Mapa de Cobertura de Banda C.**  
[29]

### **Red satelital Inmarsat**

Posee órbita geoestacionaria, es recomendada esta red satelital por la UIT-R para el servicio de cobertura satelital en casos de emergencia. Hasta el 2009 se conocía la existencia de un total de once dispositivos satelitales, que cruzan por la línea del Ecuador, permitiendo fácilmente la colocación de una antena sobre la boya que tiene una ubicación fija,

existiendo línea de vista segura entre ella con el satélite, la posición de la estación satelital no varía.

Esta red satelital (ver figura 3.24) facilita la comunicación con el sensor o con una red de sensores, dispositivos de electrónicos de conmutación para él envío de paquetes de información, los cuales son enviados hacia dispositivos terminales fijos en el caso de las computadoras para el centro de monitoreo.



**Figura 3. 24: Cobertura mundial de la Inmarsat.**  
[30]

## MAREÓGRAFO

Con el equipo eTide-I modelo T (ver características en Anexo 10), se monitorea el comportamiento del nivel del agua del mar, analizando sobre un largo periodo sin interrupciones se debe mantener estable la referencia del nivel de elevación, no debe haber comportamientos brusco en la forma de onda lo cual indicaría posible alerta de Tsunami.

## ESTACIÓN DE TRABAJO

Los componentes que se detallan a continuación son los necesarios para la instalación de una estación de trabajo.

- **Pantalla para visualización colectiva**

La pantalla debe ser de tecnología LED con pantalla de 75” medido diagonalmente, una pantalla a color de 24 bit con pixeles de

1980x1080, que cuente con conexión HDMI o VGA DB15 y una alimentación de 110VCA.

- **Estructura para montaje de la pantalla en la pared**

El soporte es de fierro galvanizado pintado al horno, el cual deberá soportar la pantalla de 75" antes mencionada.

- **Pantalla para visualización individual**

Se constará con dos pantallas de 24" para la visualización, una de ellas como respaldo, también de tecnología LED, pantalla a color de 24 bit la resolución debe ser de 1980x1080, disponible conexión VGA DB15 O HDMI y una alimentación de 110VCA.

- **Estación de Trabajo**

La misma debe constar de computador con un procesador Intel i7, con una memoria de 8GB de RAM como mínimo, para la unidad de almacenamiento principal un disco de estado sólido (SSD) de 1TB o 500GB. Con disponibilidad de puertos USB categoría 3.0 como mínimo. Puerto de salida HDMI. Mouse óptico. Sistema operativo Microsoft Windows 7 con sus respectivas licencias, licencia para Microsoft Windows Server 2012 o el actualizado. Software de protección: Antivirus, anti-spyware.

- **Software para control de aplicaciones**

El software debe permitir opciones de control, reporte y monitoreo, debe estar en constante actualización de los datos desde el proveedor. En el se debe contar con mecanismos para brindar seguridad en la activación, por personas competentes a cargo de la activación de los sistemas.

Software que permita el control de manera remota o automática luego de un tiempo de espera con medios de redundancia para prevenir fallas en la activación.

Software para control de geo localización ID para determinar por georreferenciar el lugar de emergencia y poder activar él envió de la señal de alerta hacia los dispositivos que estén dentro de la área de emergencia.

- **Fuente ininterrumpida de alimentación**



Se debe contar con una fuente ininterrumpida fuente de alimentación para cada estación de trabajo la misma que fue anteriormente detallada sus componentes.

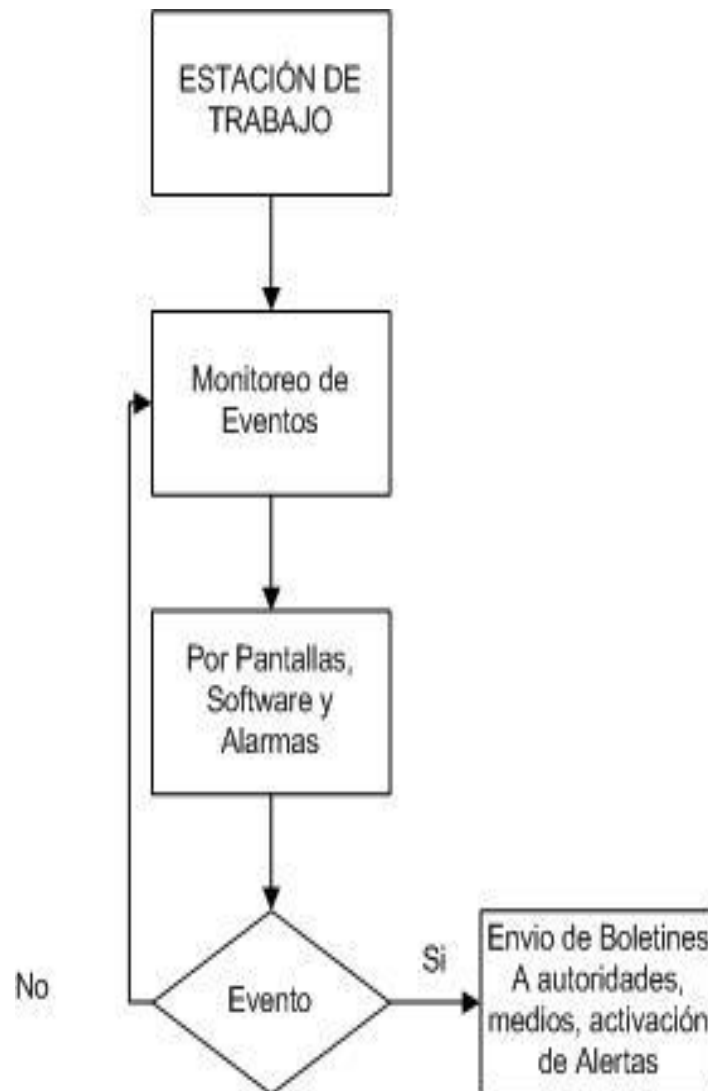
Dispositivo con forma de onda tipo sinusoidal pura, con tiempo de transferencia aproximadamente 0, debe brindar un rendimiento de 8 horas para cada equipo de la estación de trabajo. Conexión a fuente de alimentación principal de 101VCA. [32].

Como podemos ver en el figura 3.25, en la estación de trabajo está en constante monitoreo durante 24 horas, 7 días de la semana, durante los 365 días del año

Por computadoras, pantallas y software a la espera de un evento para proceder a enviar los boletines y avisos respectivos.

## DIAGRAMA FLUJO

En la siguiente figura 3.25, se detalla cómo funciona la estación de trabajo.



**Figura 3. 25: Estación de Trabajo.**

## SISTEMA DE ALARMA

Tiene la misión de comunicar a la población por medio de señales audibles la emergencia. Considerando que su operación estará en función

de las condiciones atmosféricas del Litoral de Esmeraldas como temperatura y humedad. La temperatura máxima media en el aire tiene valores de entre 25.9 y 26.9° C en Esmeraldas, para Tachina va entre 27,4 y 28,6°C. La temperatura mínima media en Esmeraldas es entre 23.6 y 25.7° C, para Tachina varía entre 24,1 y 25,6°C. En los valores atmosféricos de la humedad relativa en el año, toman valores que varían entre 62.8% para Esmeraldas y el 79.4% para Tachina. [33]

### **Mástil**

Debe ser de cemento armado forma cónica auto soportado su estructura para que permita soportar panel solar, para rayos, caja de control y la sirena, a una altura de 15m referenciado desde el suelo, en su interior con un ducto para cables de alimentación a energía eléctrica de baja tensión dotada desde la red pública

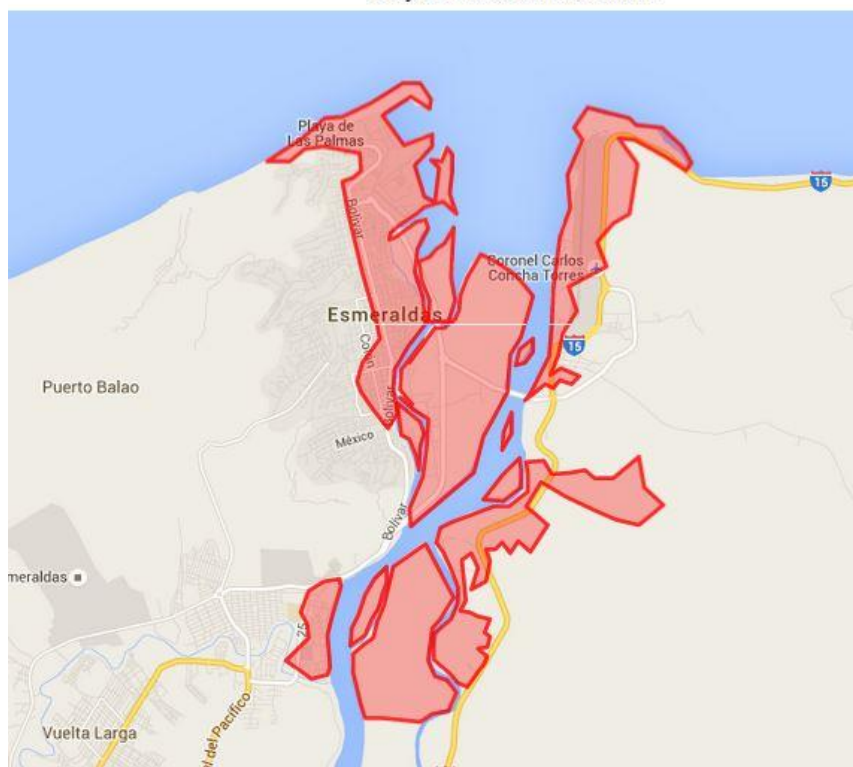
### **Cobertura de la alarma sonora**

Por medio del software online (Acusticus) el cual permite realizar la factibilidad fácil para un sistema local de alerta de Tsunami para el cantón de Esmeraldas de la provincia de Esmeraldas. Esto se realiza con el objetivo de poder establecer el número de sirenas que se necesitara para cubrir el área de riesgo en el caso de un evento de Tsunami y para saber en qué localización aproximada se deben ubicar las sirenas.

El símbolo de peligro, es lo que primero debemos escoger para posicionar la zona de riesgo, en el caso que se necesite añadir más zonas de riesgo basta volver a seleccionar el icono de peligro y colocar en el lugar a definir, si ya no necesitáramos seleccionar áreas de riesgo salimos de la opción.

Procedemos a graficar manualmente nuestro polígono del área de riesgo, el cual dependerá del contorno del lugar, a partir de unas graficas de Inundación del INOCAR (Anexo 1 y 2), las cuales servirán de guía para realización del bosquejo, ver figura 3.26.

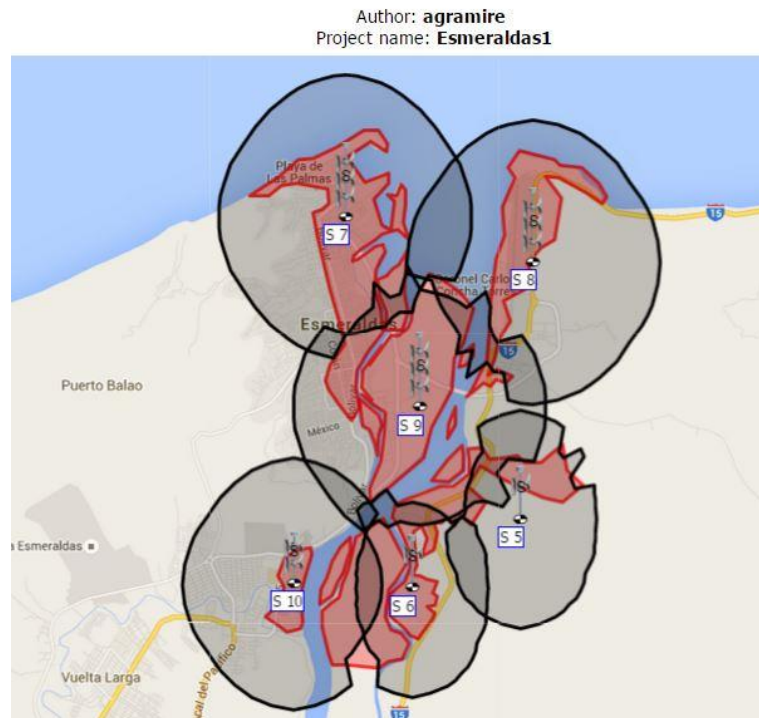
Author: **agramire**  
Project name: **Esmeraldas1**



**Figura 3. 26: Zona de riesgo.**  
**[34]**

Luego de seleccionada la zona de riesgo, colocamos las sirenas, existen potencias desde 300, 600, 900, 1200, 1500, 1800, 2400, 3000W.

Las sirenas de mayor potencia (900 o 1200W) son utilizadas cerca del puerto y en el aeropuerto por su proximidad al ingreso marítimo entre ambas cubren esta área, notificando tanto a las personas cercanas al lugar como embarcaciones en el mar, las cuales que se encuentre dentro del lóbulo de cobertura. Las de menor rango (600W) iremos colocando tratando de que cubran entre ellos nuestra área zona de alto riesgo señalada por los patrones de cobertura ver la figura 3.27.



**Figura 3. 27: Zona de Cobertura de Sirenas.**  
[34]

Se debe de considerar además factores como la presión medida a 30m desde la agrupación de las sirenas, la cual no debe ser inferior a 120dB a una frecuencia de 450 Hz. La presión sonora localiza a 1500m desde la agrupación de sirenas debe ser mayor a 10dB por encima del promedio a la presión sonora del ruido ambiental, no menor a 70db para zonas denso pobladas y un valor de 60 dB para cualquier otro caso. [31].

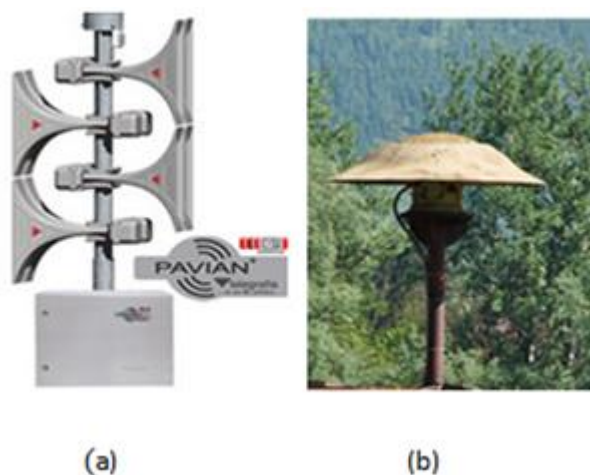
### **Justificación**

El uso de sirenas electrónicas son frecuentemente usadas para este tipo de soluciones, porque trabajan con un sistema de acumuladores de energías los cuales reciben energización continua, permitiendo además de reproducir alertas sonoras también nos permiten reproducir alertas de mensajes de voz.

Los sistemas de sirenas motorizadas tienen una gran desventaja porque estas dependen de una inmensa fuente de energización eléctrica la cual debe ser permanente dado el consumo que requieren

para realizar su funcionamiento y no bastaría conectarla con acumuladores.

Este tipo de sistema de sirena motorizada tiene una particular desventaja frente a las sirenas electrónicas, siendo que solo pueden reproducir ciertas tonalidades, no reproducen todas las frecuencias solo ciertos tonos oscilantes. (Ver Figura 3.28).



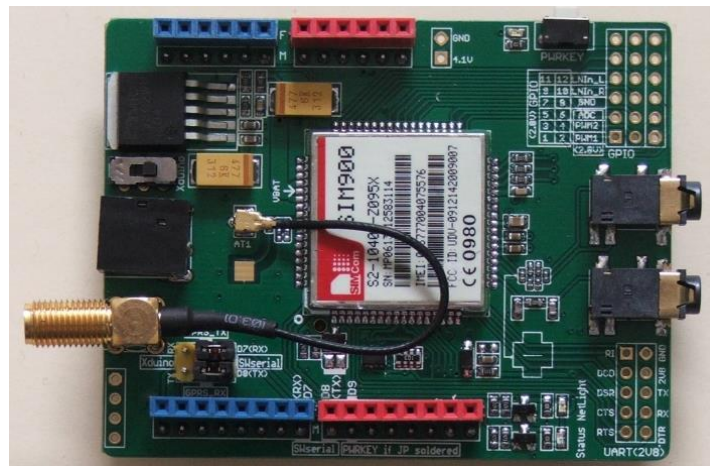
**Figura 3. 28: (a) Sirena Electrónica, (b) Sirena motorizada.**  
[35]

Aprovechando el recurso de la red de las operadoras telefónicas se diseñó en base a código libre Arduino; usando la plataforma con placa programable y módulo Arduino Shield GSM/GPRS, las cuales tienen la factibilidad de al ser quad band el uso universal en cualquier parte del mundo y no hay problema con incompatibilidad de la sim de la operadora con la placa.

En donde se usa un módulo de Arduino shield GSM/GPRS como maestro y los demás que podrían ser N módulos distribuidos en el perfil costanero, además se puede configurar números como el del delegado de la Capitanía de Esmeraldas, El Alcalde, para el Director de la Armada y para personal del Sistema de Gestión de Riesgo (SGR).

### **Módulo GSM /GPRS/ SMS [36]**

Dispositivo basado en el CHIP 900 de la empresa SIMCOM (ver figura 3. 29), su funcionalidad permite otorgar comunicación sobre la red de los operadores telefónicos mediante uso de SMS y otras plataformas, etc. La compatibilidad con diversos módulos entre originales e imitaciones de Arduino. En estos módulos SIM 900 se usan comandos AT para el envío de SMS.



**Figura 3. 29: SIM 900 GSM/ GPRS.**

[37]

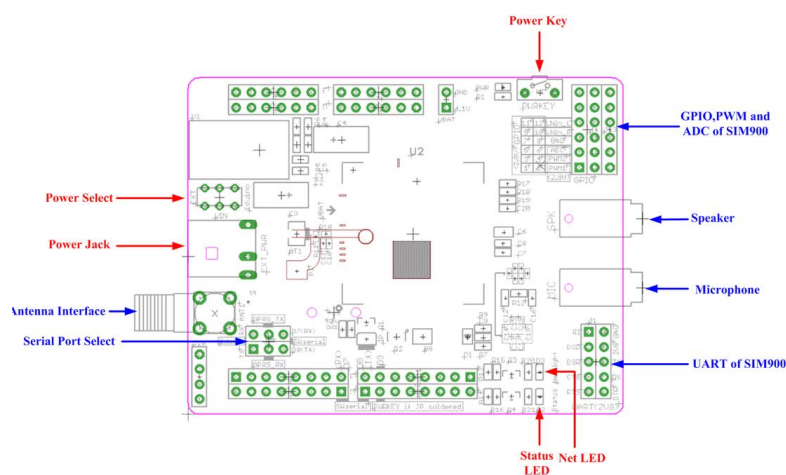
### **Justificación**

La razón por la que se optó trabajar con estos módulos es debido a sus bandas de operación, permite operación sobre las redes GSM alrededor de mundo en la mayoría de los países. Para poder realizar el envío de mensajes usando comando AT se necesita colocar el número en formato código internacional, el cual para Ecuador es: +593 y a continuación el número Ej. +593000000000

### **Características del módulo**

- Bandas de operación:
  - 850 MHz
  - 900 MHz
  - 1800 MHz
  - 1800 MHz
- Red GSM

- Clase 4 ( 2W a 850/900 MHz)
- Clase 1 ( 1W a 1800/1900 MHz)
- Control: usando comandos AT para estándares GSM 07.07 & 07.05.
- Rango de temperatura de operación entre  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- Recepción y Transmisión: para la recepción y transmisión se hace uso de los pines D7 y D8 respectivamente.
- Autonomía Energética: dispositivo de bajo consumo de energía a  $1.5\text{mA}$  de operación
- Tamaño de la placa:  $77.2\text{ mm} \times 66.0\text{ mm} \times 1.6\text{ mm}$
- Leds Indicadores: PWR, de estado del módulo, de estado de la red (ver en figura 3.30).
- Velocidad de transmisión : 19200 bps



**Figura 3. 30: Esquemático de Shield SIM 900.**  
[38]

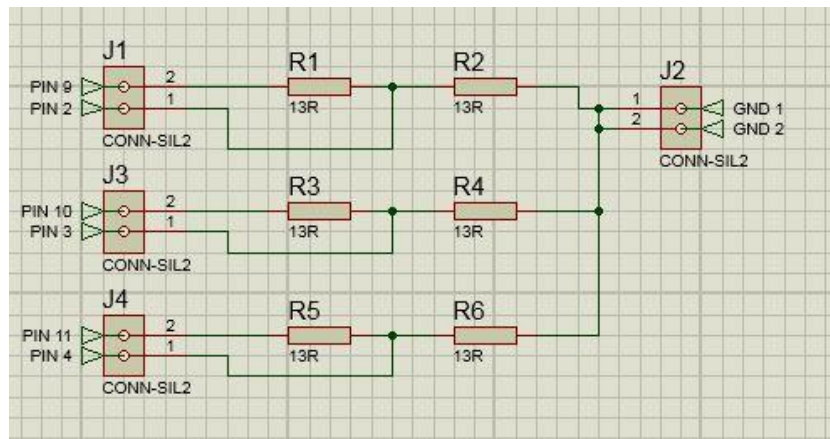
En el Anexo 11, se observa los valores de operación del módulo shield SIM 900:

#### **Acoplamiento de señal**

Se diseñó una tarjeta, para que exista acoplamiento de la señal entre la placa de Arduino UNO y la Arduino Mega la cual estará conectada al escudo SIM 900 GSM/GPRS, los valores de R1 y R2 mostrados en la figura 3. 31 son:  $470\Omega$  y  $1\text{k}\Omega$ . Del PIN 9 de la placa Arduino UNO saldrá una señal cuadrada de activación entre 1 y 0 la cual ingresa por el PIN 2



para proceder a realizar la activación de la alarma y enviar hacia los módulos receptores.



**Figura 3. 31: Esquema de placa para acoplamiento de señal.**

[39]

Para proceder a activar el envío del mensaje de alerta vía GSM, una vez confirmado la posible existencia de amenaza se prende un indicador en pantalla de color verde, luego el personal encargado debe activar el seteo de alarma, para su inmediata activación ON/OFF, ver figura 4.32.

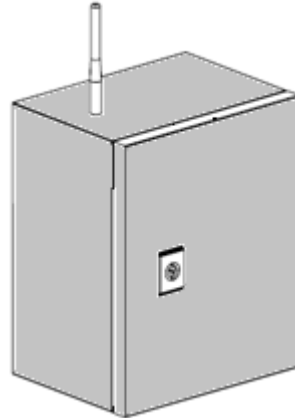


**Figura 3. 32: Panel frontal activación alerta.**

[40]

### Módulo Maestro

El módulo maestro (ver figura 3. 33), está conectado con la computadora de la estación de trabajo, para por medio de Labview realizar la activación de la alerta hacia los demás dispositivos.



**Figura 3. 33: Módulo de Transmisión.  
[41]**

El código que se usó para configurar el módulo shield 900 para envío de SMS (Ver Anexo 12).

En la siguiente figura 3. 34, se presenta el esquema de módulo transmisor.

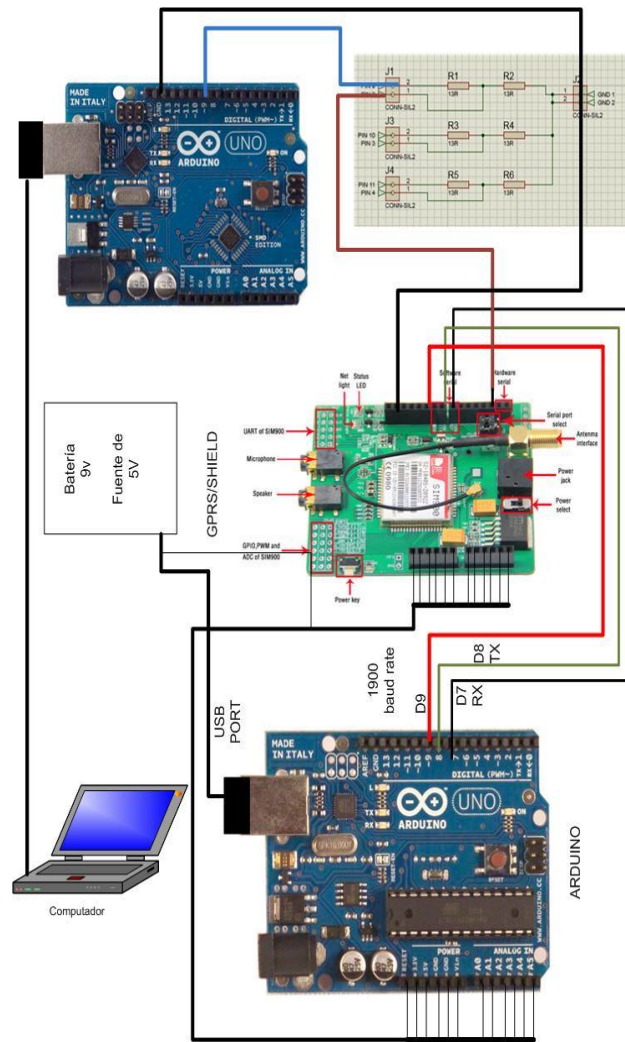


Figura 3. 34: Esquemático del receptor.  
[23]

En la siguiente figura 3. 35, se detalla el funcionamiento para envío de mensaje

### Diagrama de Flujo

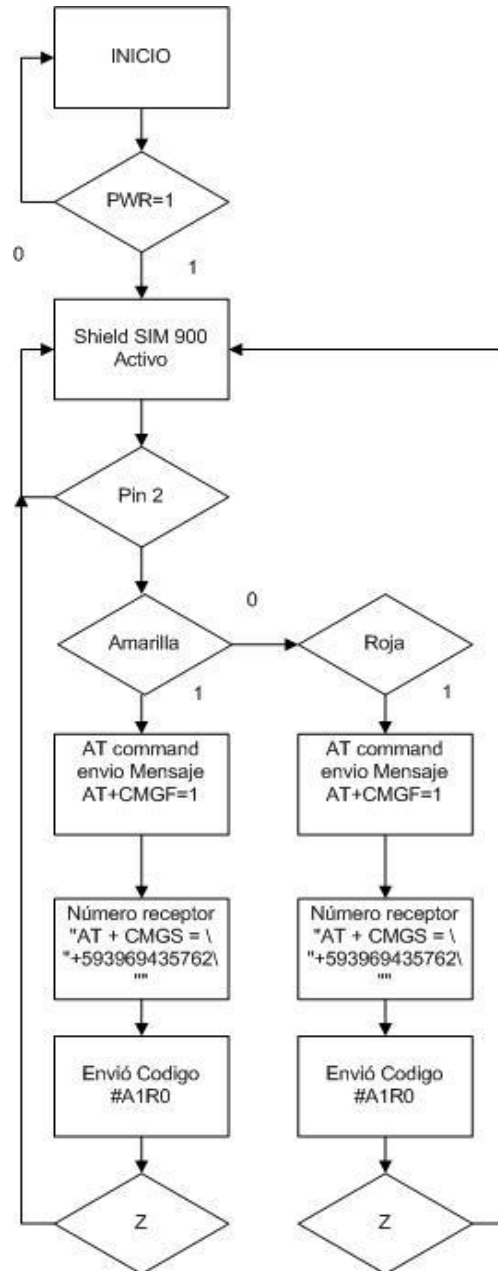
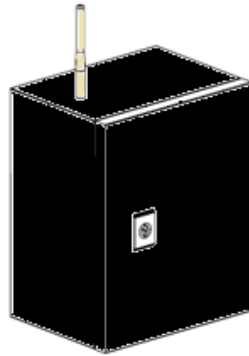


Figura 3. 35: Funcionamiento del módulo emisor

### Módulo de recepción

El módulo de recepción ( ver figura 3. 36), está compuesto por un módulo Arduino UNO y un escudo GSM/GPRS SIM 900 conectados uno sobre otro para hacer uso de pines GND, VCC, PIN D7, PIN D8 y el PIN D9.

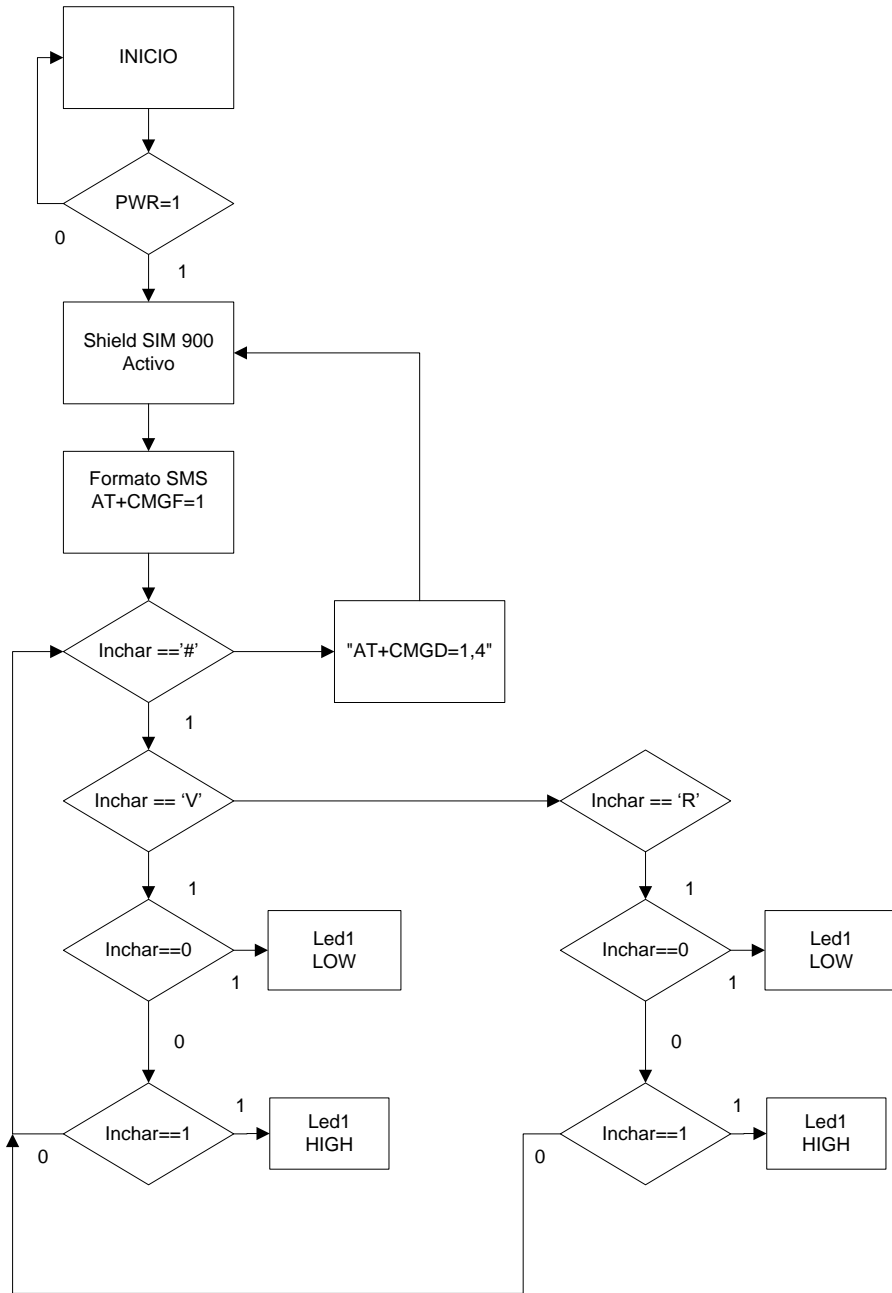


**Figura 3. 36: Equipo Receptor.**  
[41]

El código que se usó para configurar el módulo shield 900 para recepción SMS (ver Anexo 13).

En la siguiente figura 3. 37, se detalla cómo funciona la recepción.

### Diagrama de Flujo



**Figura 3. 37 : Funcionamiento del módulo receptor.**

En la siguiente figura 3.38, se presenta el esquema de módulo receptor.

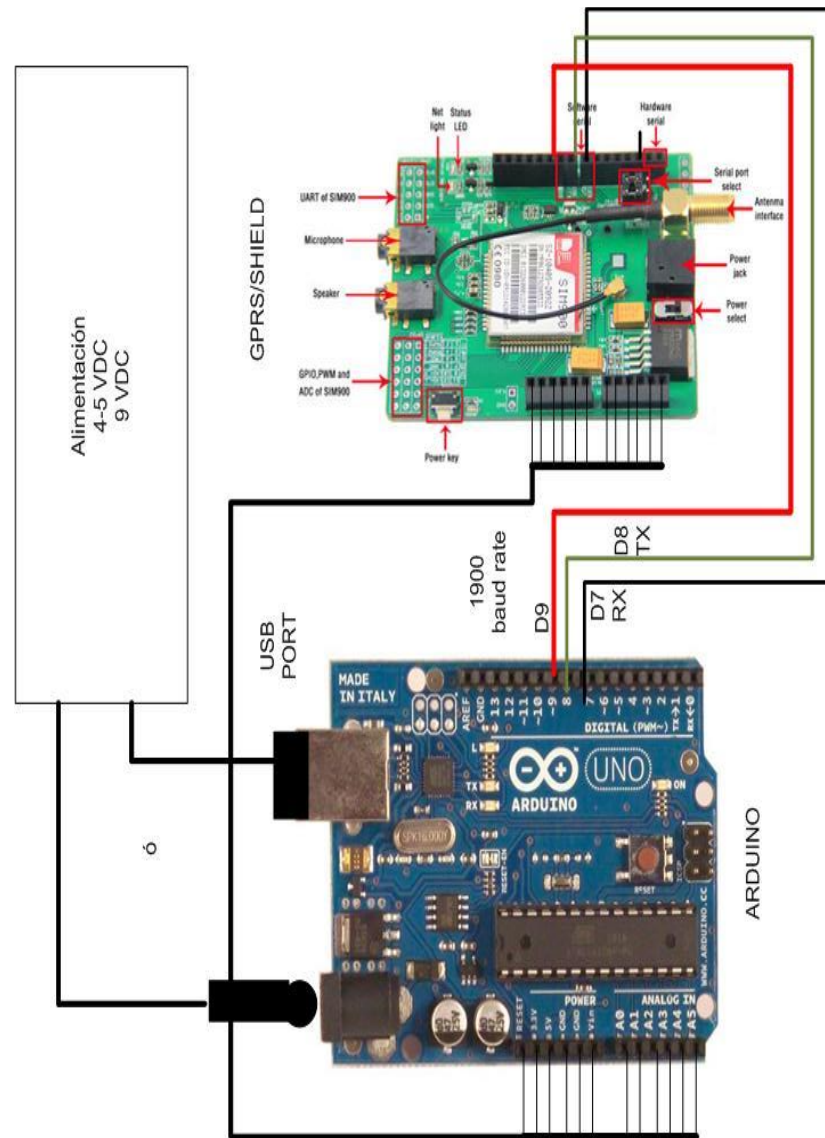


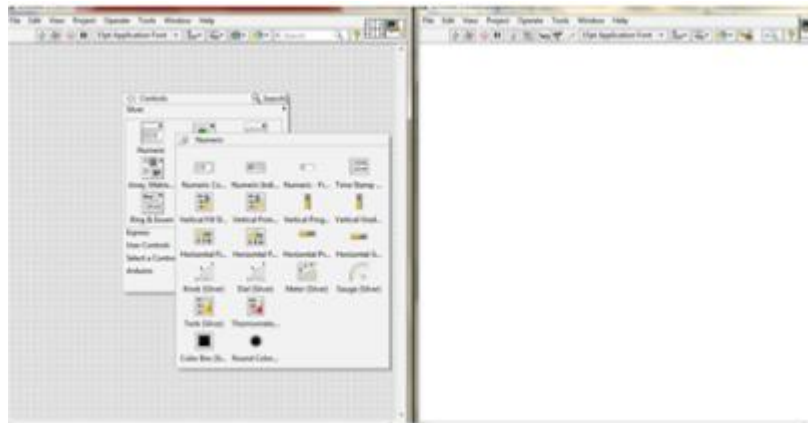
Figura 3. 38: Esquemático del receptor.  
[22]

### 3.2 Simulación e Implementación

Para la simulación del sistema de alerta de Tsunami, se procederá a realizar mediante el software de Labview de National Instruments, es un software que permite programar

en lenguaje G, o también llamado lenguaje gráfico, mediante bloques numéricos, booleanos, fórmulas, leds, botones, indicadores numéricos, etc.

Consta de dos entornos, los cuales son: uno de diagrama de bloques y el otro de panel frontal ver figura 3.39, el primero de ellos nos permite crear la parte de la interfaz con el usuario para que interactúe o seleccione opciones y el otro panel nos permite colocar la lógica de programación, secuencias y condicionales para evaluar la toma de decisiones.



**Figura 3. 39: Paneles del Software Labview.**  
[40]

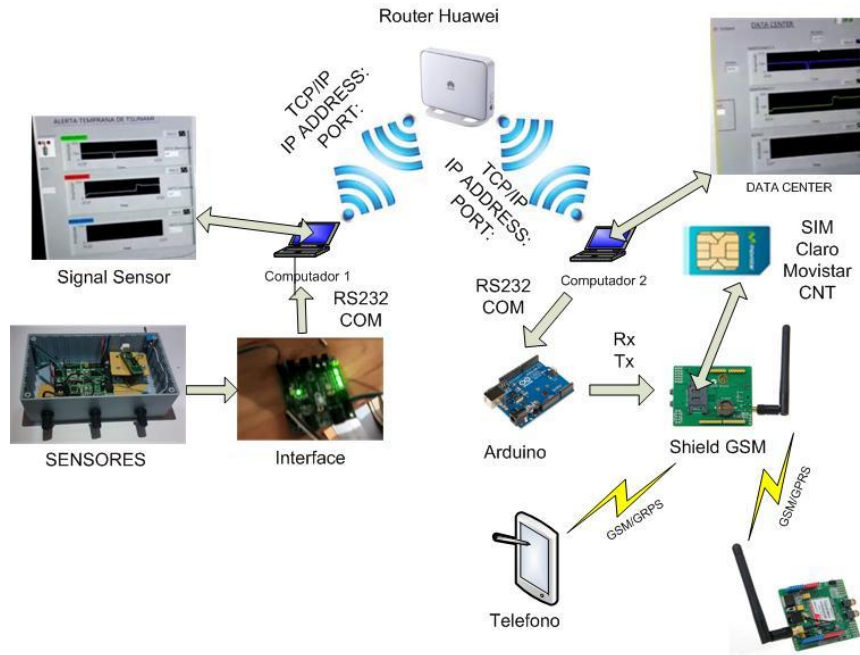
El uso de una herramienta tan poderosa como Ni Labview, permite la realización de varias actividades en paralelo para aprovechar el procesamiento multinúcleo en los ordenadores.

### **Esquema de la Simulación**

En la figura 3.40, se muestra a continuación se representa el esquema de lo que se tendrá en la simulación: sensores, adquisición de datos, comunicación puerto serial (COM), computador 1 y 2, comunicación por protocolo TCP/IP, un router que nos permitirá conectar las dos computadoras, interfaces tanto para el servidor como para el cliente el cual vendría a ser el Data



Center, módulos arduinos y shield GSM/GPRS SIM900, tarjeta SIM de telefonía móvil.



**Figura 3. 40: Esquema de Simulación.**  
[23]

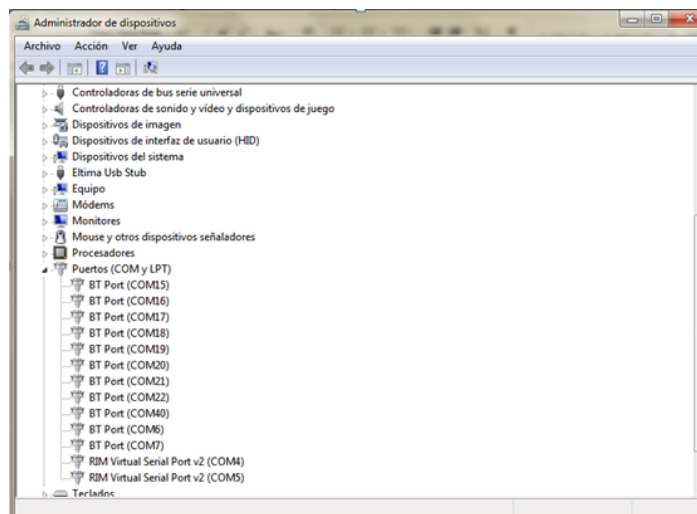
Al simular la parte de la variación de datos por los sensores, los mismos que se representan como potenciómetros: sensor 1, sensor 2 y sensor 3 ver figura 3.41, se realizara una adquisición de los parámetros por medio de un módulo de entrenamiento el cual se comunicará mediante un puerto COM.



**Figura 3. 41: Sensores 1, 2 y 3.**  
[1]

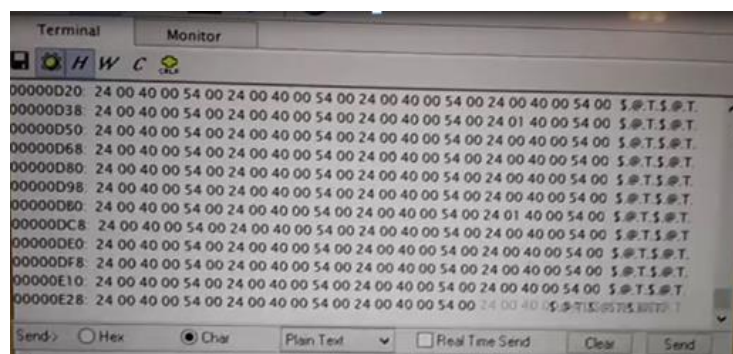
El potenciómetro 1 representa al sismógrafo, el potenciómetro 2 al mareógrafo y el potenciómetro 3 a la boya oceánica de detección de Tsunami.

Para identificar a que puerto COM se encuentra conectado para poder establecer comunicación (ver figura 3.42) se debe dirigir al Inicio >> Equipo >> Propiedades del sistema >> Administrador de dispositivo >> Puertos COM y LTP.



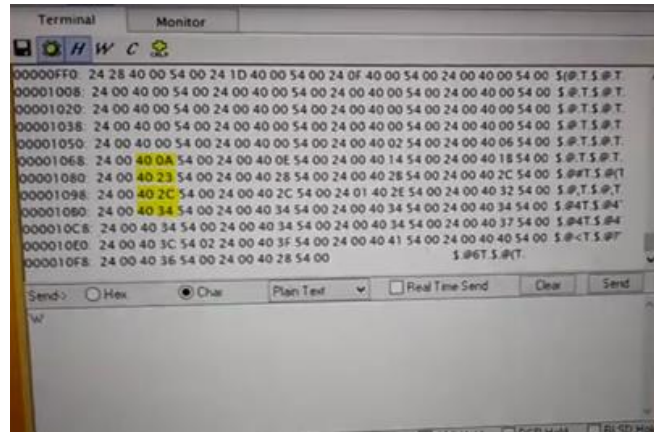
**Figura 3. 42: Ventana de Administrador de dispositivos.**  
[1]

Los valores a mostrarse en la figura 3.43, serán después de las primeras tres columnas: 24, 40 y 54. Mediante cada uno de los números se identifica la lectura de datos y de que sensor proceden.



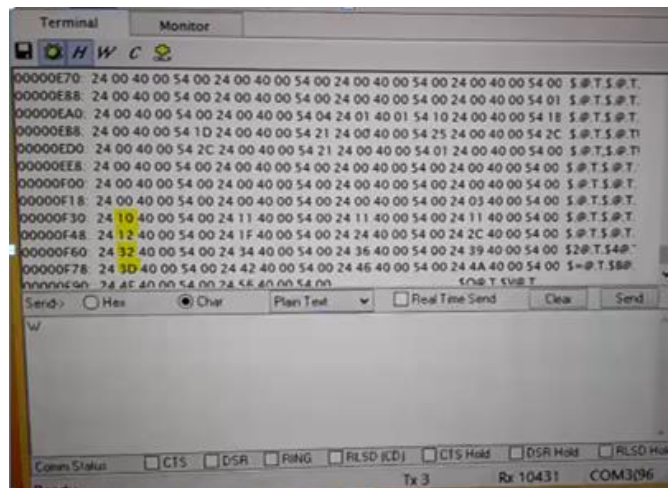
**Figura 3. 43: Ventana Monitor de Terminal.**  
[1]

Se procede a variar el potenciómetro 2 simulando la detección de un evento de sismo, como se puede apreciar en la figura 3.44, a un lado de la columna 24 se observa variación de los datos, estos ya no están en 00, el formato presentado por esta ventana de terminal cabe mencionar están en Hexadecimal.



**Figura 3. 44: Datos del Sensor 2.**  
[1]

El mismo procedimiento realizado anteriormente, ahora se lo realiza para el potenciómetro 2 (ver figura 3.45) y potenciómetro 3 (ver figura 3.46).



**Figura 3. 45: Datos del Sensor 1.**  
[1]

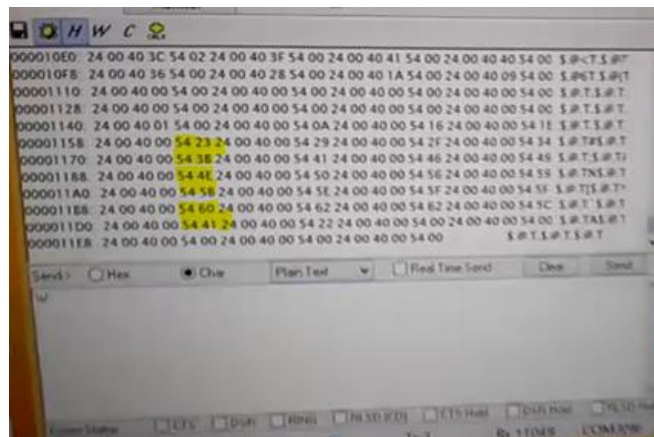


Figura 3. 46: Datos del Sensor 3.  
[1]

### Adquisición de los datos.

La comunicación entre la PC y los sensores se la realiza mediante un puerto COM, usando la función VISA SERIAL, la que toma parámetros de entrada como la tasa de transmisión y número de bits (ver figura 3.47).

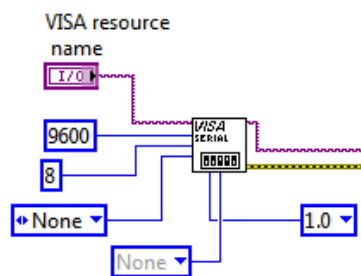
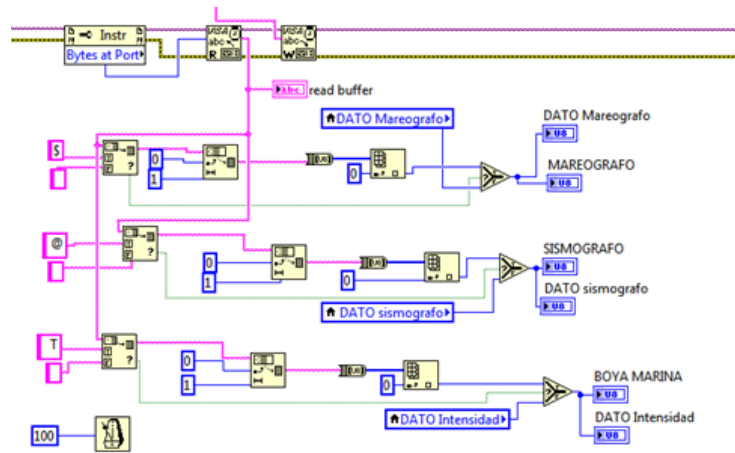


Figura 3. 47: Configuración parámetros en la función VISA SERIAL.  
[40]

El buffer va a continuar leyendo constantemente a la espera de datos, para poder identificar en la cadena los datos de qué tipo de sensor vienen, anteriormente se mencionó unos valores en hexadecimal, los cuales son 24, 40 y 54, cada uno de los valores tiene su correspondiente en carácter y son: \$, @ y T. Si alguno de estos caracteres es encontrado dentro de la cadena se tomado el

dato siguiente y a este se lo convierte de cadena a un arreglo sin valor de bytes (ver figura 3.48).



**Figura 3. 48: Adquisición de datos de los sensores.**  
[40]

En la siguiente figura 3. 49, se detalla cómo funciona la adquisición.

### Diagrama De Flujo

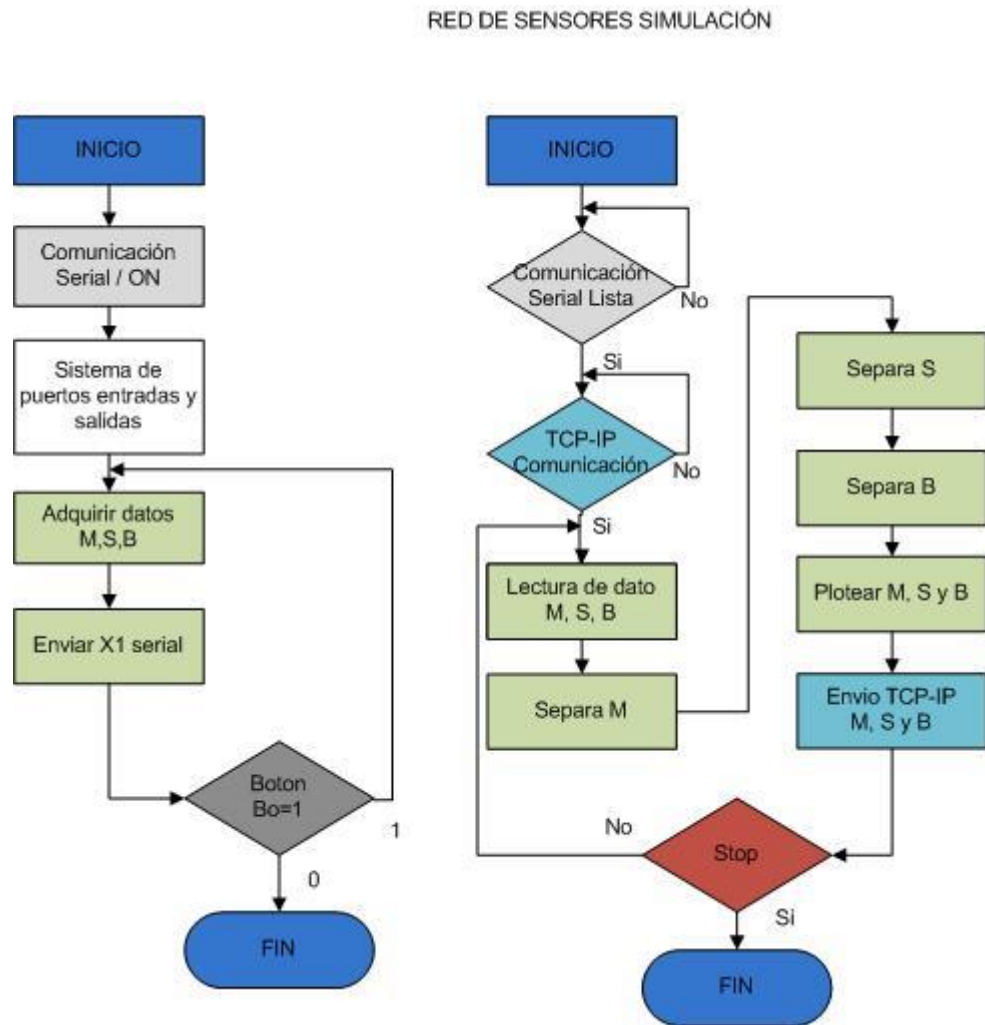
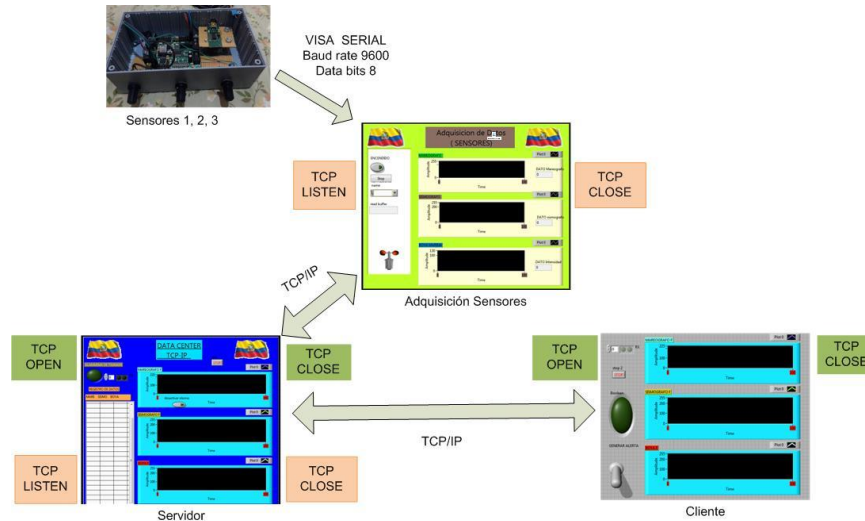


Figura 3. 49: Adquisición de sensores.

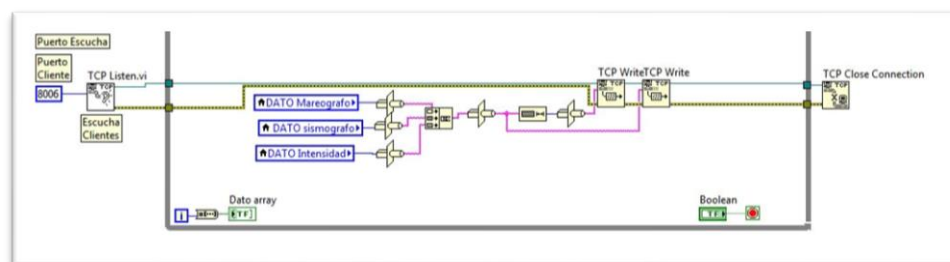
## PROTOCOLO TCP/IP

Se utiliza el protocolo TCP/IP para establecer la comunicación entre cliente y servidor (ver figura 3.50).



**Figura 3. 50: Esquema de conexión TCP/IP.**  
[23]

Las tres señales producidas por la variación de los potenciómetros 1, 2 y 3, cada una de las señales contiene los datos que simula la transmisión de los sensores, los datos de los sensores son enviados hacia un servidor TCP/IP (ver figura 3. 51).

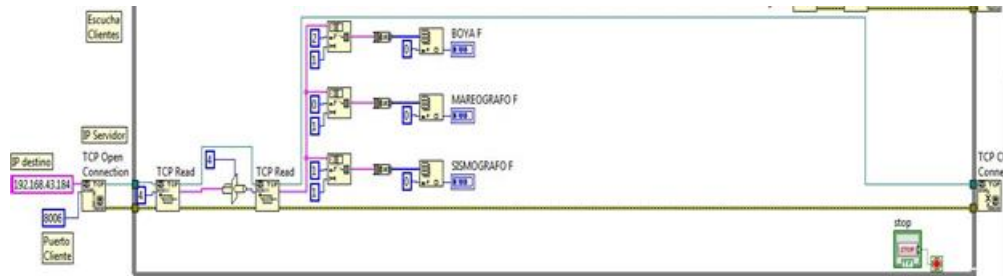


**Figura 3. 51: Envío de los datos adquiridos al servidor TCP.**  
[40]

Para poder acceder a una conexión TCP se necesita conocer la dirección IP dada por el servidor y por el puerto que nos brinda el

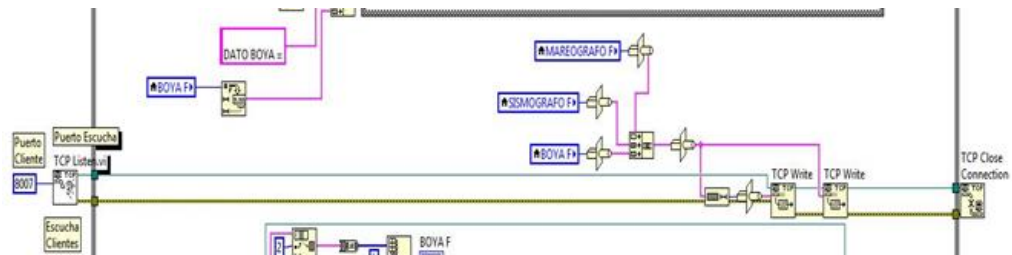


servicio. Con lo que se puede obtener los datos de los sensores (ver figura 3.52).






**Figura 3. 52: Centro de Datos, recepción de los datos en el cliente.**  
[40]

El centro de datos ahora actúa como servidor para entregar hacia el cliente que desee los datos de los sensores (ver figura 3.53).

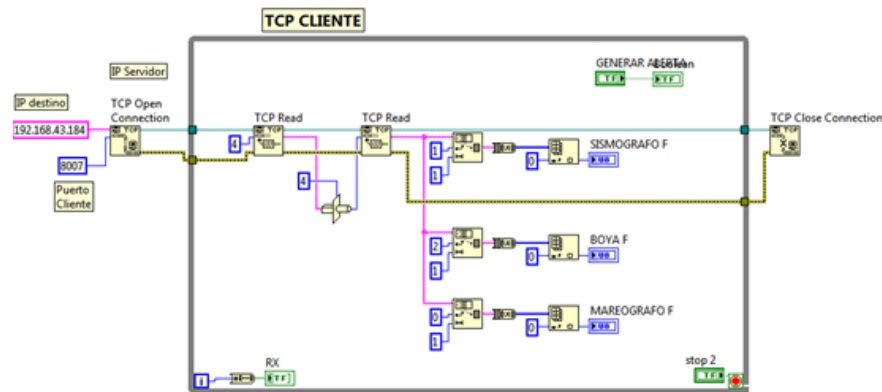


**Figura 3. 53: Centro de Datos Envío de los datos al servidor.**  
[40]

El Sub Vi TCP Open Conectaron , permite establecer la conexión TCP conociendo la dirección IP del servidor y el número del puerto por el cual se brinda el servicio, a TCP Read  se utiliza para leer los datos que arriban desde el servidor por medio de la dirección de internet lo que vendría a ser el conexión ID a este parámetro junto con el número de bytes a leer los cuales son 4, se los envía a el TCP Read. El número antes mencionado corresponde al tamaño de la información medido en bytes, este al ser introducido

en la función Tipo Casts  lo transformar a un nuevo tipo de dato en esta ocasión a un valor numérico (ver figura 3.54).[42]



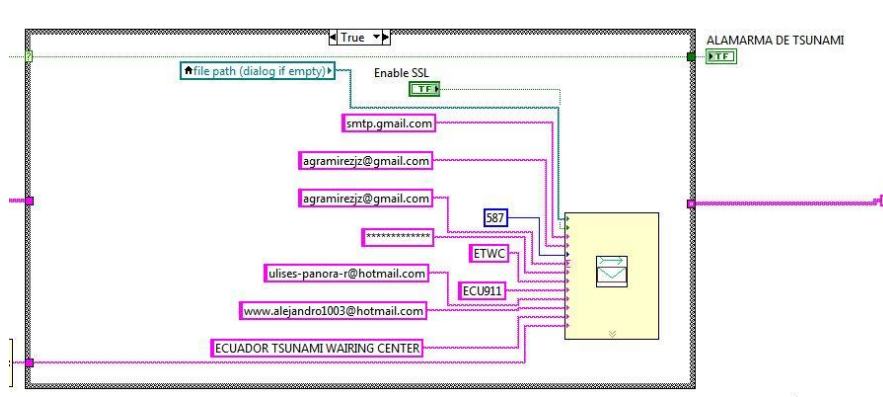


**Figura 3. 54: Recepción de los datos desde el centro de datos hacia el cliente final.**  
[40]

## PROTOCOLO SMTP

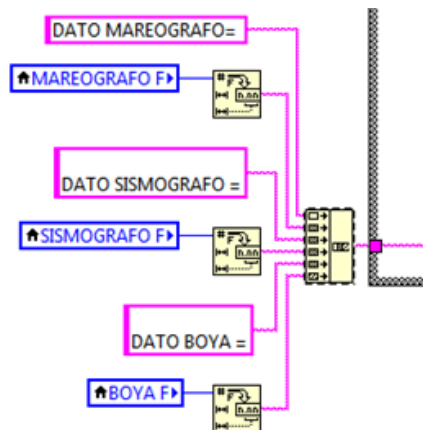
Para configurar envío de un correo electrónico por el protocolo SMTP ver figura 3.55, se hace uso de funciones con respecto a este protocolo contiene varios nodos que permiten establecer desde la escritura y envío de un correo electrónico utilizando una cuenta Gail de administración.

Para ello en Outgoing Mail Server se coloca la dirección del proveedor de internet que es smtp.gmail.com, en GMAIL Account User ID se ingresa la cuenta Gail desde donde se enviará el mail, en Port el número de puerto por el cual se brinda el servicio para este protocolo 587/TCP para el envío de correo, se debe establecer parámetros como el asunto del mensaje, la cuenta de correo que se usa para el envío del mail, a que correo electrónico será enviado, otro correo opcional al que se desea que llegue el mismo correo.[43].



**Figura 3. 55: Configuración Protocolo SMTP.**  
[40]

El cuerpo del mensaje del correo de alerta (ver figura 3.56), contiene dato del mareógrafo, sismógrafo, y boya. Para esto se concatena DATO MAREÓGRAFO que es de tipo cadena de carácter con MAREÓGRAFO F, el cual es transformado de un tipo numérico a una cadena de carácter, de la misma forma para los otros datos. Se registran los últimos datos de los sensores con los cuales se produjo la activación del mensaje.



**Figura 3. 56: Estructura del mensaje a enviarse.**  
[40]

### Shield SIM 900 GSM

La conexión que realiza entre la computadora y el módulo Arduino es por USB (ver figura 3.57), en la computadora se asigna

automáticamente un puerto COM. El pin D7 está conectado con el módulo Shield para RX y D8 está conectado paralelamente a TX. El envío del mensaje de alerta se produce cuando en el puerto D9 recibe un pulso, al momento que se cumpla la condición de referencia en los sensores esto toma un nivel lógico de 1 produciendo la activación para el envío del mensaje de texto del módulo maestro hacia los demás módulos. [44].

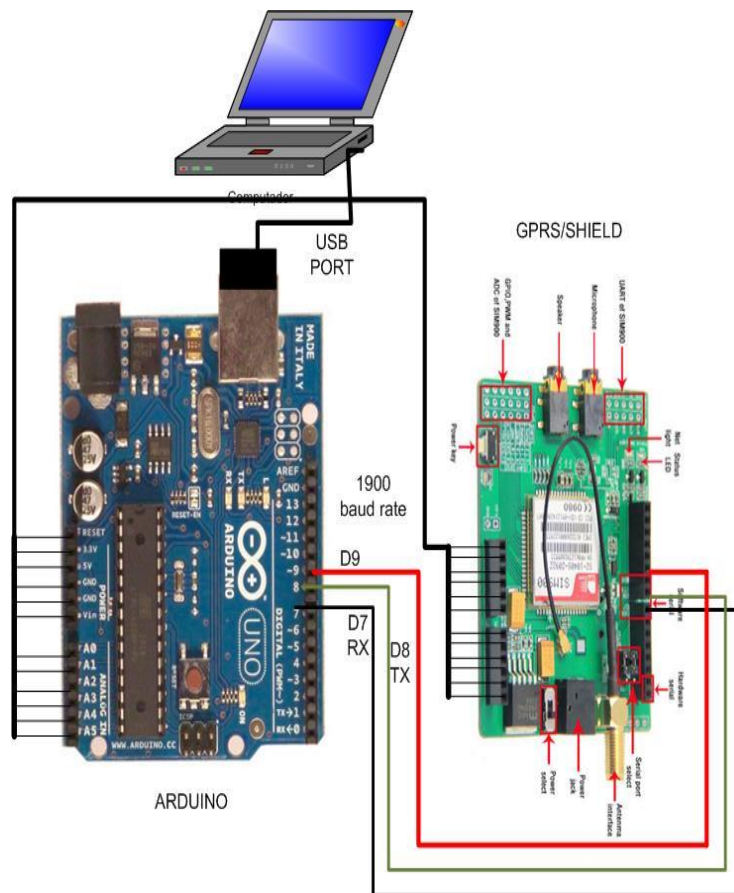


Figura 3. 57: Arquitectura de conexión.

[23]

En la siguiente figura 3. 58, se detalla cómo se envía la alerta.

### Diagrama de Flujo

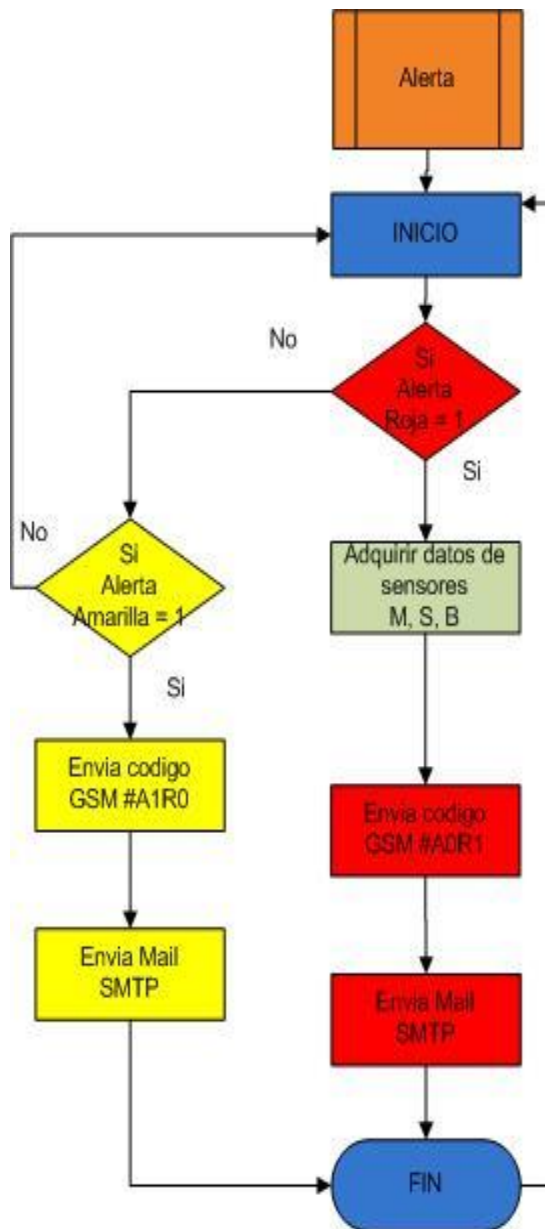


Figura 3. 58: Envió de Alerta

### **3.3 Desarrollos Futuros**

#### **CELL BROADCAST (CBS)**

##### **Factibilidad Técnica**

Sistema muy parecido al envío de mensajes de texto, pero la forma en cómo se procede es más eficiente, primeramente no se comprometen números telefónicos de los que intervienen en el proceso, no necesita registro por parte de los usuarios y no sufre afectaciones por congestión de la red dado que usa señalización por canales dedicados, no interviene en lo que es la capacidad del canal de voz y datos, por lo cual siempre estará disponible.

Tiene facilidad de integración en las redes existentes como GSM, CDMA, UMTS (3G), y ahora en la nueva cobertura LTE (4G).

Los dispositivos móviles con los cuales se cuentan son los de los abonados y estos se encuentran distribuidos en los tres operadores móviles: Claro, Movistar y CNT, estos ya tienen canales por defecto de Transmisión Broadcast habilitados.

Se aclara que Cell Broadcast no repercute en el consumo adicional de la batería del terminal móvil, ya que el mismo es considerado insignificante si consideramos otras tecnologías como el Bluetooth, el Wi-fi, el UMTS y el uso de aplicativos móviles, todos estos si tienen un consumo considerable de energía del terminal. [45].

##### **Justificación**

Se busca llegar hacia cientos, miles o tal vez millones de personas dependiendo la densidad poblacional del lugar en afectación, por lo cual apuntamos hacia una herramienta de uso masivo como lo es el teléfono celular, en la actualidad casi toda persona dispone de un terminal, siendo el mejor canal para transmitir el mensaje de alerta deseado.

En el diseño de la parte de emisión de la situación de emergencia, se hizo uso de esta tecnología CBS, para la difusión por medio de las celdas a través de los operadores móviles, este sistema nos permite entregar mensajes de alerta de emergencia desde un punto (CBE) a varios usuarios

(zona geo-referenciada). Puesto que los gobiernos o autoridades competentes necesitan comunicarse con la población y avisar sobre el riesgo eminente de emergencia en el sector y a su vez que ellos puedan tomar la medida pertinente.

Se toma la presente tecnología dado la facilidad que existe para enviar un mensaje hacia millones de personas localizadas en el área de emergencias de una manera fácil y segura.

En relación con la longitud de caracteres en los mensajes en los SMS se tiene de 140-160, en cambio por Transmisión de difusión se permite hasta 93 caracteres pero a su vez más páginas.

Los usuarios que no tengan activado la recepción de Difusión por Celda en un canal específico no podrán recibir el mensaje de alerta. En cambio en los mensajes de texto no puede el usuario desactivar la recepción de ellos.

Este tipo de sistemas han sido desarrollados en otros países alrededor del mundo, captando la atención de organismos públicos para el desarrollo sistema de alerta de emergencias entre los que ya han implementado esta solución se tiene en lugares como Europa, EEUU, Israel, Chile y Japón.

El diseño de un sistema de mensajería por envío móvil Cell Broadcast se lo realiza con el apoyo en la infraestructura de los operadores móviles existentes en la actualidad.

Este constara de dos nodos cada uno con redundancia geográfica entres ellos y deben estar situados en distintos lugares.

El CBE (Cell Broadcast de Entidad), viene a ser la aplicación, el medio o interfaz por el cual se redactaran los mensajes y se seleccionara el sector hacia donde se emitirá dicho mensaje.

El CBC (Cell Broadcast Center) en él llega el mensaje gestionado en la etapa anterior y une con el (BSC) Controlador de Estación Base para el caso de la red GSM, (RNC) controlador de red de Radiofrecuencia con el Nodo B en el uso de la cobertura para terminales UMTS o MME hacia el nodo B para el envío hacia terminales LTE-4G.

## FIBRA ÓPTICA SUBMARINA

### INTRODUCCIÓN

Con el afán de mantener comunicada y conectada a la comunidad, la constante evolución de las comunicaciones partiendo desde el teléfono, posterior con el tendido de cable de cobre y ahora en la actualidad el tendido de fibra óptica, que hasta el 2008 habían 450,000 km bajo el mar. Hasta esa fecha el número de sistemas existen era de 70, cable de fibra submarino instalados entre las zonas del Océano Pacífico, Océano Atlántico, Europa-Asia y América del Sur, como se puede observar en la figura 3.59. [46].



**Figura 3. 59: Mapa de Cable Submarino Continental.**  
[46]

### Justificación

En cuanto al desarrollo de las Telecomunicaciones y aprovechando el cambio de cables de cobre a una red de fibra Submarina que se está ocurriendo en muchos países, permitiendo tenerla implementada en otros en proceso de implementación, la ITU-T recomienda el uso de estas redes, para el monitoreo de los océanos parámetros como corrientes marinas,

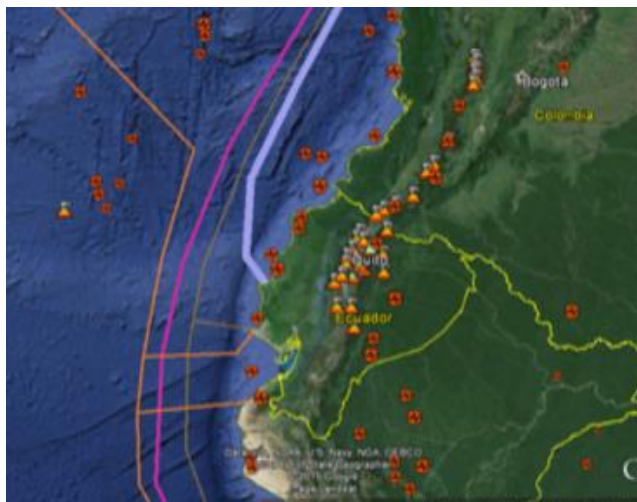
temperaturas en los océanos hasta su uso para el desarrollo de una red la cual nos permita dar alertas de Tsunami.

Con el uso de satélites para el monitoreo de océanos se tiene ciertas restricciones como el control de cantidades en función de parámetros tomados desde la superficie como serian la altura del mar, la fuerza del viento y la temperatura en el área seleccionada. Con la red de fibra submarina se podría tomar parámetros por debajo de los 2000 metros en mares profundos donde no se puede sondear con buques o sensores puestos tienen una limitación, otro factor importante del uso de este tipo de tecnología seria la facilidad de energización puesto que por el mismo tipo de cable de fibra puede viajar un cable de alimentación, permitiendo tener autonomía y ser más beneficioso que tener sistemas sumergidos con dependencia de baterías que luego de un tiempo deben ser reemplazados. [47]





Una de las esenciales ventajas con el uso de fibra submarina a las comunicaciones satelitales es, existe una menor probabilidad de riesgo de interrupción en los enlaces de comunicación por fenómenos atmosféricos como tormentas o ciclones. [48]

En la actualidad en Ecuador cruzan tres tendidos de fibra optica existentes ver figura 3.60, como: El tendido de fibra PAN AM con una longitud de 7300km y una capacidad de 70 Gbps , Sam-1 con un recorrido de 25000km y una capacidad de 1.92Tbps y por ultimo un tendido de fibra Sur Americano que tiene 20000km con capacidad 3.84Tbps que bordea a los paises de: Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú, Chile, Argentina, Uruguay, Brazil. En la tabla 16 se muestra el color por compañías para los tendidos y por donde atraviesan cada uno de ellos.





**Figura 3. 60: Mapa de Cable Submarino para Ecuador.**  
[49]

Color	Empresa
	<b>Sam-1</b>
	<b>South American Crossing</b>
	<b>PAN AM</b>
	<b>PCCS</b>

**Tabla 8: Descripción del color de tendido de fibra por empresa**

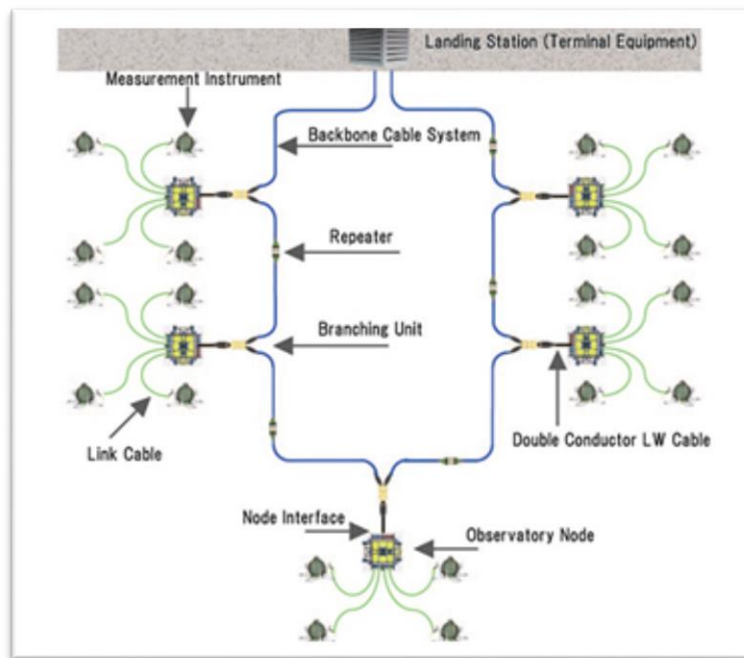
### **Diseño de fibra para la red monitoreo submarino.**

Se basó en los observatorios hasta el momento desarrollados como lo son el NEPUTNE y el DONET, el primero en mención localizado en Canadá y el siguiente en Japón, siendo el primero en desarrollarse de los dos. El beneficio que brinda este tipo de estructuras permite la detección desde micro hasta terremotos de mayores magnitudes y por su cercanía al fondo marino permite el monitoreo de deslizamientos del fondo marino y Tsunamis.

El sistema de cables submarino consta de un conjunto de 20 interfaces desplegados en el fondo del lecho marino en un intervalo de 15-20km. El tiempo de vida de operación del sistema se estima entre 20 a 30 años

siendo esto un gran factor a considerar, analizando el ambiente donde habitaran.

Se debe considerar para el diseño de la red, al igual que para cualquier sistema de fibra en tierra, redundancia del sistema para que no exista una interrupción del servicio de monitoreo submarino, por eso la forma de anillo como se observa en la figura 3. 61.



**Figura 3. 61: Estructura de la red de observatorio DONET.**  
[50]

### **Sistema de cable de alimentación principal.**

La particular diferencia entre un sistema de fibra submarina a una red de fibra óptica terrestre, es la de que en la primera por el cable principal (Backbone Cable System) se envía la alimentación para energizar los nodos ciencia y demás sensores. Y por el segundo sistema no viaja línea de alimentación solo hilos de F.O, buffers, recubrimientos, protecciones, etc.

### **Características técnicas**

- Tipo de cable telecomm para usos submarinos
- Tiempo de vida del sistema 20 años
- Fuente de Alimentación DC, con CC
- Potencia de carga 3kW (3KVDC/ 1 A) de alimentación

## Nodo Ciencia

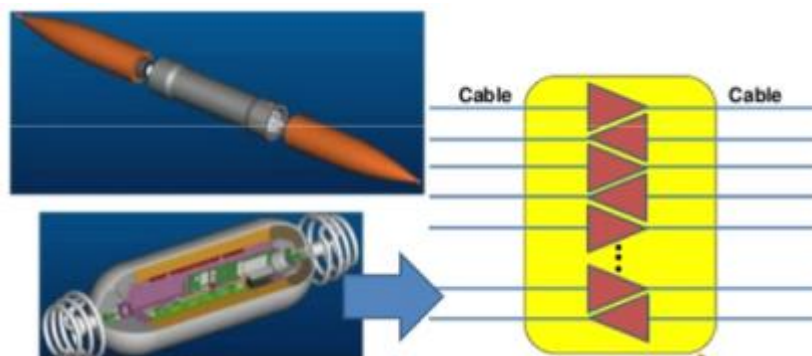
### Características Técnicas

- 5 puertos de conexión (interfaces)
- Cada una interfaz se puede conectar

## Repetidores (Amplificadores Ópticos)

### Características Técnicas

- Deben ser preparados cada longitud de 40 a 60km del tendido de fibra óptica, para que no exista degradación en la señal de transmisión
- Sistema óptico para detección de fallos coherente en dominio del tiempo (C-OTDR). (Ver figura 3.62)



**Figura 3. 62: Amplificador de Fibra Óptica.**  
[51]

## Unidad de Ramificación (Branching Unit o BU)

### Características Técnicas

- Control la alimentación de alta tensión proporcionada por el Backbone Cable y el sentido de circulación

- El BU (ver figura 3.63), tiene un mecanismo que permite separarse del Nodo ciencia cuando la interfaz presenta experimenta un estado inesperado. [50]



**Figura 3. 63: Unidad de Ramificación.**  
[51]

## CAPÍTULO 4

### 4 Análisis Económico

#### 4.1 Análisis Social-Económico

Para poder realizar el estudio costo-beneficio de los componentes básicos usados en un sistema de alerta temprano de Tsunami para la población de Esmeraldas utilizamos un sistema de Boyas Envirtech como ejemplo.

Teniendo en claro los efectos que causan los desastres naturales de este tipo, debemos considerar las características que posee el lugar como: localización geográfica, cercanías hacia zonas con gran registro de sismos y zonas volcánicas.

Para poder representar la magnitud del daño económico que estos eventos representan se consideran la suma de los costos con respecto a las muertes humanas, heridos más los costos de las destrucciones producidas en las infraestructuras tanto públicas como privadas y demás pérdidas económicas.

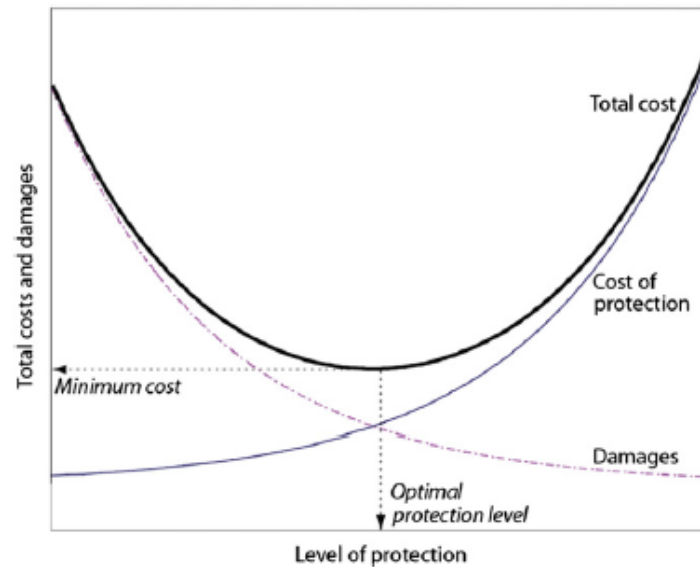
Existe una variante entre la relación costo –beneficio, dada en función del grado de protección descrita por la efectividad en un sistema de alerta temprana de Tsunami la cual depende el número de estaciones que se tengan a lo largo del perfil costero El Objetivo es reducir el costo social (SC) frente a posibles ocurrencias de eventos de Tsunami dado el nivel de protección en función de ( $\alpha$ ):

$$\min E(SC) = E [D(\alpha)] + C (\alpha) \quad (5.1)$$

Donde D está representado por los daños ocasionados por eventos de Tsunami y la variable C son es la inversión para en costos de los sistemas de monitoreo incluyendo el costo de inversión más el costo de operación. La variable  $\alpha$  nos permite saber la exactitud del sistema de monitoreo.

Como podemos observar en la Figura, los daños causados por un evento de Tsunami dentro de función exponencial decreciente y los costos de protección analizados dentro de una función exponencial creciente, en donde la intersección entre ambas funciones nos representaría el nivel

óptimo que se buscaría para realizar la inversión para el sistema de alerta temprana de Tsunami, ver figura 4.1.



**Figura 4. 1: Curva de nivel óptima.**  
[52]

En el diseño del presente proyecto se ha planteado una propuesta donde se pretende integrar las redes de sensores entre los cuales está el monitoreo de sismos y de eventos marinos controlados por entidades como el IGEPN y INOCAR, con las redes de telecomunicaciones del país para poder avisar oportuno hacia las autoridades y ciudadanos, salvaguardando la seguridad de estos últimos mencionados.

El correcto aviso oportuno que nos ayude a mitigar los efectos de eventos Tsunami génicos permitirá manifestar al país como un estado moderno.

Si comparamos los gastos efectuados para el desarrollo de este tipo de proyecto versus al costo de vidas humanas que se perderían por la falta de un Sistema de alerta de emergencia para Tsunamis sería mínimo, puesto que la vida humana no tiene valor monetario y todos tenemos el derecho universal a la vida, por lo cual no deberíamos escatimar gastos.

[52]

## 4.2 Costos del desarrollo.

Los productos analizados como lo son el Kit Marino (Ver Tabla 17) son equipos de procedencia Italiana, de la empresa EX -Works Italia. Los costos referentes al pago por los equipos se procede un 85% a la confirmación del producto y la diferencia del pago que sería un 15% cuando se esté listo para el envío.[53]

ITEM	Descripción	UM	QTY	Unitary	Total
				Price	Price
				USD	USD
1.0	UM Poseidon Class	Each	1	\$223,140.00	\$223,140.00
2.0	MKI-4-1 SBP	Each	1	\$111,570.00	\$111,570.00
3.0	envHydro-02	Each	1	\$33,471.00	\$33,471.00
<b>INVERSIÓN TOTAL</b>				\$368,181.00	\$368,181.00

**Tabla 9: Presupuesto del Kit marino**

El software y hardware (Ver Tabla 18) para la estación del centro de datos se los puede adquirir localmente. El monto para compra de estos equipos se estima un costo alrededor de USD 111,570.00.

Los costos referentes al embalaje y embarque para la transportación por Barco de los equipos 1SB y 1 UM, se prevé un costo estimado de unos USD 33,471.00.

Para la instalación, los costos de instalación el servicio tiene una tarifa diaria de 1,450.00 USD/día por persona, excluyendo costos del viaje y viáticos.

Para el proceso de instalación normalmente se necesita de unos 2 ingenieros durante un periodo de unos 10 días. Los ingenieros solo estarán a cargo de supervisar la operación de instalación de los instrumentos.

TOTAL USD	
-Una PC CPU 4-8 cores 8 Gb RAM 2TB disk in RAID -Windows 2012 Licenses, English version -SQL SERVER (Minima configuración disponible) -HUB/ Switch +LAN -Conexión a Internet	
<b>INVERSIÓN</b>	<b>\$5,000.00</b>
-2xInmarsat mini-C transceivers -cables y Fuente de poder - 2xCAM/Ethernet converters if mini-C have CAM BUS interfaces - O 2X232/Ethernet converter if mini-C have Rs- 232-Interfaces	



<b>INVERSIÓN</b>	\$5,000.00
<b>INVERSIÓN TOTAL</b>	<b>\$10,000.00</b>

**Tabla 10: Presupuesto de equipos para Data Center y para comunicación Satelital.**

Se necesita personal local para poder realizar las operaciones de movilización de la boya en tierra, como a bordo de la embarcación y la respectiva tripulación calificada a bordo del buque para las operaciones de despliegue de instalación del kit marino.

El costo de la línea de amarre de la boya, incluyendo el lastre y ancla en el presupuesto no está incluido en los presupuestos. El costo de una línea de atraque con lastre incluido y el anclaje en un sitio a 2500m de profundidad se estima entre 33,471.00 y 44,628.00 USD.

El costo del buque y cualquier otro costo que sea necesario para el amarre y protección del sistema no están incluidos.

El costo referente a la embarcación para instalación de la boya en nuestro país puede variar aproximadamente entre 5,000.00 y 10,000.00 dólares por día, teniendo en consideración que el tiempo de colocación puede durar entre 3 a 4 días, dependiendo de las condiciones meteorológicas.

### **4.3 Mantenimiento de Equipos**

Se debe considerar dos aspectos importantes para la realización de operaciones de mantenimiento, entre los cuales son:

- 1) El desgaste normal de los componentes y sensores electrónicos, entre los cuales también se encuentran el paquete de baterías de litio el cual debe ser reemplazado.
- 2) Fenómenos ambientales marinos como el contacto con animales (del hábitat marino como tiburones, ballenas, etc.), además de vándalos, pescadores, tifones y tormentas; estos dos últimos siendo fenómenos no presenciados en costas ecuatorianas.

La parte fundamental con la cual se debe tener mucho cuidado siendo esta la más vulnerable es el enlace, entre la plataforma ubicada en el fondo del mar y la boya de superficie marina, por tal razón el kit marino incluye 2 módems acústicos con la finalidad de mantener un respaldo a falla de uno de ellos.

Generalmente es una buena práctica considerar entre un 10-15% a los precios mencionados anteriormente, como mayor presupuesto solamente durante los 3 primeros años.

El paquete de baterías de Litio en la plataforma del fondo marino debe ser reemplazo cada dos años, lo cual también debe ser considerado. [53]

#### 4.4 Costo de transmisión de datos de equipos

Para estimar el tráfico del transceptor Inmarsat por favor considerar que:

- 1) En el funcionamiento normal de la boya transmite en los datos de mareas cada 15 minutos + algunos de telemetría.
- 2) En el modo de alarma en modo tsunami, la boya transmite un dato de nivel por minuto.

Así que prácticamente en el modo de alarma, el tráfico es 15 veces el modo normal.

Si no se detecta ninguna alarma de tsunami, el costo será de alrededor de US\$ 1,500.00 / mes.

La estación de marea Modelo –T, transmite utilizando un transceptor automático capaz de utilizar GPRS / red Inmarsat intercambiar automáticamente. En caso de GPRS el costo del tráfico será de USD 10.15 / mes (que sólo se necesita la tarjeta SIM para tráfico de datos como un teléfono móvil común) - En caso de Inmarsat el coste máximo debe ser de aproximadamente USD 500 / mes). [53]

#### 4.5 Calculo de la Inversión

EQUIPOS	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
ESTACIÓN DE TRABAJO	1	\$ 5.000,00	\$ 5.000,00

<b>Equipos y conectores para comunicación satelital</b>	1	\$ 5.000,00	\$ 5.000,00
<b>* 2xInmarsat mini-C transceivers</b>			
<b>* cables y Fuente de poder</b>			
<b>* 2xCAM/Ethernet converters if mini-C have CAM</b>			
<b>* BUS interfaces</b>			
<b>* O 2X232/Ethernet converter if mini-C have Rs</b>			
<b>have Rs 232-Interface</b>			
<b>TSUNAMOMETRO</b>			
<b>UM Poseidon Class</b>	1	\$ 223.140,00	\$ 223.140,00
<b>BOYA DE SUPERFICIE</b>			
<b>MKI-4-1 SBP</b>	1	\$ 111.570,00	\$ 111.570,00
<b>SOFTWARE PARA EQUIPOS</b>			
<b>envHydro-02</b>	1	\$ 33.471,00	\$ 33.471,00
<b>MAREÓGRAFO</b>			
<b>eTide-I model T</b>	1	\$ 39.000,00	\$ 39.000,00
<b>SIRENA</b>			
<b>Sirena roja 63 tonos 120 db con baliza xenón roja</b>	100	\$ 380,65	\$ 38.065,00

RUBRO	CANTIDAD PERSONAS	DIAS	COSTO USD/DIA	COSTO TOTAL
<b>Personal de instalación</b>	4	10	\$ 800,00	\$ 32.000,00
<b>SUBTOTAL</b>	1	10	\$ 800,00	\$ 8.000,00

REMUNERACIÓN DE LOS OBSERVADORES

RUBRO	CANTIDAD PERSONAS	DIAS	COSTO USD/DIA	COSTO TOTAL
<b>Pago de Ingenieros a cargo de observación de instalación</b>	2	10	\$ 1.450,00	\$ 29.000,00
<b>Alojamiento de Observadores</b>	2	10	\$ 180,00	\$ 3.600,00
<b>Viáticos de Observadores</b>	2		\$ 1.500,00	\$ 3.000,00
<b>SUBTOTAL</b>				\$ 35.600,00

**TRANSPORTACIÓN**

RUBRO	CANTIDAD UNIDADES	PRECIO UNITARIO	COSTO TOTAL
Envío y Embalaje kit marino	1	\$ 3.347,00	\$ 3.347,00
<b>SUBTOTAL</b>		\$ 3.347,00	\$ 3.347,00

**ALQUILER DE EMBARCACIÓN PARA INSTALACIÓN**

RUBRO	COSTO TOTAL
Embarcación para instalación de equipos en el mar	\$ 10.000,00
<b>SUBTOTAL</b>	\$ 10.000,00

**EQUIPO PARA FIJACIÓN DE KIT MARINO**

RUBRO	COSTO TOTAL
Línea de amarre de la boya, lastre y ancla	\$ 44.628,00
<b>SUBTOTAL</b>	\$ 44.628,00

**MANTENIMIENTO**

RUBRO	COSTO TOTAL
Mantenimiento del Kit Marino	\$ 50.000,00
<b>SUBTOTAL</b>	\$ 50.000,00

**ENLACES DE COMUNICACIÓN**

RUBRO	CANTIDAD	MESES	C.UNITARIO AL AÑO	CANTIDAD
Contrato de servicios con operadora de teléfono	100	12	\$ 35,00	\$ 42.000,00
Transmisión de datos de Mareógrafo por Inmarsat	2	12	\$ 500,00	\$ 12.000,00
Transmisión de datos de kit Marino por Inmarsat	1	12	\$ 1.500,00	\$ 18.000,00
<b>SUBTOTAL</b>				\$ 72.000,00

	INVERSION TOTAL	\$ 683.209,00
	<b>PRESTAMO A REALIZAR</b>	<b>-700.000,00</b>
Tasa de Interés		14%
Número de pagos (un pago por cada año)		10
Valor de la cuota anual por pagar		\$ 134.199,48

**Figura 4. 2: Inversión total y préstamo a realizar.**

Luego de haber calculado la inversión (ver figura 4.2), se presenta la tabla (ver figura 4.3) con los indicadores económicos, para la vida útil del proyecto con una tasa de descuento del 14%.

FLUJO DE CAJA											
	AÑO CERO	1ER. AÑO	2DO. AÑO	3ER. AÑO	4TO. AÑO	5TO. AÑO	6TO. AÑO	7TO. AÑO	8VO. AÑO	9NO. AÑO	10MO. AÑO
Saldo anterior		16.791,00	156.902,09	347.013,17	487.124,26	677.235,34	817.346,43	1.007.457,51	1.147.568,60	1.337.679,68	1.477.790,77
Gastos de Inversión Inicial	-683.209,00										
Ingresos		\$ 264.000,00	\$ 314.000,00	\$ 264.000,00	\$ 314.000,00	\$ 264.000,00	\$ 314.000,00	\$ 264.000,00	\$ 314.000,00	\$ 264.000,00	\$ 264.000,00
Egresos		123888,9149	123888,9149	123888,9149	123888,9149	\$ 123.888,91	\$ 123.888,91	\$ 123.888,91	\$ 123.888,91	\$ 123.888,91	\$ 123.888,91
<b>Flujo Neto</b>	-683.209,00	140111,0851	190111,0851	140111,0851	190111,0851	140111,0851	190111,0851	140111,0851	190111,0851	140111,0851	140111,0851
Préstamo	700.000,00										
<b>Flujo acumulado</b>	16.791,00	156.902,09	347.013,17	487.124,26	677.235,34	817.346,43	1.007.457,51	1.147.568,60	1.337.679,68	1.477.790,77	1.617.901,85
Cálculo del VAN	\$ 130.423,88										
Cálculo del TIR	20%										

**Figura 4. 3: Indicadores económicas VAN y TIR.**

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

1. Un sistema de Alerta temprana de Tsunami es esencial para garantizar la seguridad nacional en el Ecuador y mientras mayor sea el número de redes que aporten al estudio de este fenómeno, mayor será la eficacia al momento de detectar un evento de tal magnitud.
2. La recepción de los datos recibidos deben ser en tiempo real o máximo tener un tiempo muy pequeño de retraso para que permita un rápido aviso hacia la población.
3. El uso de código libre permitido en la plataforma Arduino, más la fácil adaptación entre módulos existentes, es de suma importancia para el desarrollo de nuevas aplicaciones con ellos por el bien de la comunidad.
4. Sé determino para que exista comunicación serial, la tasa de transmisión entre el módulo Arduino y el Shield GSM/GPRS debe ser 19200.
5. Un sistema de alerta temprana, bajo la tecnología GSM para el servicio en casos de emergencia es de suma importancia, considerando la cobertura existente brindada por los operadores móviles.

### RECOMENDACIONES

1. Es de suma importancia el cumplimiento de los protocolos de Alerta de Tsunami en donde se evaluarán los avisos de emergencia y deberán ser revisados y validados para su posterior emisión, previendo que esto sea de la manera más rápida posible, puesto que el tiempo es un factor de suma importancia en estos sistemas.
2. Se recomienda dar un mantenimiento periódico a todos los sistemas que contempla la red, Mareógrafo y Tsunamometro.
3. El gobierno deber ser el eje primordial encargado de dar el apoyo económico para que se pueda implementar los sistemas de alerta, en cooperación de organismos y operadoras móviles.

4. Desarrollar y planificar rutas de evacuación en la zona de afectación y establecer lugares seguros correctamente señalizados. Estos deberán cumplir con estándares Internacionalmente para Tsunamis.
5. Se considera necesario la creación de un proyecto de ley en el cual se brinde apoyo en las Telecomunicaciones de emergencia un marco legal donde se proteja y brinde continuidad en mejora de infraestructura y a los canales de comunicaciones para la integración de acciones de forma oportuna.
6. Un punto importante que se debe considerar para el proyecto, sería la figura legal, realizar un convenio entre las operadoras y el estado, para el uso de infraestructura para la transmisión de mensajes de alerta de tsunami.
7. Comunicar a los usuarios que terminales son los que cumplen con las normas para poder recibir este mensaje de aviso y como deben proceder para activar. En el caso de usar CBS.
8. La Elaboración de un logotipo que permita la distinción entre los dispositivos móviles que cumplan con las normativas de poder brindar este mensaje de alerta y aquellos que no sean capaces de recibir, no deberían comercializarse bajo el sello antes mencionado.
9. Seguir las normativas internacionales como ETSI , 3GPP y ATIS/TIA J-STD, con el objetivo de asegurar una correcta implementación del sistemas de Cell Broadcast al momento de poner en ejecución .

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Elaboración propia de los autores.
- [2] P. Arreaga. M. Ortiz. (2012). Análisis de riesgo de inundación por Tsunami. [En línea].  
[http://www.inocar.mil.ec/docs/ACTAS/OCE11/OCE1101\\_4.pdf](http://www.inocar.mil.ec/docs/ACTAS/OCE11/OCE1101_4.pdf)
- [3] E. Sotomayor. (2012), Estudio de un Sistema de comunicación satelital para alerta y reacción ante eventos sísmicos, Universidad de Chile, Chile.
- [4] S. Themistoklis. (2013). Tsunami amplification phenomena. [En línea].  
<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00920527/document>
- [5] Synolakis et al., 2002, Tappin et al., 2008
- [6] Monserrat et al., 2006, O'Brien et al., 2013
- [7] IMS. (2012). Plan institucional de preparación y respuesta frente a un tsunami en México. [En línea]  
[http://cvoed.imss.gob.mx/COED/home/normativos/DPM/archivos/plan\\_tsunami.pdf](http://cvoed.imss.gob.mx/COED/home/normativos/DPM/archivos/plan_tsunami.pdf)
- [8] J. Erkoreka. (2012). [En línea] <http://josuerkoreka.com/2012/07/26/>
- [9] Geist, E.L., and Parsons, T., 2006, Probabilistic analysis of tsunami hazards: Natural Hazards, v. 37, p. 277-314.
- [10] USAID, Guía de referencia para centros de alerta de tsunami, Ed. Bangkok, Tailandia, 2007, pp. 24.
- [11] IRIS. Seismographs. [En línea].  
[http://www.iris.edu/hq/files/programs/education\\_and\\_outreach/aotm/8/Seismograph\\_Background.pdf](http://www.iris.edu/hq/files/programs/education_and_outreach/aotm/8/Seismograph_Background.pdf)
- [12] Manual de Medición e Interpretación de la COI, UNESCO Vol. 4, 2006
- [13] Woodworth y Smith, 2003.
- [14] USAID, Guía de referencia para centros de alerta de tsunami, Ed. Bangkok, Tailandia, 2007, pp. 111.
- [15] TSUNAMI WARNING SYSTEM Technical Specifications of Underwater Module
- [16] TSUNAMI WARNING SYSTEM Technical Specifications of Surface Buoy -Envirtech
- [17] C. Pérez. y J. Zamanillo. A. Casanueva. (2007). Sistemas de telecomunicaciones. Universidad de Cantabria. [En línea]



<https://books.google.com.ec/books?id=y5s3XlaE46UC&printsec=frontcover&dq=Comunicaciones+Acusticas+libro&hl=es&sa=X&ved=0CEAQ6AEwB2oVChMIxULGpprhxglVBDWICH0VggWd#v=onepage&q&f=false>

[18] S. Haykin. 2002. Sistemas de Comunicación. México. Limusa Willey.

[19] Underwater Acoustic Communications: Design Considerations on the Physical Layer. Milica Stojanovic Massachusetts Institute of Technology Cambridge, MA 02139 millitsa@mit.edu ]

[20] D Roddy. Satellite Communications, Fourth Edition

[21] SNGR/ECHO/UNISDR, (2012), Referencias Básicas para la Gestión de Riesgos. Quito, Ecuador. SNGR.

[22] Elaboración propia de los autores, usando la herramienta Google earth 2015.

[23] Elaboración propia de los autores, usando herramienta Microsoft Office 2007, Visio.

[24] Supertel. [En línea] <http://geoportal.supertel.gob.ec:7012/Geoportal/Visor.html>

[25] SUPERTEL, App móvil: Señal Móvil Ecuador.

[26] NOAA, Centro de Excelencia in Tecnología Marina, Centro Nacional de Boyas, .KMZ, Google earth.

[27] Envirtech, (2011, February, 15th), Technical Specifications of Underwater Module, Tsunami Warming System.

[28] Envirtech, (2011, February, 15th), SEA LEVEL ETIDE-I, Tsunami Warming System.

[29] Inmarsat. [En línea]. <http://www.inmarsat.com/>

[30] Informe UIT-R M.2149, (2010), Utilización y ejemplos de sistemas de servicio móvil por satélite para operaciones de socorro en caso de catástrofe naturales y emergencias similares, Ginebra, Suiza, [En línea], [http://www.itu.int/dms\\_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-M.2149-2009-PDF-S.pdf](http://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-M.2149-2009-PDF-S.pdf)

[31] Envirtech, (2011, February, 15th), Technical Specifications of Underwater Module, Tsunami Warming System.

[32] INDECI, (2014), Licitación Pública, Adquisición de un Sistema de Alerta temprana Contra Tsunami, Perú, [En línea],

[33] Ministerio del Ambiente, Municipalidad de Esmeraldas, Proyecto para asistencia técnica para la gestión ambiental del Municipio de Esmeraldas, Ecuador,

[En línea], <http://www.gadmesModule.gov.ec/alcaldia/images/stories/2013/descargas/USO%20DE%20SUELOS%20Y%20ANALISIS%20patra%202002.pdf>

[34] propia de los autores, usando software online del sitio web Telegrafia, [En línea] [http://www.telegrafia.eu/esp/acusticus/Pages/acusticus\\_professional.aspx](http://www.telegrafia.eu/esp/acusticus/Pages/acusticus_professional.aspx)

[35] Telegrafia. [En línea] [http://www.telegrafia.eu/esp/Productos/sirenas\\_electronicas/Pages/sirenas\\_electronicas.aspx](http://www.telegrafia.eu/esp/Productos/sirenas_electronicas/Pages/sirenas_electronicas.aspx)

[36] Seeedstudio, GPRS Shield, [En línea] [http://www.seeedstudio.com/wiki/GPRS\\_Shield\\_V1.0](http://www.seeedstudio.com/wiki/GPRS_Shield_V1.0)

[37] Elaboración de los autores, fotografía de la placa Shield GSM/GPRS SIM 900.

[38] Schematic GPRS\_SHIELD SIM 900, [En línea] [http://www.seeedstudio.com/wiki/images/f/f6/GPRS\\_Shield\\_interface.jpg](http://www.seeedstudio.com/wiki/images/f/f6/GPRS_Shield_interface.jpg)

[39] Elaboración propia de los autores, usando proteus 8.

[40] Elaboración propia de los autores, usando Labview 2013.

[41] Elaboración propia de los autores, usando herramienta de Microsoft Office, PAINT.

[42] Parada J, Andrickson J, Chacón R, (2003), Elaboración de un Servidor y Cliente TCP/IP usando Labview, Universidad del Táchira, San Cristobal.

[43] [En línea], <https://decibel.ni.com/content/docs/DOC-2401>

[44] [En línea], [http://www.geeetech.com/wiki/index.php/Arduino\\_GPRS\\_Shield](http://www.geeetech.com/wiki/index.php/Arduino_GPRS_Shield)

[45] Giovanni, F. (). Cell Broadcast Sistema de Alerta Publica Temprana, Facultad de Ingeniería Electrónica e Información, Escuela de Telecomunicaciones, Universidad Nacional Federico Villareal, Perú.

[46] Greg's, Mapa de Cable Submarino, [En línea], <http://www.cablemap.info/>.

[47] ITU-T,(2011), Technology, Monitoring climate change with submarine cable, Rome, Italy, [En línea], <https://itunews.itu.int/En/571-Monitoring-climate-change-with-submarine-cables.note.aspx>

[48] Pablo de la O, C, (2008), 450 mil kilómetros de fibra óptica bajo el mar, Universidad Nacional Autónoma de México, Cómputo académico unam, 7(74), México, [En línea], <http://www.enterate.unam.mx/Articulos/2003/marzo/fibopmar.htm>

[49] Cable de fibra submarino, Google Earth, (2015), [KMZ],

[50] JAMSTEC, DONET, [En línea], <http://www.jamstec.go.jp/donet/e/donet/index.html>

[51] Stefan Tenebaum, (2013), Padtec R&D, Submarine System and Amplifiers

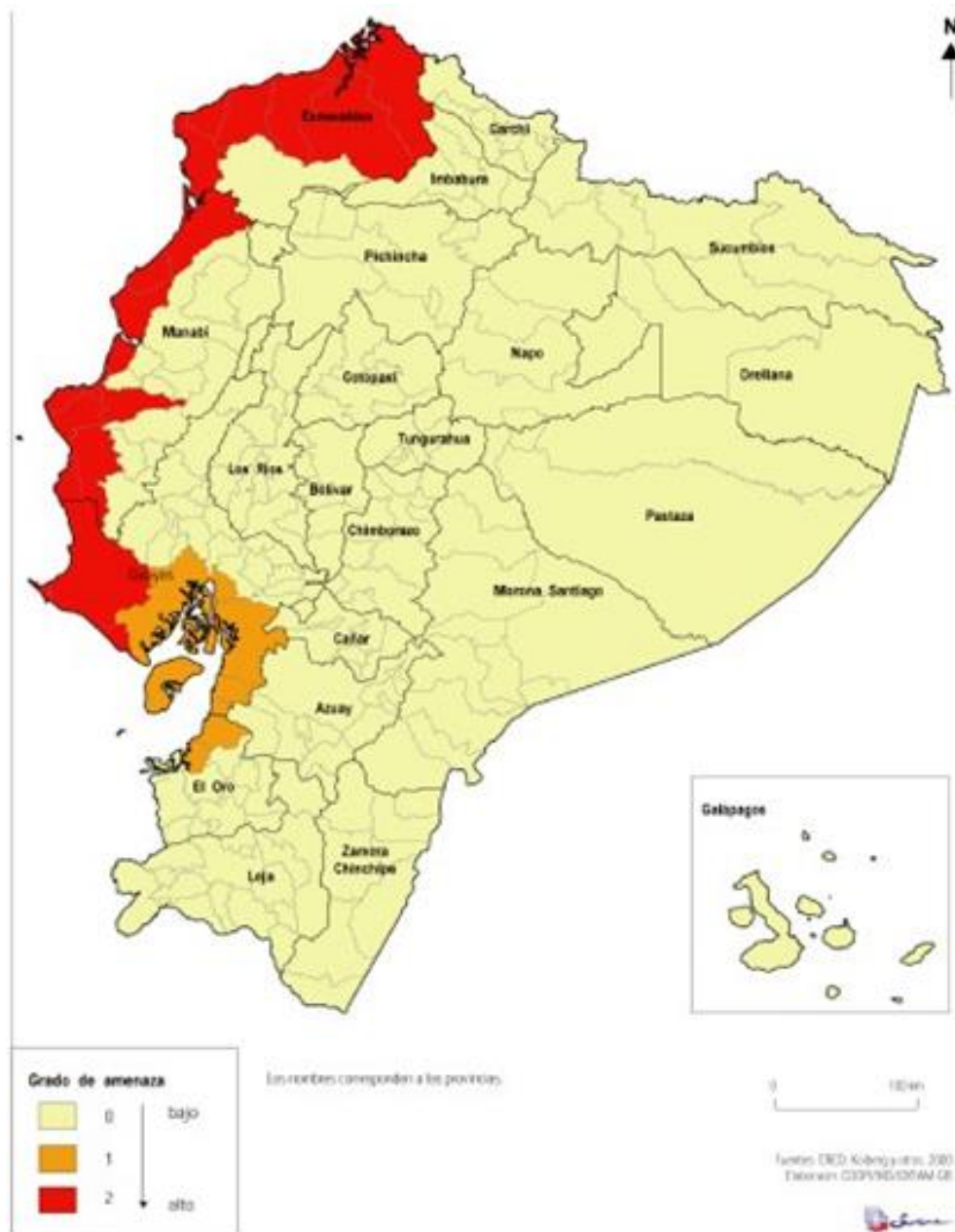
[52] Ocean & Coastal Management 54 (2011) Managing tsunamis through early warning system: A multidisciplinary approach Di jin, Jian Lin.

[53] F. R. (2015, 06, 15). Comunicación vía mail. Email: [info@envirtech.org](mailto:info@envirtech.org)

## ANEXOS

### ANEXO 1

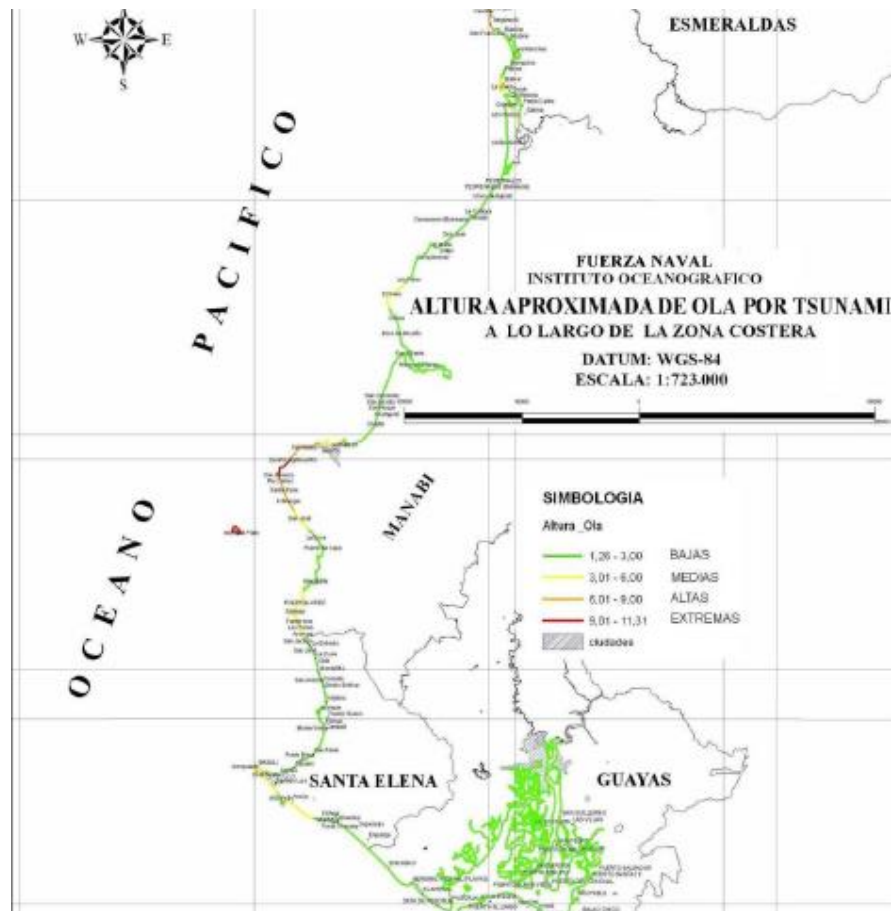
Nivel de amenaza por tsunami por provincia en el Ecuador. Fuente: ARMADA DEL ECUADOR DIPECHO 2005.



## ANEXO 2

Altura aproximada de la ola por Tsunami a lo largo de las zona costanera.

Fuente: ARMADA DEL ECUADOR



**ANEXO 3**

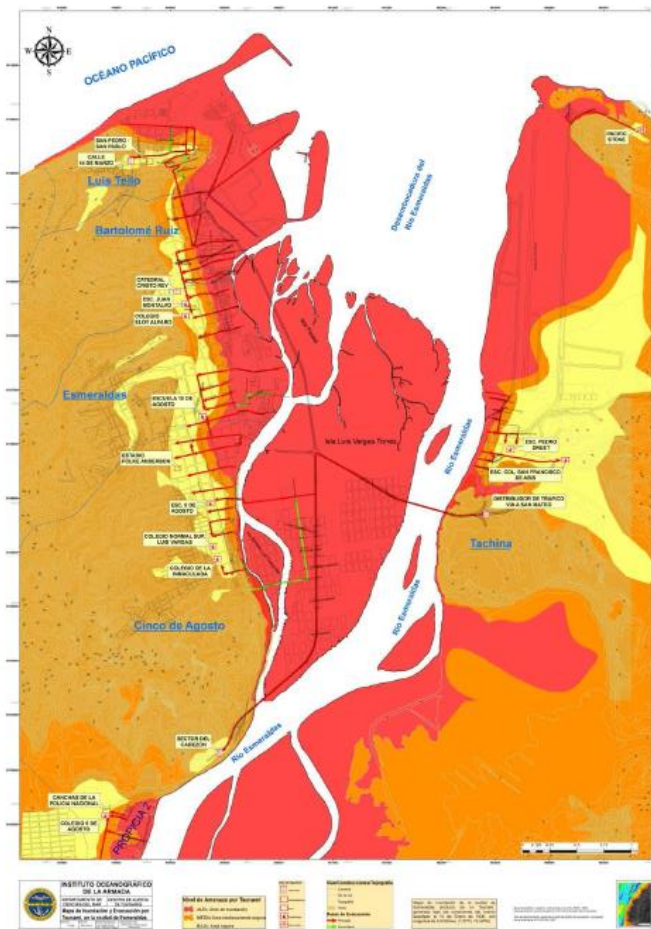
Plano general de la ciudad de Esmeraldas de la zona inundable por tsunamis, dividida en zonas de acuerdo a las provincias que están dentro del área de estudio. Se ha determinado la cota de 10 metros, como margen de



Av. 25 de Julio, vía al Puerto Marítimo, Base Naval Sur  
 Telf.: 2481-300 / 2480033  
 Fax: 248-5166  
 e-mail: inocar@inocar.mil.ec

**FUERZA NAVAL**

**VI. PLANO**



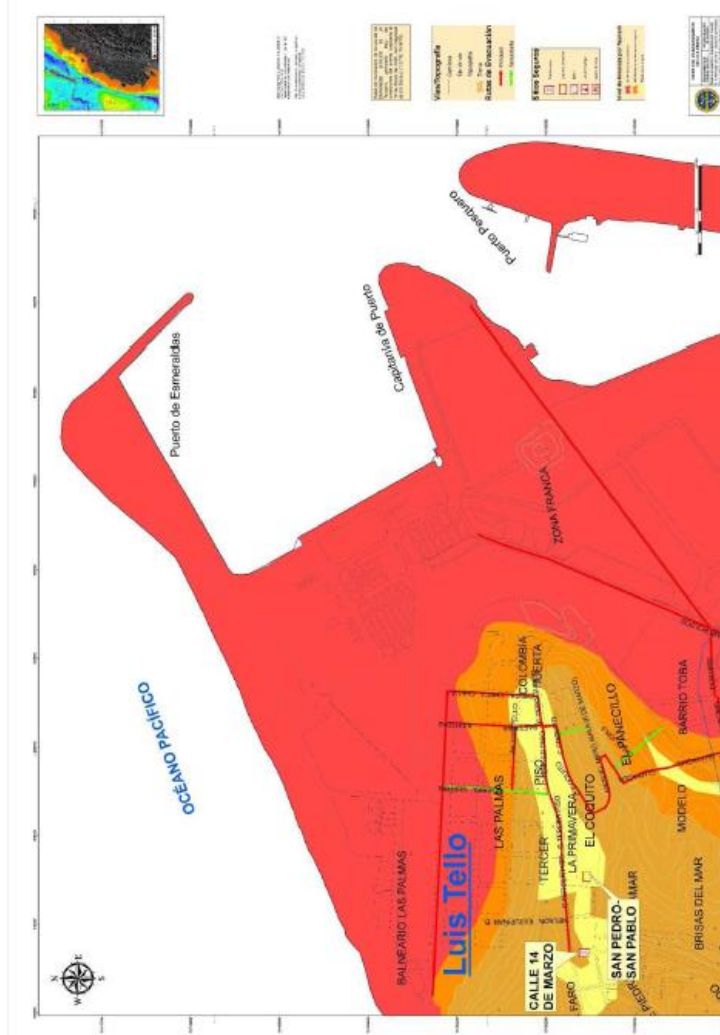
### ANEXO 4

Plano de la zona 1, correspondiente a la Parroquia Luis Tello, sector norte de la zona inundable.



Av. 25 de Julio, vía al Puerto Marítimo, Base Naval Sur  
Telf.: 2481-300 / 2480033  
Fax: 248-5166  
e-mail: inocar@nocar.mil.ec

### FUERZA NAVAL





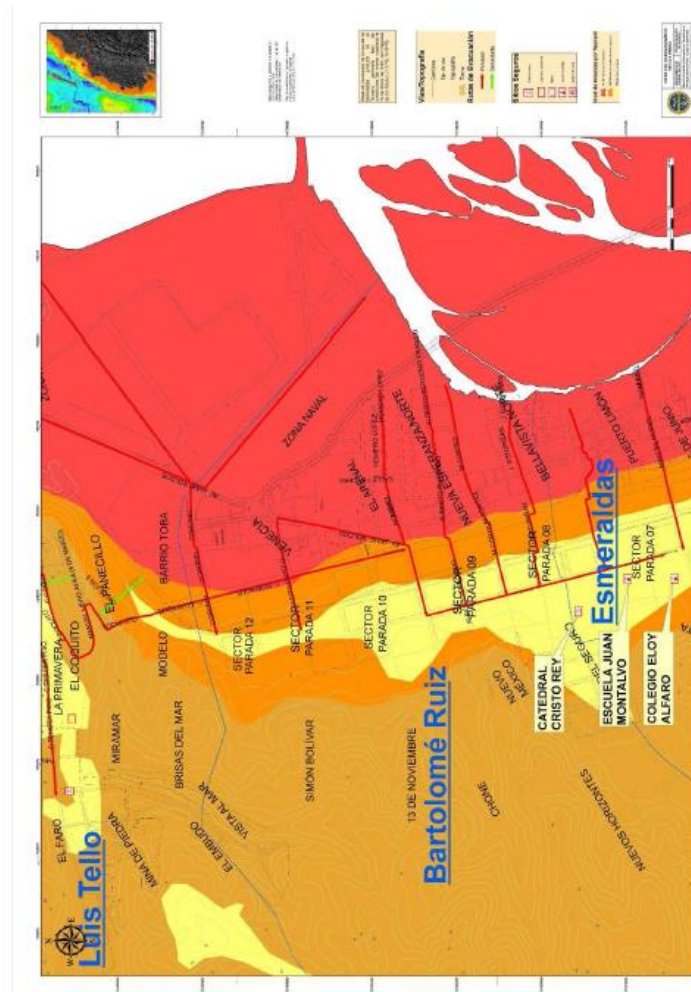
**ANEXO 5**

Plano correspondiente a la zona 2 del Plano de inundación o a la Parroquia Bartolomé Ruiz.



Av. 25 de Julio, vía al Puerto Marítimo, Base Naval Sur  
 Telf.: 2481-300 / 2480033  
 Fax: 248-5166  
 e-mail: [inocar@inocar.mil.ec](mailto:inocar@inocar.mil.ec)

**FUERZA NAVAL**





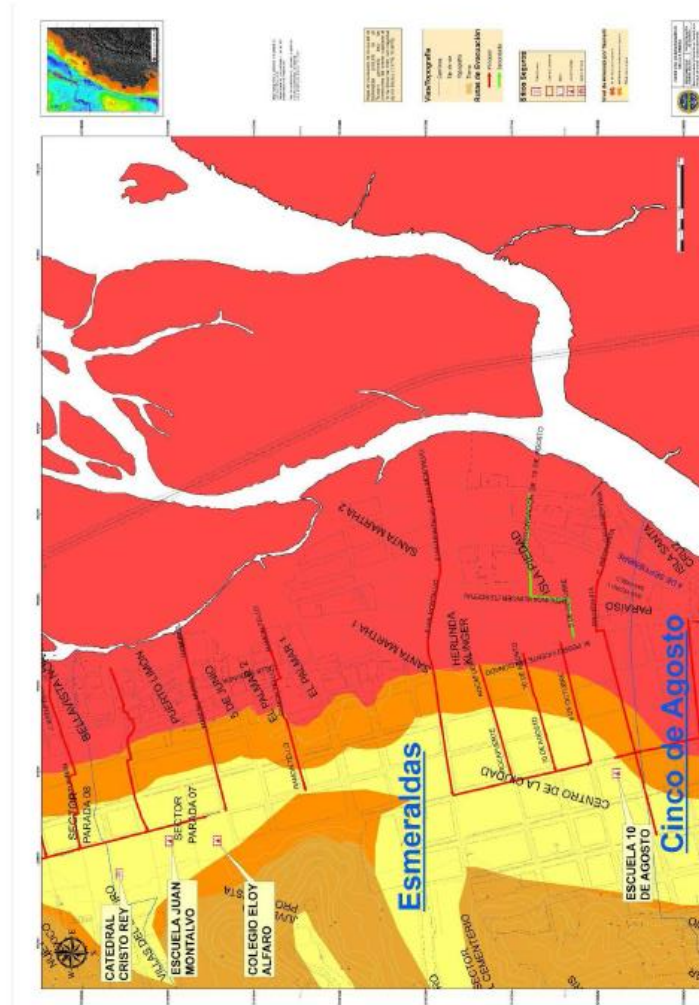
**ANEXO 6**

Plano de la zona 3 correspondiente a la parroquia Esmeraldas, del mapa de inundación.



Av. 25 de Julio, vía al Puerto Marítimo, Base Naval Sur  
 Telf.: 2481-300 / 2480033  
 Fax: 248-5166  
 e-mail: inocar@inocar.mil.ec

**FUERZA NAVAL**



**ANEXO 7**

Plano de la Parroquia 5 de agosto correspondiente a la zona 4 y zona 5, sector de las islas del mapa de inundación de la ciudad.



Av. 25 de Julio, vía al Puerto Marítimo, Base Naval Sur  
 Telf.: 2481-300 / 2480033  
 Fax: 248-5166  
 e-mail: inocar@nocar.mil.ec

**FUERZA NAVAL**



**ANEXO 8**

## Características Tsunamómetro Clase Poseidón. [27]

<b>INFORMACIÓN GENERAL</b>	
<b>Estructura del Marco</b>	
	800 mm x 800mm x 880 mm
<b>Lastre</b>	
	800 mm x 800mm x 300mm
<b>Material de la Estructura</b>	
	AISI 316L Acero Inoxidable
<b>Cuerpo del Instrumento</b>	
	TITANIUM grado 5
<b>Peso en el Aire</b>	
	70 kg
<b>Peso en el Agua</b>	
	Cero con la línea de flotación
<b>Peso del Lastre</b>	
	130kg
<b>Temperatura de funcionamiento</b>	
	-4° C + 45° C (Estándar)
<b>Temperatura de operación extendida</b>	
	-20° C + 70° C (Opcional)
<b>Profundidad máxima de operación</b>	
	6000 metros
<b>CARACTERÍSTICAS ESTÁNDAR</b>	
<b>Medidor de presión</b>	
	Paroscientific cuarzo Cristalino de la gama de tecnología resonador: 7.000 m H2O Precisión de la presión 0,01% de resolución de Presión FS 0.1 ppm Sensor de Temperatura Resolución: 0.001 ° C
<b>Metros de inclinación</b>	

	+/- 45 ° x 3 ejes
<b>Brújula</b>	
	Sistema micro mecanizado Electro-Mecánico (MEMS) Gyro estabilizado exactitud Azimut: 0,5 ° RMS, 0,1 ° Resolución exactitud Inclinación: 0,2 ° RMS, resolución de 0,1 °
<b>CPU</b>	
	16 o 32 bits RAM 1024 Kb Muy bajo consumo de energía
<b>Telemetría</b>	
	Amplio Espectro Acústica módem acústico enlace máximo 4500 bps Frecuencia de funcionamiento: 12,75 a 21,25 KHz
<b>Registrador De Datos</b>	
	NVRAM - 32 GB
<b>Autonomía de alimentación</b>	
	Paquete de Baterías de Litio - 2.0 años
<b>Algoritmo de detección</b>	
	Algoritmo Mofjeld
<b>Las especificaciones pueden cambiar sin previo aviso</b>	

## ANEXO 9

Características BOYA TSUNAMI MKI-4. [28]

<b>INFORMACIÓN GENERAL</b>	
<b>Dimensiones</b>	
	1800 mm Diámetro Longitud total 5.872 mm
<b>Construcción</b>	
	4 piezas Poliuretano, UV estabilizado, espuma flotador de llenado + Inoxidable AISI 316L
<b>Cuerpo del Instrumento</b>	
	Aluminio
<b>Peso en el Aire</b>	
	1,200 Kg (podría cambiar)
<b>Temperatura de funcionamiento</b>	
	-4 ° C + 60 ° C (estándar)
<b>Temperatura de operación extendida</b>	
	-20 ° C a + 70 ° C (opcional)
<b>Escala Beaufort extendido:</b>	
	14 (Ciclones tropicales)
<b>CARACTERÍSTICAS ESTÁNDAR</b>	
<b>CPU</b>	
	de 32 bits RAM 1024 Kb Muy bajo consumo de energía
<b>Telemetría</b>	
	2 x espectro de propagación Módems acústicos <ul style="list-style-type: none"> <li>• enlace acústico máximo 8500 bps</li> <li>• frecuencia de funcionamiento: 12,75 a 21,25 KHz</li> </ul> 1 x WIFI (que se utilizará durante la puesta en marcha y

	mantenimiento)
<b>Comunicación Satelital</b>	
	Satélite Inmarsat mini 2 x C o 1 Iridium + 1 Inmarsat Mini-C Opción: Beidou o Insat GPS 12 canales para seguimiento boya
<b>Registrador De Datos</b>	
	Paquete de baterías de litio - 2.0 años
<b>Algoritmo de detección</b>	
	Algoritmo Mofjeld
<b>Las especificaciones pueden cambiar sin previo aviso</b>	
	NVRAM - 32 GB
<b>Fuente de Alimentación</b>	
	Potencia estándar 4 paneles solares O Paquete de baterías de litio (máximo 2 años de autonomía)
<b>Navegación AIDS</b>	
	Ayuda para la navegación obstrucción luz 5.3 nm Radar reflector 10 m2 equivalente.
<b>Las especificaciones pueden cambiar sin previo aviso</b>	

**ANEXO 10**

Mareógrafo eTide-I modelo T. [31]

<b>CARACTERÍSTICAS ESTÁNDAR</b>	
<b>Mareógrafo</b>	
	Antena tipo panel Radar de Altimetría
<b>Estructura</b>	
	Aluminio AL57S
<b>Rango de Medición</b>	
	1...10 metros hasta 3...85 metros
<b>Rango de Temperatura Operacional</b>	
	-30° C +50°C
<b>Protección</b>	
	IP68-1 Bar
<b>Modulación</b>	
	FM Triangular
<b>Exactitud (Mediciones promediados)</b>	
	< +/- 1mm
<b>Tasa de Muestreo</b>	
	2...50 muestras/sg
<b>Altura significativa y cálculo del período</b>	
<b>Algoritmo de detección Tsunami</b>	Patente Envirtech
<b>Configuración Remota y Operable</b>	
	Si
<b>Velocidad de transmisión de Centro de Control</b>	
	Configurable de 1...60 min, dependiendo de la capacidad de

	recepción del transceptor
<b>Registro de Datos almacenados</b>	
	Hasta 5 años a nivel local datos almacenados
<b>Pantalla Local / Teclado</b>	
	Si
<b>Interfaz de usuario Local</b>	
	Ethernet
<b>Transceptores</b>	
	Inmarsat mini-C, Inmarsat D +, Iridium, VA, VHF, UHF, GPRS / EDGE, otros Bajo demanda
<b>Mantenimiento Programado</b>	
	No necesita mantenimiento programado



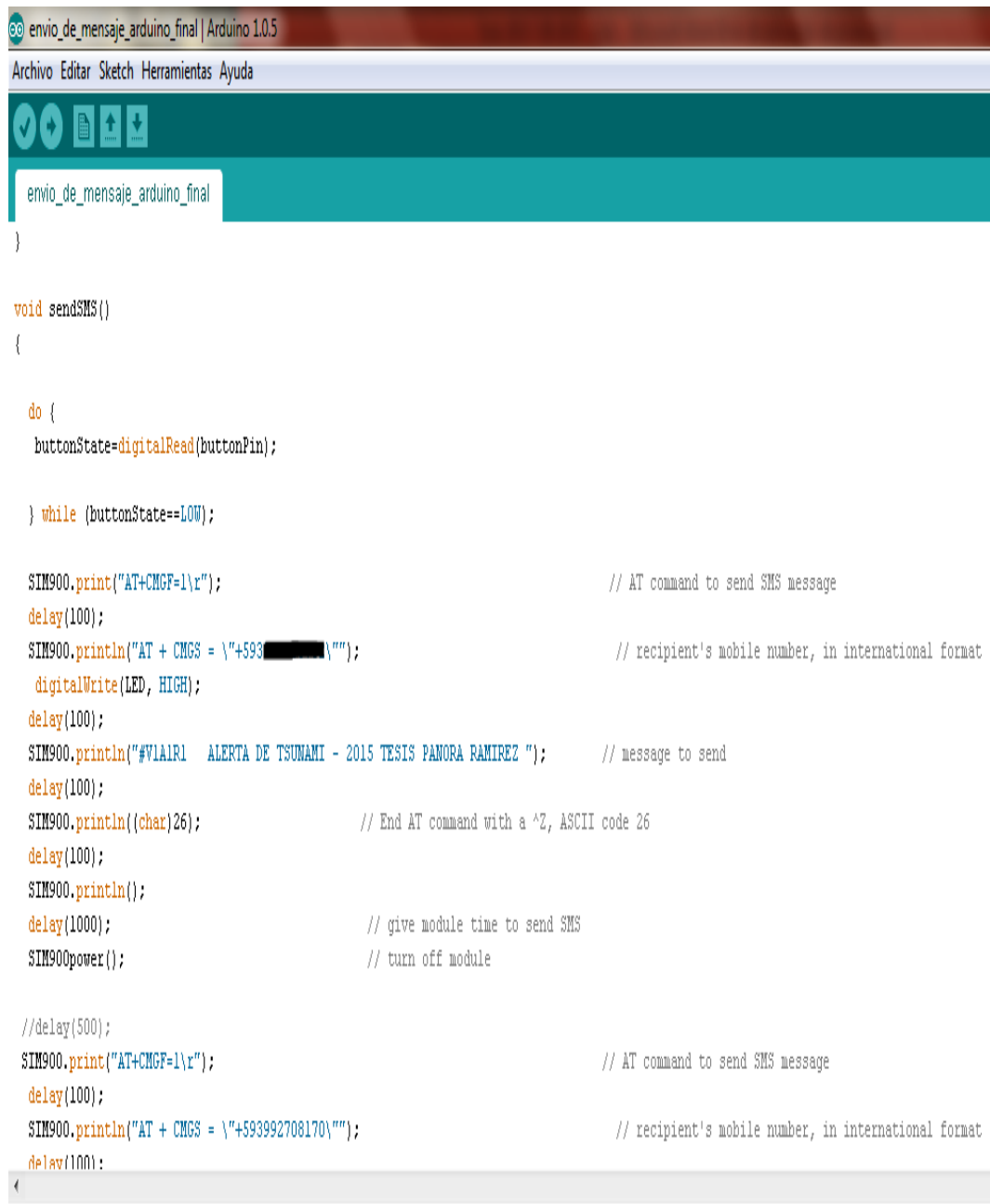
**ANEXO 11**

Valores de operación: voltaje y corriente del módulo shield SIM 900. [36]

<b>Especificación</b>	<b>Min</b>	<b>Tipo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Unidad</b>
Fuente Voltaje Lógico	4.5	5	5.5	VDC
Fuente de voltaje administrado batería	9	-	20	VDC
Corriente	/	50	450	mA

## ANEXO 12

El código que se usó para configurar el módulo shield 900 para envío de SMS



```

envio_de_mensaje_arduino_final | Arduino 1.0.5
Archivo Editar Sketch Herramientas Ayuda
envio_de_mensaje_arduino_final
}

void sendSMS()
{

do {
  buttonState=digitalRead(buttonPin);

} while (buttonState==LOW);

SIM900.print("AT+CMGF=1\r"); // AT command to send SMS message
delay(100);
SIM900.println("AT + CMGS = \"+593[REDACTED]\""); // recipient's mobile number, in international format
digitalWrite(LED, HIGH);
delay(100);
SIM900.println("#VIAIRL ALERTA DE TSUNAMI - 2015 TESIS PANORA RAMIREZ "); // message to send
delay(100);
SIM900.println((char)26); // End AT command with a ^Z, ASCII code 26
delay(100);
SIM900.println();
delay(1000); // give module time to send SMS
SIM900.power(); // turn off module

//delay(500);
SIM900.print("AT+CMGF=1\r"); // AT command to send SMS message
delay(100);
SIM900.println("AT + CMGS = \"+593992708170\""); // recipient's mobile number, in international format
delay(100);

```

**ANEXO 13**

El código que se usó para configurar el módulo shield 900 para recepción SMS. [44]



```
Activacion_de_alerta_sms | Arduino 1.0.5
Archivo Editar Sketch Herramientas Ayuda
Activacion_de_alerta_sms
{
inchar=SIM900.read();
if (inchar=='#')
{
delay(10);
inchar=SIM900.read();
Serial.print(inchar);
if (inchar=='V')
{
delay(10);
inchar=SIM900.read();
Serial.print(inchar);
if (inchar=='0')
{
digitalWrite(led1, LOW);
}
else if (inchar=='1')
{
digitalWrite(led1, HIGH);
}
}
}
}
1 Arduino Mega 2560 or Mega ADK on COM10
```

ANEXO 14

RUTA DE EVACUACIÓN



**NOMBRE  
DEL LUGAR  
200 m**



**NOMBRE  
DEL LUGAR  
200 m**

RUTA DE EVACUACIÓN

RUTA DE EVACUACIÓN



**ZONA DE  
SEGURIDAD**



**ZONA DE AMENAZA  
TSUNAMI**

## ANEXO 15

**Comando AT de importancia.**

Alguno de los códigos de importancia AT-utilizados para el envío de SMS, los cuales son implementados en la programación del Arduino + GSM/GPRS

<b>AT+CMGF Select SMS Message Format</b>	
Test Command <b>AT+CMGF=?</b>	Response <b>+CMGF: (list of supported &lt;mode&gt;s)</b>  <b>OK</b>  Parameter See Write Command
Read Command <b>AT+CMGF?</b>	Response <b>+CMGF: &lt;mode&gt;</b>  <b>OK</b>  Parameter See Write Command
Write Command <b>AT+CMGF=&lt;mode&gt;</b>	Response TA sets parameter to deNote which input and output format of messages to use. <b>OK</b>  Parameter <mode> <u>0</u> PDU mode 1 text mode

AT+CMGS Send SMS Message	
Test Command <b>AT+CMGS=?</b>	Response <b>OK</b>
Write Command 1) If text mode (+CMGF=1): <b>+CMGS=&lt;da&gt;[,&lt;toda&gt;]&lt;CR&gt;</b> <b>text is entered</b> <b>&lt;ctrl-Z/ESC&gt;</b> ESC quits without sending  2) If PDU mode (+CMGF=0): <b>+CMGS=&lt;length&gt;&lt;CR&gt;</b> <b>PDU is given</b> <b>&lt;ctrl-Z/ESC&gt;</b>	Parameters  <b>&lt;da&gt;</b> GSM 03.40 TP-Destination-Address Address-Value field in string format(string should be included in quotation marks); BCD numbers (or GSM default alphabet characters) are converted to characters of the currently selected TE character set (specified by +CSCS in TS 07.07); type of address given by <toda>  <b>&lt;toda&gt;</b> GSM 04.11 TP-Destination-Address Type-of-Address octet in integer format (when first character of <da> is + (IRA 43) default is 145, otherwise default is 129)  <b>&lt;length&gt;</b> integer type value (not exceed 160 bytes) indicating in the text mode (+CMGF=1) the length of the message body <data> (or <cdata>) in characters; or in PDU mode (+CMGF=0), the length of the actual TP data unit in octets (i.e. the RP layer SMSC address octets are not counted in the length)
	Response TA sends message from a TE to the network (SMS-SUBMIT). Message reference value <nr> is returned to the TE on successful message delivery. Optionally (when +CSMS <service> value is 1 and network supports) <scts> is returned. Values can be used to identify message upon unsolicited delivery status report result code. 1) If text mode(+CMGF=1) and sending successful: <b>+CMGS: &lt;nr&gt;</b>

<b>AT+CNMI New SMS Message Indications</b>	
<b>Test Command</b> AT+CNMI=?	<b>Response</b> +CNMI: (list of supported <mode>s),(list of supported <mt>s),(list of supported <bm>s),(list of supported <ds>s),(list of supported <bfr>s) <b>OK</b> Parameters See Write Command
<b>Read Command</b> AT+CNMI?	<b>Response</b> +CNMI: <mode>,<mt>,<bm>,<ds>,<bfr> <b>OK</b> Parameters See Write Command
<b>Write Command</b> AT+CNMI=<mode>[,<mt>[,<bm>[,<ds>[,<bfr>]]] 1	<b>Response</b> TA selects the procedure for how the receiving of new messages from the network is indicated to the TE when TE is active, e.g. DTR signal is ON. If TE is inactive (e.g. DTR signal is OFF), message receiving should be done as specified in GSM 03.38. <b>OK</b> <b>ERROR</b> Parameters <b>&lt;mode&gt;</b> 0 Buffer unsolicited result codes in the TA. If TA result code buffer is full, indications can be buffered in some other place or the oldest indications may be discarded and replaced with the new received indications. 1 Discard indication and reject new received message unsolicited result codes when TA-TE link is reserved (e.g. in on-line data mode). Otherwise forward them directly to the TE. 2 Buffer unsolicited result codes in the TA when TA-TE link is reserved (e.g. in on-line data mode) and flush them to the TE after reservation. Otherwise forward them directly to the TE. 3 Forward unsolicited result codes directly to the TE. TA-TE link specific inband technique used to embed result codes and data when TA is in on-line data mode. <b>&lt;mt&gt;</b> (the rules for storing received SMS depend on its data coding scheme (refer GSM 03.38 [2]), preferred memory storage (+CPMS) setting and this value): 0 No SMS-DELIVER indications are routed to the TE. 1 If SMS-DELIVER is stored into ME/TA, indication of the memory location is routed to the TE using unsolicited result code: +CMTI: <mem>,<index> 2 SMS-DELIVERs (except class 2) are routed directly to