



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Electricidad y
Computación**

“DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE
ALERTA TEMPRANA CONTRA TSUNAMIS PARA LA
ZONA DE LA COSTA DEL PUERTO DE MANTA
PROVINCIA DE MANABI, ECUADOR”

INFORME DE PROYECTO INTEGRADOR

Previa a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRONICA Y
TELECOMUNICACIONES**

RUDDY ANGEL NAPA VITERI

WILLIAM HUMBERTO VELIZ NOBOA

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2015

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por su guía, salud y perseverancia, a mis padres por su sacrificio; a mis hermanos, por su ayuda y apoyo, a mis amigos y a todos los que creyeron en mí y colaboraron para la culminación con éxito este trabajo.

William Veliz

Agradezco primeramente a Dios por darme salud y ser mi guía en todo momento. A mis padres por darme vida y ser ejemplo para mí en todo momento. A mi esposa e hija por su apoyo incondicional y ser el motor de mi vida.

Ruddy Napa

DEDICATORIA

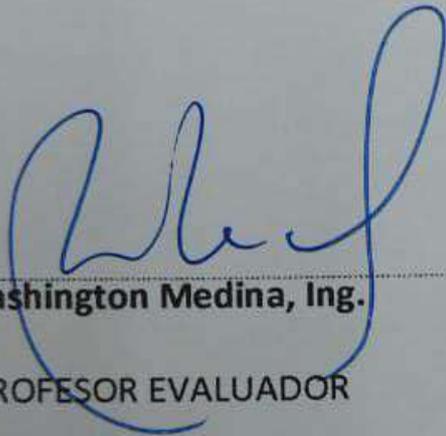
El siguiente proyecto está dedicado a mis padres, quienes han sabido brindarme su apoyo y confianza durante este proceso para llegar a ser profesional.

William veliz

Este Proyecto está dedicado a mis padres por su constate apoyo y motivación a lo largo de mi vida.

Ruddy Napa

TRIBUNAL DE EVALUACIÓN



Washington Medina, Ing.

PROFESOR EVALUADOR

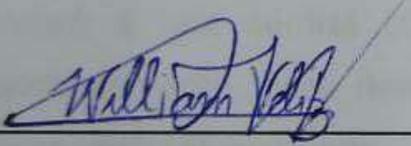


Boris Ramos, PhD.

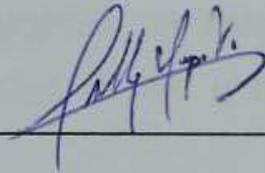
PROFESOR EVALUADOR

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"



William Humberto Véliz Noboa



Ruddy Angel Napa Viteri

RESUMEN

El presente proyecto consiste en el diseño de un sistema de alerta temprana para prevenir pérdidas de vidas humanas y animales que produzca un tsunami al adentrarse a las costas del puerto de Manta, provincia de Manabí, Ecuador.

Para el impulso del presente trabajo de titulación, se realizó el estudio de las posibles fuentes y propagación de los tsunamis como base para diseñar el sistema. Además se tomó en cuenta otros sistemas similares que actualmente existen y están funcionando en el Océano Pacífico.

La tecnología usada en nuestro proyecto se basa en dos campos de la ingeniería que son la Electrónica y las Telecomunicaciones las cuales nos permite el diseño del prototipo que recolectará los datos en mar abierto y los enviará a una central ubicada en la costa continental en tiempo real y constantemente, para detectar cualquier anomalía en el mar y alertar a la zonas costeras cercanas.

El proyecto permite monitorear y registrar los datos tomados del Océano Pacífico de este sistema y otros existentes para alerta de la proximidad de un tsunami a las costas del puerto de Manta.

El trabajo de titulación se encuentra establecido de la siguiente manera:

En el capítulo I se describe el planteamiento y origen del problema, los objetivos trazados, la metodología utilizada y los resultados propuestos para dar solución a la presente investigación.

El capítulo II abarca la fundamentación teórica de la propuesta, donde se recopilan varias teorías de autores que ayudan a la realización del proyecto; como es el caso de los estudios completos de los maremotos, historiales de registros en el mundo y en las costas ecuatorianas, estudio de la ubicación geográfica e hidrográfica del puerto de Manta y el funcionamiento de los sistemas de alerta contra tsunamis existentes en la actualidad.

En el capítulo III se describen el diseño y los elementos principales del sistema de detección temprana contra tsunamis, junto a las opciones de comunicación que se deben tomar y la ubicación geográfica de los equipos del Centro de

Control con su justificación respectiva. Además también se realizará una simulación de los datos tomados de los instrumentos con respectivas alertas

En el capítulo IV se realizará un estudio económico para verificar la viabilidad y factibilidad del presente proyecto de investigación.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	ii
DEDICATORIA	iii
TRIBUNAL DE EVALUACIÓN	iv
RESUMEN.....	vi
ÍNDICE GENERAL.....	viii
1.EL PROBLEMA.....	1
1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.2 Objetivos.....	3
1.3 Antecedentes.....	3
1.4 Justificación.....	4
1.5 Metodología.....	5
1.6 Resultados esperados.....	6
CAPÍTULO 2.....	7
2.MARCO TEORICO.....	7
2.1 Generalidades estudio de los tsunamis y maremotos.....	7
2.1.1 Origen de un tsunami.....	8
2.1.2 Clasificación.....	12
2.1.3 Propagación y tiempo de viaje.....	13
2.1.4 Influencia de las Configuraciones Costeras.....	15
2.2 Tsunamis registrados en la historia.....	15
2.2.1 Registros de tsunamis en el mundo.....	15
2.2.2 Eventos en el Ecuador.....	18
2.3 Características de la zona costera del Puerto de Manta.....	21
2.3.1 Marco geográfico.....	22
2.3.2 Características hidrográficas y oceanográficas.....	23
2.3.2.1 Profundidades y veriles.....	24
2.3.2.2 Gradientes y tipo de fondo.....	25
2.3.2.3 Aproximación.....	25
2.3.2.4 Fondeadero.....	26
2.3.2.5 Recomendaciones de seguridad.....	26
2.3.2.6 Ayudas a la navegación.....	26

2.3.2.7	Mareas	28
2.3.2.8	Vientos.....	28
2.3.2.9	Corrientes.....	28
2.3.2.10	Condiciones de tiempo local	29
2.3.2.11	Marco geológico.....	30
2.4	Funcionamiento de los sistemas de alerta contra tsunamis existentes en la actualidad.....	31
2.4.1	Funcionamiento en el Océano Índico.....	32
2.4.2	Funcionamiento en el Caribe.....	33
2.4.3	Funcionamiento en el Ecuador.....	33
2.4.4	Sistemas de Alerta temprana contra tsunamis con boya	34
2.4.4.1	Descripción	34
2.4.4.2	Diseño.....	35
2.4.4.3	Comunicación	36
2.4.5	Sistema de cables submarinos	37
2.4.5.1	Descripción general del Sistema Neptuno.....	37
2.4.5.2	Descripción general del Sistema DONET.....	39
CAPÍTULO 3	41
3.DISEÑO Y SIMULACION DEL SISTEMA.....		41
3.1	Diseño del sistema	41
3.1.1	Diseño del sistema General.....	42
3.1.1.1	Justificación del diseño general.....	43
3.1.2	Diseño del bloque Submarino.....	44
3.1.2.1	Descripción del bloque submarino.....	50
3.1.2.2	Justificación del diseño del bloque submarino.....	51
3.1.3	Diseño de bloques boya Tsunámica.....	51
3.1.3.1	Descripción del bloque de Boya tsunámica.....	54
3.1.3.2	Detalles de la Boya	55
3.1.3.3	Justificación del bloque boya tsunámica.....	57
3.1.4	Diseño del Centro de Alerta de tsunami	57
3.1.4.1	Importante.....	61
3.1.5	Diseño de la Comunicación del sistema.....	62
3.1.5.1	Equipos Conmutadores de comunicación.....	62

3.1.5.2	Enlace principal.	65
3.1.5.3	Descripción de la comunicación principal	73
3.1.5.4	Justificación de la comunicación principal.....	73
3.1.5.5	Enlace Secundario.....	74
3.1.5.6	Descripción de la comunicación secundaria.....	77
3.1.5.7	Justificación de la comunicación secundaria.....	78
3.1.6	Ubicación geográfica de los instrumentos de medición en el mar.	78
3.1.7	Recolección de información y Comunicación con otros sistemas.....	79
3.1.7.1	Importante.	83
3.1.8	Sistema de alerta e información.....	84
3.2	Simulación del Sistema de Alerta temprana de Tsunamis	87
3.2.1	Diagrama de funcionamiento.....	88
3.2.2	Etapas de la simulación.	90
CAPÍTULO 4	96
4. ESTUDIO ECONÓMICO PARA LA FACTIBILIDAD DEL PROYECTO.....		96
4.1	Estudio económico.....	96
4.1.1	Introducción.....	96
4.1.1.1	Evaluación financiera de la inversión.....	96
4.1.1.2	Costos de la inversión.....	97
4.1.2	Estimación de costos.....	99
4.1.3	Costo de equipamiento e instalaciones.....	99
4.1.4	Costo de construcción.....	100
4.1.5	Costo de la inversión	102
4.1.6	Costo de mantenimiento	103
4.1.7	Factibilidad del proyecto.....	103
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.		105
BIBLIOGRAFÍA.....		107
ANEXOS.....		112

CAPÍTULO 1

1. EL PROBLEMA.

1.1 Planteamiento del problema.

En los últimos años, se ha hecho muy común la creación de sistemas como alertas tempranas a la ocurrencia de tsunamis, pues los mismos constituyen uno de los fenómenos naturales que más daño pueden causar en el suelo que tocan.

En la actualidad la zona costera del puerto de Manta no cuenta con un sistema que pueda alertar a la ciudad y poblaciones cercanas de un eventual tsunami de origen cercano o lejano.

Por su localización geográfica, la ciudad constituye un gran peligro, puesto que se encuentra ubicada en la costa ecuatoriana, zona denominada como el “Cinturón de Fuego”, perteneciente al Océano Pacífico como se muestra en la **figura 1.1**, lugar de alto riesgo volcánico y sísmico, además de presentar características geográficas y oceanográficas que incrementan el riesgo de devastación.



Figura 1.1: Cinturón de fuego del Pacífico [1]

En caso de existir esta catástrofe, la ciudad se enfrentaría a varios problemas de salud inmediata como los que se muestran a continuación:

1. El agua de las inundaciones puede significar riesgos de salud como la presencia de agua y alimentos contaminados.
2. La pérdida de la vivienda deja a las personas vulnerables a la exposición de insectos, calor y otros peligros ambientales.
3. Existencia de una gran cantidad de personas ahogadas, y lesionadas con fracturas de extremidades y heridas en la cabeza, las cuales son causadas por el impacto físico del arrastre contra restos materiales como casas, árboles y otros objetos físicos.
4. El retiro del agua del mar puede provocar más lesiones y debilitar aún más las construcciones y los servicios de la ciudad.
5. La atención médica y falta de medicina para enfrentar este proceso es un factor crítico en las zonas donde ya era escasa.

Los desastres naturales no causan necesariamente un aumento en los brotes de enfermedades infecciosas de manera momentánea. Sin embargo, el agua, los alimentos contaminados, la descomposición de gran cantidad de cadáveres, así como la falta de vivienda y atención médica pueden tener un efecto secundario y empeorar las enfermedades que ya existían en la región afectada.

A partir de lo anteriormente descrito se puede plantear que en la zona del puerto de Manta se necesita diseñar un sistema que brinde la alerta temprana de un tsunami, pues de no intervenir en el problema, la ciudad se enfrentaría a un gran riesgo y con ello todas las consecuencias que esto trae consigo.

1.2 Objetivos.

Objetivo general.

Diseñar un sistema de alerta temprana contra tsunamis para las zonas sensibles en la región costanera del puerto de Manta.

Objetivos específicos.

1. Fundamentar mediante teorías el origen y propagación de los tsunamis, las características del puerto de Manta y los sistemas de detección temprana que actualmente funcionan mundialmente.
2. Diseñar el sistema de alerta.
3. Simular el sistema de alerta temprana contra tsunamis.
4. Realizar un estudio económico de la viabilidad del proyecto.

1.3 Antecedentes

Haciendo un estudio sobre cuáles han sido las consecuencias de no contar con un sistema eficiente que avise de forma anticipada la llegada de un tsunami en nuestro país, se puede decir que el hecho de no tener conocimiento de este problema, ha dejado el país en estado vulnerable.

Ecuador, como todos los países de la región Andina, presenta un alto grado de fragilidad y riesgo ante diversas amenazas naturales. En los últimos 25 años, el grupo de estos países han sido afectados por grandes desastres. En estudios realizados, demuestran que un porcentaje considerable de las pérdidas humanas en esta región han sido a causa de estos desastres. Es por ello que resulta tan importante que los países cuenten con un sistema que avise de la llegada de estos fenómenos y así minimizar las pérdidas que afectan gravemente a la economía de los mismos en vías de desarrollo como el nuestro.

En este caso, las comunicaciones juegan un papel muy importante, pues deben permitir a la población, estar al tanto de todo lo que está sucediendo de manera anticipada, para que cuenten con el tiempo suficiente de tomar medidas preventivas en función de mitigar los nefastos efectos, salvando sus vidas y los recursos materiales de que disponen.

Otra importante característica de Ecuador es que posee una gran actividad volcánica y sísmica, pues aproximadamente a 50 Km. de sus costas se encuentra una gran depresión en el suelo del océano [2], llamada la "fosa" oceánica, lugar de convergencia de las placas tectónicas de Nazca y Sudamérica, constituyéndose esta interacción en la fuente sismo-genética más activa e importante del país [2].

Es por ello que hasta la fecha han ocurrido sismos con magnitudes mayores a 6.7, dando lugar a que desde 1906 a la fecha se han registrado seis tsunamis de origen cercano en Ecuador, los cuales en su mayoría y por suerte para el país [3], no han sido destructivos, con excepción del evento de 1906 que devastó el norte de la provincia de Esmeraldas [4].

Sobre esta base, la presente investigación pretende a través de un sistema, adelantarse a la presencia de esta catástrofe, a partir de un análisis permanente en el lecho marino del nivel de las olas, lo cual proporcionará un reporte constante sobre estas estadísticas para evitar que ocurra una catástrofe como esta y con ello las consecuencias graves que trae consigo.

1.4 Justificación

De acuerdo al catálogo de grande terremotos de América del Sur, desde 1901 hasta 1985, se han registrado 125 sismos de magnitudes mayores a 4. De estos el 65 % corresponden a sismos superficiales y se concentran mayormente cerca de las costas, por lo que la probabilidad de que pueden surgir tsunamis en costas ecuatorianas es máxima.

Las estadísticas demuestran que para que se genere un tsunami, debe estar iniciado por un sismo mayor a 7 en la escala de Richter y tener la característica de ser superficial.

La provincia de Manabí, cuenta con 350 km de costa al Mar Pacífico y posee una alta densidad poblacional. Sus playas son de primera categoría y está constituida por fuertes e importantes edificaciones que atraen a los turistas por su belleza todo el año, por lo que sus ingresos son de gran importancia en la economía del país.

Esta zona es de alto riesgo en razón de probabilidad de la presencia de un tsunami, fenómeno que no puede ser controlado por actividad previa del hombre, pero con la implementación de un sistema que avise la presencia de esta catástrofe se pueden tomar las medidas oportunas para que los daños que produzca no sean de tanta magnitud, generando diferentes alternativas de solución y contando con un tiempo para elegir una solución óptima en ventaja de todos los habitantes.

Dentro de este contexto, el presente proyecto pretende diseñar un sistema que transmita señales desde el mar, de forma tal que traduzcan la presencia de este fenómeno y se pueda minimizar los efectos del mismo, utilizándose como una herramienta para la gestión de riesgos ocasionados por el mismo, evitando en lo posible pérdidas humanas por sobre todas las cosas.

1.5 Metodología

La metodología utilizada en el presente proyecto es descriptiva, pues la misma consiste en llegar a conocer las situaciones reales de los hechos, a través de la descripción exacta de las actividades, objetos, procesos y personas que se relacionan en el negocio analizado. Su meta no se limita a la recolección de datos, sino a la predicción e identificación de las relaciones que existen entre dos o más variables llegando a conclusiones de manera cuidadosa y luego un análisis minucioso de los resultados, a fin de extraer generalizaciones significativas que contribuyan al conocimiento [5].

Es por ello que esta investigación se analizará el concepto de tsunami su origen, tipo de origen y propagación en libros, páginas web, documentales y videos, etc. y se revisará referencias históricas de tsunamis y las zonas que tienen mayor riesgo.

También se hará un estudio de los sistemas de detección temprana contra tsunamis en funcionamiento, en especial los que están ubicados en el Océano Pacífico en base a comunicación satelital y cable submarino (fibra óptica).

De estos sistemas investigar sus características principales, como están establecidos en el mar abierto, así como los tipos de datos que se van a recopilar, tipos de sensores, a qué distancia de la costa van estar el dispositivo, envió de

datos comunicación, qué ancho de banda van a ocupar y dónde va estar ubicado el centro de control de datos.

En fin, se pretende diseñar, en base a los sistemas que existen en la actualidad y las características estudiadas de los tsunamis, un proyecto que reúna las condiciones necesarias para detectar un maremoto antes que este llegue a las zona costera de la ciudad de Manta.

En conjunto, se elaborará una simulación del sistema de detección temprana de tsunamis de acuerdo al diseño hecho, determinando los parámetros que establezcan la alarma de tsunami y difusión de la alerta en el perfil costanero del Puerto de Manta.

1.6 Resultados esperados

- Informe con un estudio minucioso de los antecedentes de los tsunamis en Ecuador y su propagación, las características del puerto de Manta y los sistemas de detección temprana que actualmente funcionan mundialmente.
- Diseñar un sistema que pueda alertar a la ciudad de Manta con el mayor tiempo de antelación posible ante la presencia de un Tsunami de origen cercano o lejano.
- El sistema debe realizar la función de la simulación del tsunami que se acerca a las costas de Manta, aportando datos fiables y la profundidad del fenómeno.

CAPÍTULO 2

2 MARCO TEORICO.

Antes de comenzar el diseño del sistema propuesto en este trabajo de titulación se ha procedido a realizar un investigación profunda de que es un tsunami, su origen, causas, características, características geográficas, marinas de la ciudad de Manta y además de sistemas existentes en la actualidad; por lo cual este capítulo trata de toda la información teórica recopilada que nos ayude a proponer un diseño adecuado.

2.1 Generalidades estudio de los tsunamis y maremotos.

Un tsunami o maremoto proviene del japonés TSU, que quiere decir puerto o bahía, y NAMI, que quiere decir ola. Está formado por una o varias olas provenientes del océano, lagos o ríos que desplazan grandes oleadas de agua en forma de muros que pueden alcanzar alturas de 30 metros hacia el perfil costanero y riveras de ríos o lagos, estos muros de agua no causan daño en alta mar pero pueden causar una destrucción generalizada cuando golpean la costa.

“Este evento complejo se genera impulsivamente por mecanismos tales como explosiones volcánicas en islas (ej.: Krakatoa, 1883); deslizamientos de tierra submarinos (ej.: Bahía de Sagame, Japón, 1933) [6]; caída de rocas a bahías o al océano (ej.: Bahía de Lituya, Alaska, 1958) [6]; desplazamientos tectónicos asociados con terremotos (ej.: tsunami de Alaska, 1964) y explosiones submarinas de dispositivos nucleares, (ej.: Wiegel, 1970) [6]”. Por lo general, la mayor cantidad de veces, los tsunamis han sido generados por terremotos submarinos en los bordes de las placas tectónicas como se aprecia en la **figura 2.1** que desplaza verticalmente una gran masa de agua.

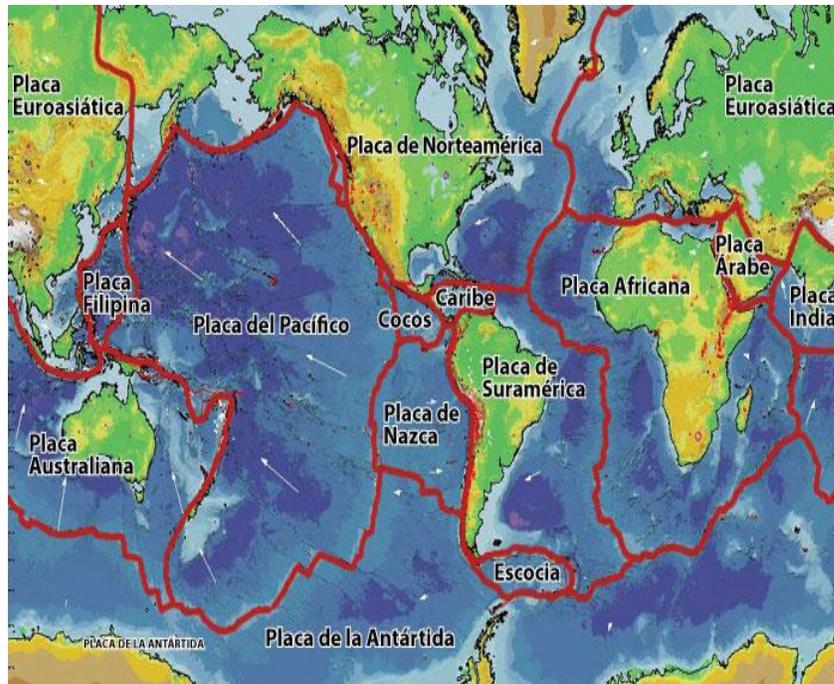


Figura 2.1: Bordes de las placas tectónicas [6]

2.1.1 Origen de un tsunami.

Los Terremotos son la principal fuente de generación de Tsunamis, por lo general están asociados a zonas de subducción o bordes de las placas tectónicas, como se aprecia en la **figura 2.1**. Estas zonas de subducción están bordeando el perfil de la costa del Océano Pacífico en el cinturón de fuego como se muestra en la **figura 1.1**. El Océano Pacífico ha sido testigo de un gran número de eventos tsunámicos [7], registrados mayoritariamente en lugares como: Japón, América del Sur y Central, Alaska y el Pacífico Suroeste [7].

La energía de un tsunami depende de la profundidad donde se origina, su longitud de onda y de la longitud de su frente y la energía que descargaría al llegar a la costa sería directamente proporcional a la cantidad de olas que lleve consigo.

Una vez generado el tsunami, las olas viajan sobre la superficie del océano en todas las direcciones en forma de anillos concéntricos [8]. Como se muestra en la **figura 2.2**.



Figura 2.2: Esquema de cómo se forma un tsunami [9]

Sus características se diferencian notablemente de las olas generadas por el viento como se muestra en la **tabla 1**. Toda onda tiene un efecto orbital que alcanza una profundidad igual a la mitad de su longitud de onda; así, una ola generada por el viento sólo en grandes tormentas puede alcanzar unos 300 metros de longitud de onda, lo cual indica que ejercerá efecto hasta los 150 metros de profundidad [7], como se muestra en la **figura 2.3**.

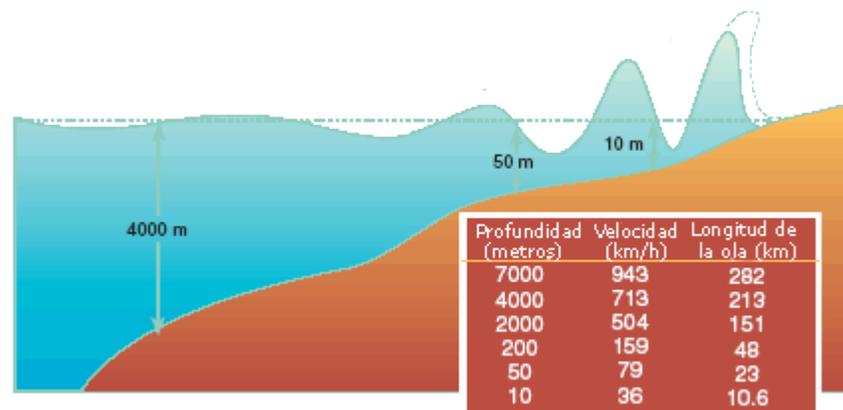


Figura 2.3: Características de olas tsunámicas en la costa [10]

Los tsunamis por lo general poseen longitudes de onda que sobrepasan los cincuenta kilómetros e incluso alcanzar los mil kilómetros [7], el cual genera una reacción en cadena en forma de onda que se dispersa en todas las direcciones en el agua de manera continua y poderoso incluso desde el mismo lecho marino [7].

El paso de un tsunami en el océano profundo no se puede detectar por una embarcación [7], debido a que es casi imposible observar el cambio de nivel del mar con un período de 20 minutos sobre una longitud de onda de 200 km [7]. Con esto se puede decir, las embarcaciones sólo estarán seguras en alta mar [8].

La velocidad de las ondas del maremoto depende de la profundidad del océano. Al aproximarse a la costa las olas pueden alcanzar grandes alturas y descargar suficiente energía para ocasionar daños a las estructuras costeras y a los pobladores [8].

Tsunami vs. olas del mar	
Se genera por desplazamiento del suelo submarino.	Se genera por la acción del viento sobre la superficie del mar.
Período y longitud de ondas más grandes. (5 minutos a 2 horas) y (50-1000 Km.).	Período y longitud de ondas menores (6-10 s) y (100-200 m).
Afectan de forma intensa a las costas.	No afectan las costas de forma importante.

Tabla 1: Tsunami vs Olas del mar [7]

Para que un Tsunami se genere deben presentarse las siguientes condiciones:

Que el epicentro del sismo esté en el mar o una parte mayoritaria de su área de ruptura, esté bajo el lecho marino y a una profundidad menor a 60 km (sismo superficial) [11].

Que ocurra en una zona de hundimiento del borde de las placas tectónicas, es decir, que la falla tenga movimiento vertical y no sea solamente de desgarre con movimiento lateral [11].

Que el sismo libere suficiente energía en un cierto tiempo, y que ésta sea eficientemente transmitida [11].

No se ha determinado ningún modelo teórico ni método operacional totalmente satisfactorio que permita determinar si un sismo es generador de tsunami o no, ni de qué tamaño, magnitud, intensidad, o altura de olas, será ese tsunami generado. Actualmente se usa como indicador de certeza [8] para la generación de un tsunami, con una Magnitud del sismo (M_s) que sea mayor que 7.5 [7], pero esto

no es confiable para los terremotos de alta duración de más de 20 segundos [7].

Se han registrado Sismos de Magnitud Ms menor que 7.0 de larga duración que han provocados maremotos considerablemente grandes respecto a lo esperado [7].

Se los denominan Sismo-Tsunamis o lentos y un ejemplo es el tsunami destructivo ocurrido en la Fosa Mesoamericana frente a Nicaragua en Septiembre de 1992 [8].

Actualmente se está usando el parámetro Momento Sísmico (Mo) mayor que 10^{22} Newton-metros como mejor estimador de certeza para la generación de tsunamis [7].

2.1.2 Clasificación

Los tsunamis se clasifican por su lugar de origen y la distancia de viaje recorrida desde su origen, en [12]:

Tsunamis Locales: Cuando el lugar de origen está muy cerca del lugar de impacto en las costas [12], o a menos de una hora [12]. Estos son los más peligrosos [12], la primera ola puede llegar aproximadamente entre diez a treinta minutos de producido el terremoto [12]. Este dato es sumamente importante para planificar la evacuación [12], porque es el tiempo que se tiene para evacuar a la población de la zona propensa a inundación [12].

Tsunamis Regionales: si el lugar de arribo en la costa está ubicado a más de 1000 km de distancia de la zona de generación [12].

Tsunamis Lejanos: si el lugar de arribo está en el extremo- opuestas del Océano [12], a más de 1000 km de distancia de la zona de origen [12], aproximadamente a medio día o más de tiempo de viaje del tsunami desde esa zona [12]. Ejemplo: el tsunami generado por un sismo en las costas de Chile el 22 de Mayo de 1960 que tardó aproximadamente 13 horas en llegar a Ensenada, México [12].

2.1.3 Propagación y tiempo de viaje.

Debido a la extrema longitud de onda del tsunami (varios cientos de kilómetros) en relación con la profundidad de las aguas oceánicas por las que viajan [12], hace que su velocidad de propagación dependa, en primer lugar, exclusivamente de la profundidad, propiedad denominada con el nombre de "onda superficial". [12] Esto permite determinar la velocidad de propagación para todos los puntos del océano en que se conozca la profundidad, y a su vez, determinar el tiempo de viaje del tsunami entre dos lugares (en particular el de origen y el de arribo a la costa), a lo largo de una trayectoria que pase por esos puntos. La trayectoria de propagación más cercana a la realidad es el arco de gran círculo que pasa por ambos puntos [12].

Las áreas de ruptura de los sismos en fosas como la Fosa Mesoamericana, son de forma aproximadamente elíptica alargada, lo que conduce a que la mayoría de la energía del tsunami se propague de manera perpendicular a su eje longitudinal [12], es decir, tanto en la dirección hacia la costa cercana y hacia su opuesta en el otro extremo del Océano Pacífico, y en menor cantidad, se propague paralela al eje, es decir, a lo largo de la costa [12]. Este comportamiento ha sido observado en todos los tsunamis generados en la Fosa Mesoamericana frente a México, los cuales han disminuido gradualmente la altura de sus olas, así como sus efectos destructivos a lo largo de la línea de costa hacia el norte y hacia sur, desde el punto del litoral frente a su origen [12].

En el desarrollo de un tsunami, desde su aparición, se diferencia en tres etapas [12]:

Formación de la onda debido a la causa inicial, y a su propagación cerca de la fuente [12];

Propagación libre de la onda en el océano abierto, a grandes profundidades [12]; y

Propagación de la onda en la región de la plataforma continental, donde, como resultado de la menor profundidad del agua, tiene lugar una gran deformación del perfil de la onda, hasta su rompimiento e inundación sobre la playa [12].

Al acercarse las olas de los maremotos a la costa, a medida que disminuye la profundidad del fondo marino, disminuye también su velocidad, y se acortan las longitudes de sus ondas [12]. En consecuencia, la energía se concentra, aumentando su altura, y las olas resultantes pueden llegar a tener características destructivas al arribar a la costa [12]. La **Figura 2.4** ilustra la generación, propagación, y arribo a las costas de un tsunami [12].



Figura 2.4: Generación, propagación y llegada a la costa de un tsunami por actividad tectónica [13]

2.1.4 Influencia de las Configuraciones Costeras

La configuración de las costas representan un factor importante al arribo de los tsunamis, de manera muy esquemática [12] se pueden considerar dos casos, en que un tsunami encuentre un obstáculo (isla o costa) [12].

- En el caso de una configuración costera donde el litoral lleva pendientes submarinas muy empinadas, la mayor parte de la energía del tsunami se reflejará [12]. Eso se manifiesta por inundaciones sucesivas con las llegadas de las diferentes olas al ritmo del período del tsunami, sin rompimiento de éstas y con unas amplitudes de aproximadamente 1 a 2 metros [12].
- En el caso de un litoral con pendientes suaves (a menudo presencia de bahías abiertas en dirección de alta mar) la energía del tsunami cae en una trampa al llegar a las cercanías de las costas [12]. La velocidad del tsunami depende de la profundidad y decrece con ella; el flujo de energía de una onda tiene que ser constante (principio de conservación de la energía), entonces si la velocidad decrece, la amplitud debe aumentar, la longitud de la onda se reducirá y podrá llegar hasta reventar la ola [12].

2.2 Tsunamis registrados en la historia.

En la historia se ha registrado muchos maremotos de baja o alta intensidad de los cuales a continuación se presenta una lista de los eventos más significativos tanto a nivel mundial como en el Ecuador.

2.2.1 Registros de tsunamis en el mundo.

Isla Santorini (1605 AC).

Se dice que la leyenda de la ciudad perdida, la Atlántida, está basada en la desaparición de la civilización minoica que habitaba en Creta en el siglo XVI AC. Se cree que esto se produjo por las olas generadas en una explosión volcánica en la isla Santorini que

destruyó la ciudad de Teras. Hay indicios que las olas habrían llegado a Creta con una altura de entre 100 y 150 metros, destruyendo casi por completo la isla.

Valparaíso (1730).

En la madrugada del 8 de Julio, un fuerte terremoto causó daños en Valparaíso, La Serena, Coquimbo, Illapel, Petorca y Tiltil. Se generó un tsunami y afectó alrededor de 1000 km de costa. Por primera vez en su historia, el puerto de Valparaíso fue inundado y severamente dañado.

Lisboa (1755).

Un tsunami fue generado por el terremoto de Lisboa de 1755, el uno de noviembre, al que se ha atribuido una magnitud de 9 en la escala de Richter. El maremoto afectó a todas las costas atlánticas. Choco con Lisboa aproximadamente treinta minutos después del sismo, se registraron olas de entre 6 y 20 metros.

Krakatoa (1883).

Una descomunal explosión de volcán Krakatoa, hizo desaparecer a este con aproximadamente la mitad de la isla que lo albergaba, lo cual produjo una ola de entre 15 y 42 metros de altura, que arrasó con las zonas aledañas.

Océano Pacífico (1946).

Un terremoto cuyo origen fue en el Océano Pacífico causó un maremoto que mato a 165 persona en Hawái y Alaska.

Este hecho, hizo que los estados de la zona del Pacífico crearan el primer sistema de alertas, que entró en funcionamiento en 1949.

Alaska (1958).

El 9 de julio, en la bahía Lituya, al noreste del golfo de Alaska, un sismo de 8,3 grados en la escala de Richter, hizo que se desplomara casi toda una montaña entera, generando una ola de que se elevó sobre los 580 metros, Esta ha sido la ola más grande de la que se tenga registro, llegando a calificarse el suceso de mega tsunami.

Valdivia (1960).

El terremoto de Valdivia ocurrido el 22 de mayo, es el sismo de mayor magnitud registrado hasta ahora a nivel mundial. Tuvo una magnitud de 9,5 en la escala de Richter y afectó al sur de Chile. Su epicentro se localizó en Valdivia, a los 39,5° de latitud sur y a 74,5° de longitud oeste; a 6 km de profundidad, aproximadamente 700 km al sur de Santiago. Este causó un maremoto que se propagó por el océano Pacífico y devastó Hilo a 10.000 km del epicentro, como también las regiones costeras de Sudamérica.

Costas del Pacífico de Nicaragua (1992).

El terremoto de las costas del pacífico de Nicaragua, de 7,8 grados en la escala de Richter, el 2 de septiembre, provocó un maremoto con olas de hasta 10 metros de altura, que azotó la costa del pacífico de este país, provocando más de 170 muertos y afectando a más de 40.000 personas.

Hokkaido (1993).

Un tsunami ocurrió a lo largo de la costa de Hokkaido en Japón, como consecuencia de un terremoto, 202 personas de la pequeña isla de Okushiri perdieron la vida, y centenares resultaron heridos. Las olas adquirieron una altura de 31 metros.

Océano Índico (2004).

El maremoto más devastador hasta la fecha con aproximadamente 280.000 víctimas, un 26 de Diciembre. Las zonas más afectadas fueron Indonesia y Tailandia, es considerado como la mayor catástrofe natural a lo que muchos consideran en gran parte debido a la falta de sistemas de alerta temprana en esta zona; su epicentro se ubicó a tan solo 9 Km de profundidad.

Chile (2010).

Este tsunami lo causó un fuerte terremoto, que alcanzó una magnitud de 8.8 grados en la escala de Richter. Después de esto un tsunami impactó las costas chilenas destruyendo las localidades. La alerta de tsunami generada para el Océano Pacífico se extendió posteriormente a casi toda la costa de América. Este sismo ha sido considerado como el segundo más fuerte en la historia de Chile y uno de los diez más fuertes registrados por la humanidad.

Japón (2011).

El 11 de marzo, un terremoto magnitud 9.0 en la escala de Richter generado en el océano pacifico golpea Japón. El mismo que generó una alerta de tsunami para la costa de Japón y todos los países de la costa del Océano pacifico. Esta alerta fue de gran escala, Se observaron olas de más 10 metros de altura azotando contra la costa Japonesa adentrándose kilómetros y arrasando con vidas humanas y viviendas.

Finalmente el tsunami azotó las costas de Hawái y toda la costa sudamericana con daños mínimos gracias a los sistemas de alerta temprana liderados por el Centro de Alerta de Tsunamis del Pacífico.

2.2.2 Eventos en el Ecuador

Las costas ecuatorianas han sufrido el azote de los tsunamis cuyos efectos destructivos han dependiendo de la intensidad de estos.

Basado en registros del INOCAR se hace referencia a los siguientes sucesos [14]:

31 de Enero de 1906.

Se produjo un terremoto con magnitud $M_s = 8.9$ [15]. El área estremecida fue desde Guayaquil a Medellín incluyendo la zona costera [15]. El terremoto dio paso a un tsunami, que azoto media hora después a Tumaco y a las poblaciones cercanas [14]; veinte minutos después la segunda ola y posteriormente una tercera; por intervalos de cuatro horas se registraron olas largas en Tumaco [15].

Al tiempo que ocurrió el terremoto había bajamar pero aun así la potencia y fuerza del tsunami acabo con la vida de unas 1.500 personas y destruyó más de 23 viviendas [15]. En la zona costera norte del Ecuador desbordo ríos e inundando poblaciones de la zonas bajas [15]. El tsunami también llevo a Bahía de Caráquez donde el nivel del mar supero 100 cm por encima de su nivel habitual en 20 minutos [15].

2 de Octubre de 1933.

Un sismo frente a La Libertad en la Península de Santa Elena, con magnitud 6.9 en la escala de Richter [14]. En la Libertad se produjeron fuertes oscilaciones del nivel del mar inmediatamente después del terremoto, un cable submarino fue roto a 25 km. al sur de Salinas, el mar se retiró inmediatamente después del sismo, el cual ocurrió a las 10h30, y luego se elevó alcanzando el nivel de la alta marea una hora después de ocurrido el sismo (la bajamar fue aproximadamente a las 10h00), aproximadamente a las 12h00 el mar regresó a su nivel de bajamar y nuevamente se elevó a las 14h00 [15].

El tsunami fue de origen cercano y que en 3.5 horas el mar realizó oscilaciones que normalmente efectúa en 10 horas, la amplitud debió ser entre 2 a 2.5 m [15].

12 de Diciembre de 1953.

Un sismo localizado en las coordenadas 3.4° S y 80.6° W con magnitud 7.3 en la zona fronteriza entre Ecuador - Perú, en la costa norte frente a la Península de Santa Elena, hubieron oscilaciones de 20 cm. [15]; Las olas no fueron destructivas, ya que el tsunami fue de origen cercano para La Libertad [15].

19 de Enero de 1958.

Aproximadamente a las 14h00 se originó un sismo, en la frontera entre Ecuador - Colombia [15]. Se localizó su origen en las coordenadas 1.37° N y 79.34° W con magnitud $M_s = 7.8$ [15]. Este terremoto dio origen a un tsunami que ocasiono el hundimiento de una embarcación frente a las costa del puerto de Esmeraldas, 4 personas perdieron la vida [15], las alturas de las olas registradas en la costa fueron de hasta 5.9 m [15].

12 de Diciembre de 1979.

Un terremoto de magnitud 7.9 en la escala de Richter ocurrió a las 07h59m3s en la zona fronteriza de Ecuador - Colombia. Sus coordenadas fueron 1.6°N y 79.4°W con una profundidad de 33 km. Este sismo produjo un tsunami que ocasionó daños graves en el territorio colombiano [14]. De acuerdo a información de los principales diarios de esa época, se conoce que en Ecuador los daños materiales fueron leves y no se produjeron víctimas [14]. Revisando los registros de mareas de la ciudad de Esmeraldas, se observó que se presentaron de 3 a 4 olas y que en el momento del sismo y tsunami, la marea se encontraba en su nivel más bajo [14]. Los efectos hubiesen sido mucho más graves si el tsunami se hubiera presentado durante la pleamar (cuando la marea ha alcanzado su más alto rango), afectando incluso a las poblaciones costeras ecuatorianas de la Provincia de Esmeraldas [14].

2.3 Características de la zona costera del Puerto de Manta

El Puerto de Manta está ubicado en las coordenadas: Lat. 00o56.6' N. y Long. 080o43.5' W.) (WGS84), como lo indica la **figura 2.5**

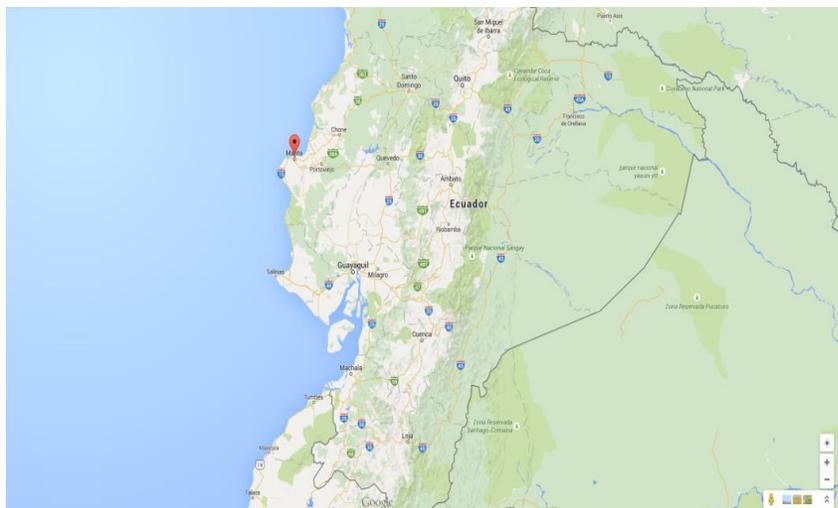


Figura 2.5: Plan cartográfico del Puerto de Manta 2008 [16]

2.3.1 Marco geográfico

El puerto de Manta se encuentra en la bahía del mismo nombre, la ensenada va desde punta Murciélago hasta punta Jaramijó y se extiende desde punta San Mateo hasta Crucita en una longitud aproximada de 18 Mn, como puntos sobresalientes tenemos el cerro Montecristi, el más alto de la región. (PMRC, 1987) [17].

A continuación en la **figura 2.6** se muestra un mapa de la zona.

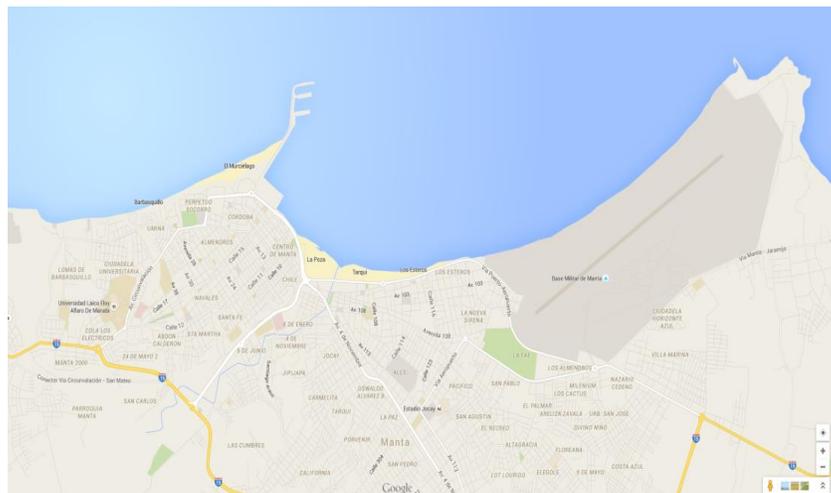


Figura 2.6: Ubicación geográfica del Puerto de Manta [16]

En la bahía de Manta, al noreste y a 3.6 millas del puerto de Manta se encuentran las instalaciones de la terminal pesquera de puerto Atún, de propiedad privada [17], como se observa en la **figura 2.7**.



Figura 2.7: Puerto Atún [17]

Al suroeste y a 5 millas del puerto de Manta, se encuentra el puerto pesquero de San Mateo [17], en la **figura 2.8** se aprecia una vista panorámica



Figura 2.8: Puerto de San Mateo [17]

2.3.2 Características hidrográficas y oceanográficas.

El puerto de Manta se asienta en un terreno irregular, es una rada abierta hacia el mar, motivo por el cual fue necesaria la construcción de un rompeolas que resguarde al puerto y ofrezca abrigo seguro a las embarcaciones [17].

Teniendo como referencia el Norte geográfico, las corrientes en el sector oeste del espigón tienen una dirección este – noreste, paralelo a la costa, con valores de 0.4 nudos hasta 1.8 nudos. En cambio a estribor del espigón, la dirección varía hacia sureste en la pleamar y al noroeste en la bajamar y la velocidad entre 0.5 y 0.6 nudos respectivamente [17].

Los registros de la marea son obtenidos de una estación mareográfica que mantiene el INOCAR en uno de los muelles de Autoridad Portuaria de Manta. La temperatura superficial del mar es más alta durante los meses de enero hasta mayo con un valor promedio de 26°C. y desde julio hasta noviembre presenta las más bajas temperaturas con un promedio de 23.1°C [17].

Durante los 6 primeros meses del año, el viento tiene una dirección predominante del suroeste y oeste con una magnitud de 9.7 metros por segundo y varía de 2.8 a 7.7 m/s durante el resto del año. Este puerto posee clima tipo sabana teniendo como características inviernos lluviosos y veranos casi secos. Su temperatura media inicial es de 25.4oC existiendo máximas de 35.5oC. y mínimas de 13.5oC. En el mes de junio la humedad relativa en el área es de 78%, su presión atmosférica media es de 1011.3 mb., tiene precipitaciones de 210 mm. anuales y escasas lluvias, excepto en los meses de enero hasta abril, en general el clima es benigno sin bruscos cambios de temperatura [17].

La marea en el puerto de Manta es del tipo semi-diurna registrándose las bajamares más pronunciadas entre los meses de diciembre hasta abril obteniéndose una amplitud promedio de 2.88 m., su establecimiento de puerto es de 3 horas con 20 minutos [17].

2.3.2.1 Profundidades y veriles.

Una escollera de unos 1.500 m. en la dirección noreste sale desde Playa Murciélagos y llega a una profundidad de 10 m., en la cabecera de la escollera nacen dos muelles, convenientemente distanciados que alcanzan una profundidad promedio de 9 m.

Los veriles de 10 m., 20 m., 30 m. y 40m., siguen la dirección de la costa y están localizadas a 0.6, 0.9, 1.0 y 1.1 millas respectivamente desde Playa Murciélago, al oeste del rompeolas las profundidades son irregulares existiendo peligros para la navegación [17].

2.3.2.2 Gradientes y tipo de fondo

Hasta el veril de los 20 m. la gradiente es suave (1.2%); entre 20 m. y 40 m., el declive aumenta llegando a una gradiente de 4%. El fondo es resistente a los impactos que producen los movimientos de los propulsores o hélices de las embarcaciones y ofrece pocas probabilidades de sedimentación. Manta, al ser un puerto de acceso natural y de mar abierto, ofrece varias ventajas y facilidades portuarias y seguridad para las maniobras de atraque y desatraque de barcos internacionales de gran calado. En términos generales, el fondo de la bahía de Manta es arenoso, aunque también hay sectores con sedimento limoso [17].

2.3.2.3 Aproximación

Manta es un puerto de fácil acceso, ya sea aproximándose desde el norte o desde el oeste, su rada es reconocida debido a que su arquitectura característica se la puede identificar a gran distancia en el día y en la noche se puede guiar por los faros y en especial el faro rompeolas, que tiene instalado un Racón con identificación Morse M (- -) y con un alcance de 25 millas [17].

Los buques que arriban desde el sur deben navegar sobre el veril de los 30m. y tomar como referencia primero al faro del Cabo San Lorenzo, posteriormente al faro San Mateo y luego al faro del Rompeolas hasta que éste demarque el 170°, para posteriormente caer a estribor y aproximarse a los muelles para el atraque [17].

El único peligro de importancia se encuentra al oeste del rompeolas y en las cercanías de playa Murciélago, donde hay bajos de naturaleza rocosa. Para los buques que vienen del norte, de día y de noche deben arribar con un rumbo verdadero de 180° proa al

faro del rompeolas y luego dirigirse a un punto situado a 700 yardas al este del faro, para finalmente arribar a los muelles [17].

2.3.2.4 Fondeadero

El puerto ofrece un fondeadero seguro y protegido de vientos y corrientes fuertes. Los buques de mayor calado pueden hacerlo más allá del veril de los 10 m. Se recomienda fondear en las coordenadas Lat. 01°55.35' S. y Long. 80°42.45' W, quedando a una distancia de 0.5 de milla de la costa [17].

2.3.2.5 Recomendaciones de seguridad

Al aproximarse al puerto hay que tener muy en cuenta el tráfico constante de embarcaciones pesqueras artesanales tanto en horario diurno como nocturno.

Al oeste del rompeolas hay un bajo con profundidad mínima de 1.3 m., ubicado entre los veriles de 5 y 10 m., tiene un ancho de 0.4 millas náuticas y un largo de 0.6 millas náuticas, se desplaza en dirección este-oeste; al oeste del muelle marginal No. 2 se encuentra el buque hundido "Don Víctor" cuya proa es visible en bajamar, este peligro está señalado con una boya lumínica, por otro lado a 340 m. al este del rompeolas a la altura del buque hundido, hay dos bajos pequeños cuya profundidad mínima es de 4 m., y 4.9 m [17].

2.3.2.6 Ayudas a la navegación

En la **tabla 2** se muestran diferentes datos para la ayuda a la navegación.

AYUDAS A LA NAVEGACIÓN	LATITUD	LONGITUD
Faro Pedernales		
Ubicado en el cerro de la punta Pedernales, al SW de la población.	00°02.95' N	080°05'.27 W
Faro Punta Ballena		
Ubicado en una elevación sobre el barranco en punta Ballena.	00° 10.44' S	080° 19.55' W
Boya de Amarre Cabo Pasado		
Ubicada en la rada de Cabo Pasado.	00°21.43' S	080°28.20'W
Faro Cabo Pasado		
Ubicado sobre un acantilado en el extremo oeste del Cabo Pasado.	00°21.96' S	080°29.26' W
Faro Bahía de Caráquez		
Ubicado en la parte NW de la población de Bahía de Caráquez.	00°35.69' S	080°25.44' W
Faro Punta Bellaca		
Ubicado en la cumbre de punta Bellaca al SW de Bahía de Caráquez.	00°36'.70 S	080°27'.08 W
Faro Punta Jaramijó		
Ubicado en la punta de Jaramijó.	00°55.73' S	080°39'.40 W
Faro Rompeolas		
Está ubicado en la cabeza NE del rompeolas del puerto de Manta a 20 m.s.n.m., con un alcance lumínico de 8 millas.	00° 55.98' S	080° 43.31' W
Boya Submarino		
Ubicada en la rada de Manta para uso exclusivo de submarinos.	00°56.07' S	080°42.99'W
Boya Don Victor		
Se encuentra en la rada de Manta, al este del buque hundido del mismo nombre, es una boya de peligro aislado.	00°56.53' S	080°43.10' W
Boya Danny Mary		
Se encuentra ubicada en la rada de Manta, al E del buque hundido del mismo nombre, es una boya de peligro aislado.	00°56.21' S	080°43.17' W
Baliza Remolcador		
Se encuentra ubicada en la Rada de Manta, encima del mástil del buque hundido del mismo nombre, es una baliza de peligro aislado.	00°56.20' S	080°42.89' W
Faro Punta Jome		
Ubicado sobre la máxima elevación de punta Jome.	00°57.43' S	080°49.73' W
Faro Cabo San Lorenzo		
Ubicado sobre la máxima elevación del Cabo San Lorenzo.	01° 03.57' S	080° 54.57' W.
Faro Isla de La Plata		
Ubicado sobre la máxima elevación de la isla a 189 m.s.n.m.	01° 15.73' S.	081° 04.42' W
Boya de amarre puerto López		
Ubicada en la rada de Puerto López.	01°33.35' S	080°48.98' W
Faro isla Salango		
Ubicado sobre la máxima elevación de la isla Salango.	01°35.63' S	080°52.99' W

Tabla 2: Tablas de Navegación y Ayuda Manta [17]

2.3.2.7 Mareas

El tipo de marea en esta zona es de tipo semidiurna, teniendo la característica de 2 pleamares y 2 bajamares al día, durante los meses de noviembre a abril se encuentran las mayores bajamares y pleamares, manteniendo una amplitud de 3 m [17]. como se muestra en la **figura 2.9**

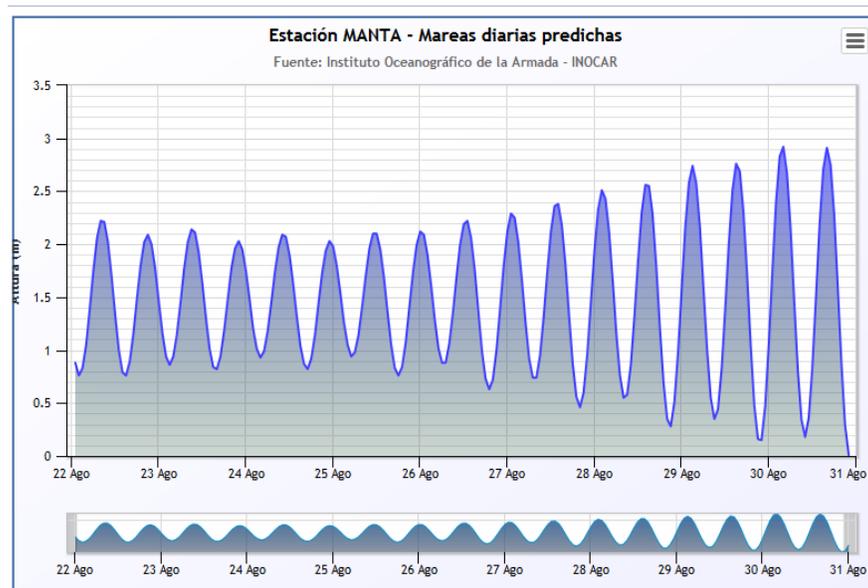


Figura 2.9: Mareas diarias predichas Manta 22 ago-31 ago. 2015 [18]

2.3.2.8 Vientos.

Entre los meses de enero y mayo, los vientos predominantes tienen dirección oeste, luego el viento rota hacia el suroeste y sur en los meses restantes del año. La mayor fuerza del viento se observa en los meses de agosto y noviembre, mientras que la menor intensidad del viento se desarrolla durante los meses de febrero y marzo [17].

2.3.2.9 Corrientes

Las corrientes marinas tienen una velocidad promedio de 0.5 nudos, en general tienen una dirección norte corriendo en muchos

casos paralelas a la costa, sin embargo, se han observado corrientes alejándose o acercándose a la costa hasta 28 millas mar afuera, sobre todo durante los meses de agosto a noviembre [17].

2.3.2.10 Condiciones de tiempo local

La presión atmosférica promedio en el mes de enero, es de 1.010,4 mb la cual se considera como la mínima en esta área, luego aumenta hasta los meses de mayo y junio, registrándose presiones atmosféricas de 1.012,9 mb; a partir de este mes hasta diciembre, empieza a decrecer hasta 1.010,6 mb [17].

La mayor temperatura ambiental comienza en el mes de enero y termina en el mes de mayo, con un promedio de 26°C, sin embargo la temperatura máxima en esta zona corresponde a 35.5°C; así mismo durante estos meses se ha registrado una temperatura mínima de 17°C. Durante los meses siguientes, la temperatura disminuye hasta el mes de agosto, cuando se registra una temperatura promedio de 23°C. Las temperaturas máximas y mínimas registradas en este período son las siguientes: 33°C y 16°C respectivamente [17].

Generalmente esta es una zona que se mantiene nublada, teniendo un promedio de nubosidad durante todo el año entre 7/8 y 6/8, pero durante el mes de mayo disminuye la nubosidad a 5/8 [17].

Las lluvias se presentan en esta región desde enero hasta junio manteniendo un promedio de precipitaciones de 90 mm. El mes con mayor presencia de lluvia es febrero con un promedio de 120 mm. el resto del año prácticamente hay ausencia de lluvias, la humedad relativa así mismo se manifiesta en estos meses de lluvia en su valor más alto entre 80% y 82%, luego en los meses restantes la humedad relativa alcanza un valor entre 75% y 77% [17].

2.3.2.11 Marco geológico.

A nivel regional, el área forma parte de una zona costera con morfologías muy variadas, de las cuales se pueden identificar 3 sectores principales [19], como se muestra en la **figura 2.10**

Punta Charapotó-Crucita

En esta zona, la planicie costera baja es sirve para la producción de camarónicas y de lagunas salineras [19]. Las viviendas construidas en el perfil costanero han sufrido la acción de procesos erosivos, especialmente en los eventos El Niño de los años 1982-1983 y 1997-1998 [19]. Las playas de este sector son frecuentemente sometidas a las llamadas corrientes de resaca [19].

Crucita-Manta

Aquí las playas son arenosas y bajas, con excepción de las de Jaramijó, donde la playa está conformada por grava, proveniente de la punta y de su plataforma rocosa [19] Los acantilados al sur de Crucita son de una altura media y de un ángulo bajo, conformados por lutitas tobáceas, a veces calcáreas, casi siempre blandas y fracturadas [19]. Hasta Manta, este perfil posee acantilados bajos pero subverticales, conformados por areniscas conglomeráticas conchíferas, alternando con cordones de litorales arenosos y sedimentos fluviales finos [19].

Manta-Río Cañas

En este sector hay acantilados altos, de mediano ángulo, inestables, conformados por rocas blandas, como arcillolitas, lutitas y pocas areniscas del Eoceno, los mismos que ocasionalmente están interrumpidos por pequeños y estrechos valles aluviales, con fuerte pendiente de los cauces [19]. Cabo San Lorenzo está constituido por un afloramiento de roca volcánica (basáltica) [19]. Los acantilados son inestables por la presencia de yeso. Estos

acantilados bordean plataformas litorales rocosas, que por lo general están revestidas de arena fina de poco espesor [19]. Durante la temporada lluviosa, los sedimentos de vertientes y acantilados son abundantes. [19].

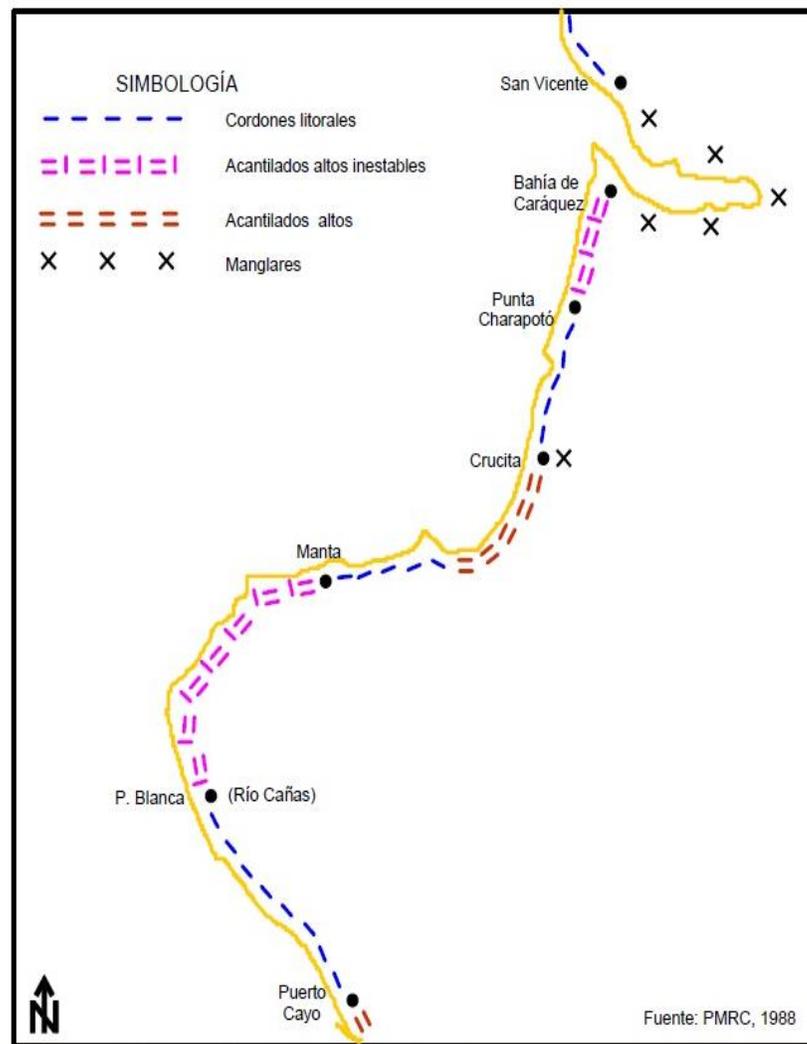


Figura 2.10: Elementos geomorfológicos más importantes del área costera, así como del área regional [20].

2.4 Funcionamiento de los sistemas de alerta contra tsunamis existentes en la actualidad.

Hasta hace unos cuantos años atrás, los sismógrafos y boyas instalados en el fondo del mar eran los únicos instrumentos que permitían alertar a la población sobre posibles tsunamis. Estos daban apenas unos minutos ante la llegada de estos fenómenos. Al registrar los sismógrafos terremoto de

magnitud igual o mayor a 6,5 en la escala de Richter, existe riesgo de que se produzca un tsunami. Seguido esto se envía una alerta aunque no haya seguridad de que llegue a la costa.

Con los avances tecnológicos se crearon nuevos sistemas de prevención y alerta de tsunamis los cuales tenían como principal objetivo detectar y ubicar los terremotos que ocurrieran en la región de Pacífico, donde hay mayor actividad sísmica. De esta manera se podría determinar con mayor exactitud si hay riesgo de tsunami y que zonas podría, verse afectadas y con un tiempo de antelación superior a sistemas anteriores.

Para esto se distribuyen diferentes sensores capaces de transmitir la información obtenida a los centros de control. El sensor más importante, el de presión, que mide las variaciones en la presión del agua la cual para este caso podría ser producida por algún desplazamiento de las placas tectónicas en profundidades de hasta seis mil metros. Esta señal es luego enviada a una boya de comunicación, y esta a su vez la trasmite a un satélite para la distribución de esta información a los centros de alerta.

2.4.1 Funcionamiento en el Océano Índico.

El sistema de alerta contra los tsunamis y mitigación de sus efectos en el Océano Índico (IOTWS) se compone de redes sismográficas perfeccionadas, de redes de mareógrafos que transmiten datos en tiempo real y de sensores de presión en aguas profundas, también cuenta con centros nacionales de alerta contra tsunamis conectados con los sistemas nacionales de gestión de catástrofes, conocida como “red coordinada de sistemas nacionales”.

En la actualidad hay 23 estaciones de observación del nivel del mar en tiempo real establecidas en países con costas en el Océano Índico. Veinticinco países han establecido centros de comunicación que les permiten recibir alertas con información sismológica procedente de los centros de vigilancia del Pacífico establecidos en Hawai y en Tokio, se ha mejorado el Sistema Mundial de Telecomunicaciones (SMT), que es capaz de vincular información

relativa a los tsunamis, se han realizado simulaciones para probar los sistemas de comunicación para la transmisión de información sísmica en tiempo real y varios países de la región están trabajando en el despliegue de detectores submarinos, la llamadas boyas DART (Deep-ocean Assessment and Reporting of Tsunami) [21].

2.4.2 Funcionamiento en el Caribe.

En la zona del Caribe, que está formada por 7.000 islas, islotes, arrecifes y cayos, hay zonas de fosas y fallas entre placas tectónicas donde las tensiones geológicas producen terremotos como el que devastó a Haití el 12 de enero de 2010. El nivel de actividad sísmica en la mayor parte del Caribe es considerado de moderado a severo.

En la actualidad, la mayoría de las islas están protegidas por estaciones sísmicas que operan en tiempo real que posibilitan la detección de terremotos, tres sistemas de detección en la profundidad del océano (DART) de oleaje causado por tsunamis y una cifra cada vez mayor de estaciones para vigilar el nivel del mar [22].

2.4.3 Funcionamiento en el Ecuador

En el año 1976 se crea el Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR), que ha sido el Punto Focal Nacional del Sistema de Alerta y Mitigación de Tsunamis del Pacífico (PTWS por sus siglas en inglés), un importante Programa Científico de la Comisión Oceanográfica Intergubernamental de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. Es el responsable de gestionar la amenaza de tsunamis para la costa continental e insular del Ecuador,

Lleva a cabo la implementación de centros locales de alerta y/o de información de tsunamis, capaces de analizar la información provista por el Centro de Alerta de Tsunamis del Pacífico (PTWC, por sus siglas en inglés; ubicado en Hawaii), así como aquella proveniente

del monitoreo independiente de sensores de actividad sísmica y del nivel del mar, con los resultados de este análisis, se asesora a las entidades nacionales que toman decisiones en lo concerniente a la emisión o no de una alerta de tsunamis local. Ecuador cuenta hoy con dos importantes centros de análisis de información, el Centro Nacional de Alerta y Mitigación de Tsunamis que opera en las instalaciones del INOCAR en la ciudad de Guayaquil, y el Centro Regional de Información de Tsunamis que opera en las instalaciones de la Estación Santa Cruz del CIMAG, este último para darle gran atención a las amenazas potenciales para las Islas Galápagos [23].

2.4.4 Sistemas de Alerta temprana contra tsunamis con boya

Es un sistema para la detección y alerta temprana de tsunamis, este sistema detecta el evento, lo procesa y envía la información de alerta a un centro de control [24].

El sistema consta de un sensor de presión instalado a una profundidad que detecta variaciones en la altura de la superficie del agua [24]. El sensor se comunica con una boya que ha sido diseñada especialmente para ser fondeada a grandes profundidades y a su vez, servir como plataforma para albergar los complejos sistemas de control y comunicación [24].

La boya contará con una antena GPS para su ubicación geográfica, un dispositivo de almacenamiento y comunicación de datos vía satelital que hace posible la detección de los datos en el centro de control ubicado costa dentro.

2.4.4.1 Descripción

Este sistema detecta el evento, lo procesa y envía la información a un centro de control, donde se generará de modo automático la alerta. Un sensor de presión, instalado a una profundidad específica, detecta variaciones en la altura de la superficie del agua [24].

Una boya, se comunica con el sensor de forma acústica y hace de enlace entre éste y el centro de control en tierra.

2.4.4.2 Diseño

En el diseño de los sistemas actuales se puede apreciar que constan de algunos sensores, como el sensor de caudal que puede ver la variación de la velocidad del agua bajo la superficie, el sensor de variación de las olas que detecta el aumento del tamaño de una ola que atraviesa el perímetro de medición, el sensor de presión instalado en el fondo del lecho marino anclado con un sobrepeso, el cual envía datos de las variaciones vía comunicación radar a un transmisor ubicado en la boya.

Todos estos datos se recolectan y son enviados satelitalmente al centro de control en la costa, tierra dentro.

Cabe recalcar que la boya tiene adaptado un sistema GPS para ubicar su localización en el océano y el satélite usado para la comunicación es geoestacionario con lo cual se puede garantizar la comunicación y hace la función de antena repetidora como se muestra en la **Figura 2.11**.

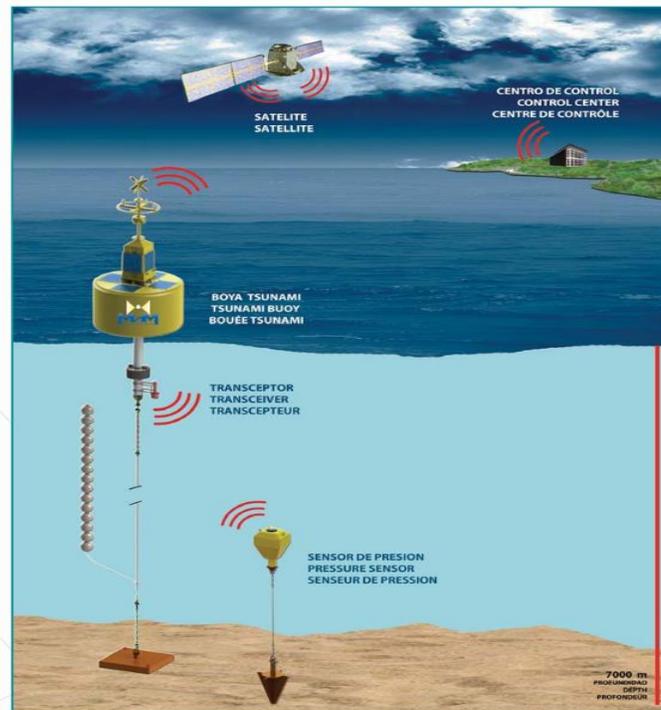


Figura 2.11: Sistema con comunicación Satelital [25]

2.4.4.3 Comunicación

Dada la importancia que ocupan en este sistema, las comunicaciones se realizan de modo redundante a través de satélite [24]. Éstas están permanentemente vigiladas desde el Centro de Control y la CPU en la boyas, presentando la correspondiente alarma en caso de fallo [24]. Las comunicaciones con el sensor de presión se realizan a través de canales ultrasónicos de banda ancha y largo alcance [24].

Instalada en la boyas, la unidad CPU procesa la información recibida de todos los elementos del sistema y gestiona los mensajes que se intercambian con el Centro de Control [24]. Asimismo, monitoriza todos los parámetros críticos en tiempo real (datos de presión, posición GPS y gestión energética, entre otros) proporcionando una alarma en caso de fallo o retraso en la transmisión [24].

El Centro de Control, es capaz de procesar y presentar de forma gráfica y sencilla la información intercambiada entre la boyas y tierra

[24]. La información recibida son mediciones que quedan almacenadas en la base de datos, con los que posteriormente se pueden realizar gráficos, predicciones e informes [24].

2.4.5 Sistema de cables submarinos

La necesidad en aumento de prever la ocurrencia de tsunamis o maremotos, ha traído como consecuencia el desarrollo de nuevos sistemas debajo del agua que garanticen el monitoreo de eventos de este tipo y amplíen los estudios oceanográficos. Con la implantación de observatorios submarinos, se han desarrollado varios estudios sobre el ámbito climático, ejemplos de estos observatorios son los de Canadá, con el programa NEPTUNE y VENUS; en China con el programa MACHO; en Estados Unidos con el programa MARS y OOI; en Japón con el programa DONET y en Europa con los programas ESONIM y EMSO, cuyo objetivo es obtener información en tiempo real de todos los eventos que surgen en el fondo marino.

Los Sistemas de Cables submarinos más importantes del Pacífico son: el programa NEPTUNE y el DONET, de los cuales se abordarán sus principales características a continuación.

2.4.5.1 Descripción general del Sistema Neptuno.

Este programa es considerado como la primera red de observatorio oceánico submarina de América, tiene conexión directa con Internet mediante cables de fibra óptica submarinos, colocados en la Placa Juan de Fuca. Todos los instrumentos y sensores colocados en el lecho marino obtienen data que es transmitida velozmente por el cable principal de fibra óptica a la Universidad de Victoria. Lo más novedoso de este proyecto es su tiempo de vida útil de 25 años, que estará dando datos en tiempo real sobre todo del sensor de presión colocado en el lecho marino para la detección de tsunamis.

Estos son los principales componentes de esta red:

Sistema del cable principal, el Nudo y los Instrumentos conectados al nudo.

En la **Figura 2.12** se aprecia uno de los instrumentos en funcionamiento



Figura 2.12: Observatorio submarino de NEPTUNE [26]

2.4.5.2 Descripción general del Sistema DONET.

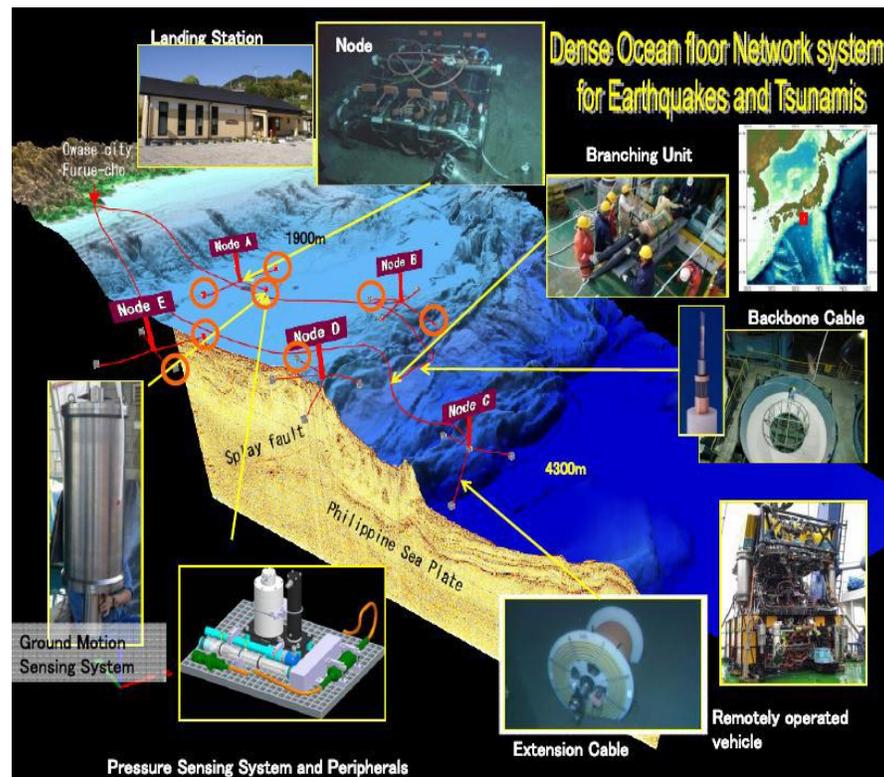


Figura 2.13: Estructura del sistema submarino DONET [27]

La Red Densa Oceánica para Terremotos y Tsunamis (DONET), es un programa de desarrollo para la vigilancia de terremotos y tsunamis implantado desde 2006 hasta la actualidad. Sus observatorios en el fondo marino, han proporcionado varios datos con una precisión nunca antes medida del fondo del mar. Los sensores están instalados en el fondo marino y están conectados al sistema del cable principal, como se muestra en la **figura 2.13**

Su principal objetivo es permitir el monitoreo y almacenamiento de data tanto para todo tipo de terremotos, de los deslizamientos en el límite de las placas y la detección de tsunamis, para ello cuentan con sismómetros de precisión y medidores de presión (Hishiki et al., 2010).

Los datos de DONET son distribuidos a la Agencia de meteorología de Japón y al gobierno local (Kawaguchi et al., 2011).

El sistema DONET está compuesto por:

El Sistema de cables, el Nodo ciencia reemplazables y los Instrumentos de medición extensible.

CAPÍTULO 3

3 DISEÑO Y SIMULACION DEL SISTEMA.

En el presente capitulo se realizará el diseño del sistema basado en el estudio y la información recopilada en el capítulo 2 y además se elaborará una simulación que nos permita observar una posible visualización de los datos en el Centro de monitoreo y sus alarmas basado en parámetros establecidos.

3.1 Diseño del sistema

En el presente proyecto se diseñará un sistema de alerta temprana, con el objetivo de alertar a la población costera del puerto de Manta en caso de la ocurrencia de un tsunami desastroso.

El sistema se basa en dos sistemas existentes:

Uno es una red de boyas, que mediante equipos especializados como el Tsunámetro, tomarán datos del lecho marino, enviando los mismos a un satélite que mediante comunicación radio frecuencia transmitirá la información al Centro de alerta ubicado en la tierra.

El segundo es una red de equipos de medición de datos submarinos comunicados con una central en tierra mediante los cables submarinos de fibra óptica

Esta Central tendrá un software especial, que utilizará automáticamente los registros tomados vía satelital y Óptica para detectar el tsunami generador, la ubicación de sus epicentros la determinación de su magnitud y duración de movimiento sísmico, emitiendo mensajes de alerta y alarma sonoras en el puerto.

Estos mensajes serán revisados por el personal de turno del servicio sismológico quienes estarán pendientes de este proceso las 24 horas, si posible, para confirmar la validez del contenido.

En caso de ser ciertos los datos, los mensajes de alerta se transmitirán a todos los sistemas nacionales de prevención para tomar medidas preventivas y avisar a toda la población del evento.

3.1.1 Diseño del sistema General.

En base a lo planteado anteriormente se propone el diseño del sistema de la siguiente manera como se muestra en la **figura 3.1**, a fin de disminuir los daños humanos y materiales en las zonas de riesgo en cuestión.

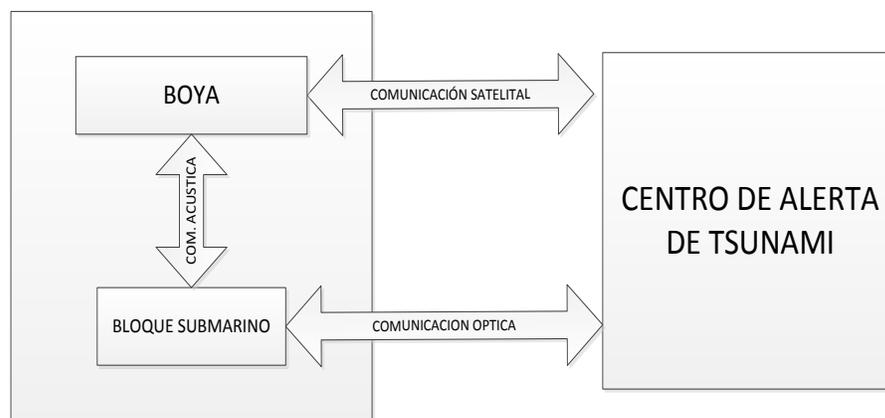


Figura 3.1: Esquema de alerta contra Tsunami

En la **figura 3.1** se propone el diseño general del sistema, el cual está estructurado por los siguientes componentes descritos a continuación:

Bloque submarino.

Subsistema bajo el agua que cumple la función de medir los cambios en la presión de la columna vertical del agua y detectar la magnitud los movimientos sísmicos, tiempo de duración y su lugar de origen.

Boya.

Conocida también como baliza flotante se sitúa principalmente en mares y ríos, generalmente es anclada al fondo marino para fijarlo a

una determinada zona de estudio o control. Mayormente son empleadas para la orientación marítima de embarcaciones o ubicación de objetos sumergidos.

Comunicación Óptica.

Es la comunicación principal que establece el enlace de los datos recopilados del bloque submarino al centro de Alerta de tsunami.

Comunicación Acústica.

Es la primera parte de la comunicación secundaria o de respaldo, cumple la función de enlazar los datos recopilados del bloque submarino a la boya.

Comunicación Satelital.

Segunda parte de la comunicación de respaldo, enlaza la comunicación de la boya con el centro de control de alerta de tsunami, completando la comunicación secundaria para el enlace de datos adquiridos por el bloque submarino al centro de Alerta.

Centro de Alerta de Tsunami.

Se encuentra ubicado en tierra y constituye el punto recepción, interpretación y presentación de los datos para determinar la alarma de maremoto, a partir de los elementos que componen el sistema de alerta temprana propuesta en la presente investigación.

3.1.1.1 Justificación del diseño general

Se realizó el diseño con estos tres componentes o bloques porque la mayoría de los sistemas existentes están compuestos de esta manera y reúne los requisitos para establecer la comunicación que se plantea en este proyecto.

La comunicación está establecida de tal forma que los datos recopilados por los equipos viajen de manera confiable, eficaz y veloz hacia el centro de alerta y sin pérdidas de la misma.

3.1.2 Diseño del bloque Submarino.

Este Subsistema es diseñado en base a los sistema DART II y DONET, posee enlace doble o redundante que consiste de un enlace Óptico que usa como medio el cable transoceánico PCCS teniendo como instrumento de acceso a este medio a el repetidor óptico submarino y Comunicación Acústica que consiste en la ubicación de una grabadora de ondas sonoras, anclada en el fondo marino, que transmiten los datos desde el fondo marino a la boya ubicada en la superficie como se muestra en la **figura 3.2**, ambos transmiten los datos en tiempo real.

Adicionalmente a esto el bloque submarino estará ubicado en el lecho marino y está compuesto por:

Sensor de presión vertical.

- Sismómetro Submarino
- Equipo de comunicación sonar
- Equipo conmutador de datos o nodo ciencia
- Sistema de respaldo de energía.

Seguidamente se muestra una figura 15 que encierra la relación de cada uno de estos elementos que se plantean anteriormente.

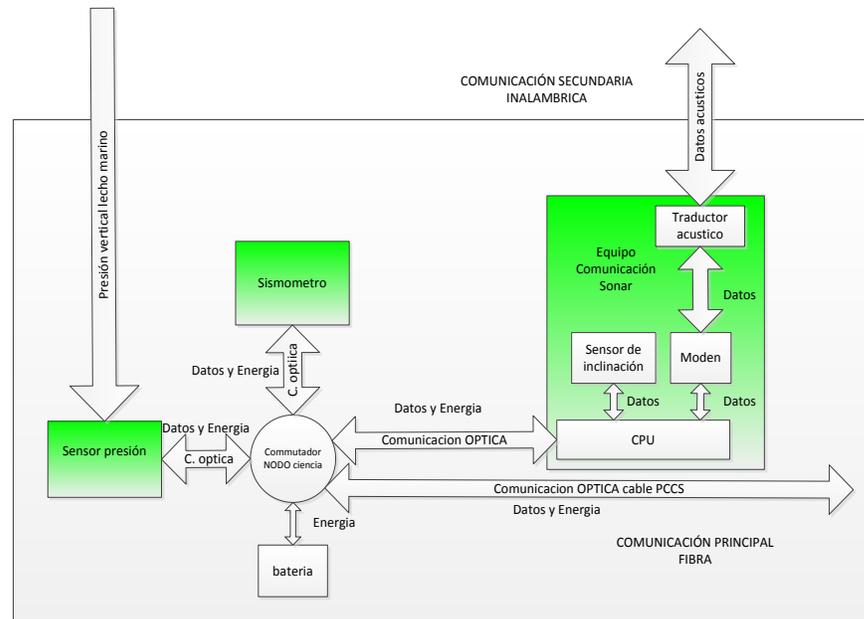


Figura 3.2: Diagrama del Bloque Submarino

A continuación se describen a profundidad cada uno de estos elementos:

Sensor de presión vertical.

Permite determinar las variaciones de nivel del oleaje en el mar en base a la presión vertical medida desde el fondo del lecho marino, internamente está establecido.

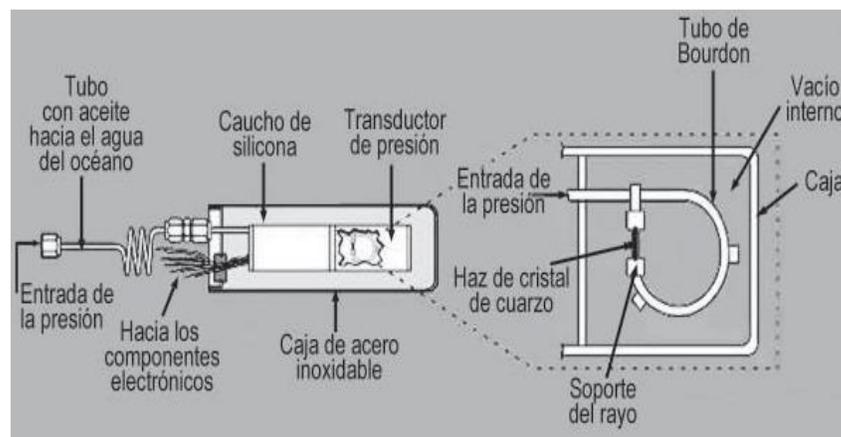


Figura 3.3: funcionamiento Sensor de presión [28]

Funcionamiento.- Cuando pasa la cresta de una ola la presión aumenta, esta hace que se desenrolle el tubo de Bourdon haciendo estirar el Cristal de cuarzo y aumentar la frecuencia de vibración [29]. Al contrario cuando pasa el valle de una ola la presión disminuye, esta hace enrollar el tubo de Bourdon haciendo comprimir el Cristal de cuarzo y disminuyendo la frecuencia de vibración [29]. Estos cambios de vibración son los que servirán para registrar los cambios de altura de las olas, su período de medición puede variar de 1 minuto o más y trabajar a profundidades de 5.000 m [29], el transductor es sensible a cambios menores de 1 milímetro en la altura de la ola [29]. En la **figura 3.3** se muestra un ejemplo del funcionamiento de sensor de presión vertical



Figura 3.4: Tsunami Sensor off Muroto Cape [30]

En la **figura 3.4** se aprecia el equipo a utilizarse en este proyecto, sus características están en los anexos

Sismómetro submarino.

(OBS, siglas en inglés de ocean bottom seismometer) Equipo que se utiliza para detectar un sismo de carácter permanente como el representado en la figura 18. Cuenta con sensores diferenciales de presión que le permiten registrar los contrastes de fuerzas sobre área en el lecho marino con acertados niveles de precisión. Por lo cual puede registrar actividades sísmicas submarinas de baja notoriedad

a distancias entre ente los 10 y 25 kilómetros. Aprovechando la característica de la muy baja compresibilidad del agua.

Funcionamiento.- Cumple con la función de detectar la variación de movimiento del subsuelo magnitud y dirección de origen de un sismo.



Figura 3.5: Seismometer off Muroto Cape [31]

En la **figura 3.5** se muestra el equipo a utilizarse en el presente Proyecto, las especificaciones técnicas están detalladas en el anexo

Equipo de comunicación sonar.

Equipo que permite establecer la comunicación entre los instrumentos en el fondo del mar y la boya por medio de señales sonoras acústicas

Las principales componentes son las siguientes:

- Sensor de inclinación
- Modem acústico y transductor

Sensor de inclinación del sistema acústico.

Instrumento que se utiliza para determinar la orientación del segundo transductor acústico, en este caso ubicado en la boya

Funcionamiento.-Censa la orientación con respecto al otro equipo para una adecuada comunicación. Se debe tomar en cuenta estas

indicaciones importantes para el correcto funcionamiento del sistema acústico. Cuando el ángulo de inclinación es mayor a 10 grados, el sonar deber ser reubicado en otro sitio [29]. Si el ángulo vertical es muy grande, la recepción de la boya podría quedar fuera [29].

Módem acústico y transductor.

Equipos de comunicación que se encargan convertir los datos desplegados de manera eléctrica u óptica en modo sonar para la transmisión de estos datos a la boya de superficie.

Funcionamiento.-Los módems transmiten datos de naturaleza digital por medio de señales de sonido usando modulación multiple frequency shift keying (MFSK) [29], con código convolucional y opciones para redundancia [29]. Los transductores poseen deflectores para simplificar la entrada del ruido ambiental al receptor [29].

Equipo Conmutador o nodo ciencia.

Equipo de comunicación de capa de acceso y de red que permite enlazar los datos recopilados por los instrumentos Submarinos con el cable transoceánico.

Es el elemento principal que permite establecer la comunicación redundante hacia el centro de alerta

Funcionamiento.- Cumple la función de un switch capa 2 permitiendo el acceso a la red de los datos de tsunámetro o sensor de presión y del sismómetro; además también actúa como un router capa 3 enrutando y conmutando automáticamente la vía de comunicación en caso que una de estas falle.

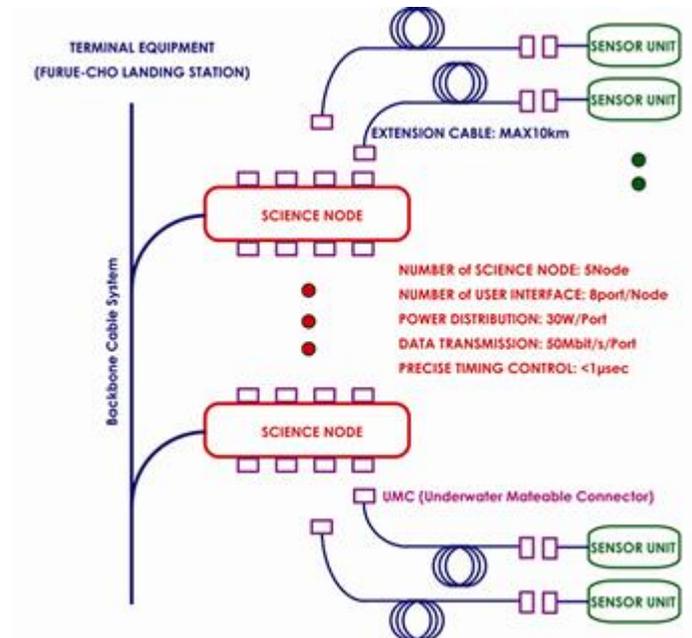


Figura 3.6: Conexiones del Nodo Ciencia [27]

Es un sistema híbrido (fibra óptica y eléctrica) y de uso removible. Posee ocho conectores híbridos para los instrumentos de medición. El sistema de control de distribución de energía como se aprecia en la **figura 3.6** recibe 500watts de constante de alimentación de corriente DC suministrada desde el equipo terminal, y distribuye 45 vatios de potencia de salida secundaria a un instrumento de medición como la ocasión lo requiere [27].

El enlace de datos entre el equipo terminal y el nodo de la ciencia está funcionando a aproximadamente 600Mbit / s. La transmisión de datos bidireccional entre el instrumento de medición y el nodo de la ciencia, está funcionando a 50 Mbit/s [27].

Sistema de respaldo de energía.

Sistema eléctrico que acumula, conserva y brinda energía a equipos eléctricos

Funcionamiento.-Los equipos en el fondo del océano están energizados por medio del cable submarino el cual suministra la

energía necesaria al nodo ciencia y este a su vez otros equipos por medio del mismo cable de datos.



Figura 3.7: UPS submarino [32]

El nodo ciencia tiene integrados un banco de batería como se muestra en la **figura 3.7** y sirven de respaldo por si se llegara a cortar el cable submarino principal.

Las baterías fueron diseñadas para tener un tiempo útil de 25 años en el ambiente submarino; sin embargo, se recomienda mantenimiento cada 10 a 15 años [32].

3.1.2.1 Descripción del bloque submarino.

El componente principal en este bloque es el nodo ciencia, ya que este permite establecer la comunicación de datos y energía tanto hacia el cable transoceánico, la boya tsunámica y los equipos dispuestos para adquisición de los datos en este proyecto.

Toda la comunicación hacia los instrumentos de medición se los hace por medio óptico y estos equipos pueden estar dispersos hasta 10Km del nodo ciencia

3.1.2.2 Justificación del diseño del bloque submarino.

Referenciado y basado en el proyecto DONET de Japón, a pesar de lo costoso que puede resultar este diseño tiene muchas ventajas como expansión, desmontaje de componentes, sistema de respaldo de comunicación fiabilidad y gran ancho de banda de datos.

Lo que podrían dar inicio no solo al sistema de alerta contra tsunamis de alta fiabilidad en la ciudad de Manta, sino a un sistema de observatorios submarinos en toda la costa Ecuatoriana.

3.1.3 Diseño de bloques boya Tsunámica.

El diagrama de bloques boya tsunámica se muestra a continuación en la **figura 3.8**.

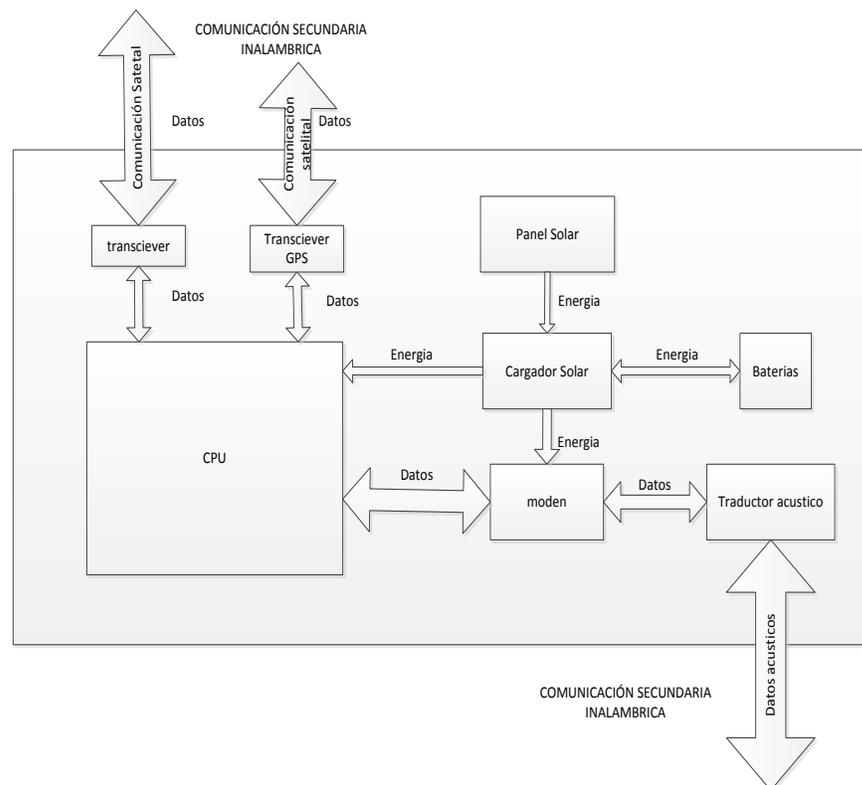


Figura 3.8: Diagrama de bloques boya tsunámica

Este sistema será diseñado en base al sistema DART II y estará ubicado en una de boyas sobre la supervise marina, compuesta por:

- Modem con su traductor acústico
- CPU
- Transceptor GPS
- Transceptor Datos
- Sistema de respaldo de energía solar.

A continuación se describen cada uno de estos elementos:

Módem acústico y transductor.

Enlace dedicado a la transmisión de datos entre el tsunámetro y la boya de superficie [29]. Se puede apreciar una gráfica de estos en la **figura 3.9**.



Figura 3.9: Modem acústico y traductor [33]

Funcionamiento.- Este equipo funciona en conjunto con el equipo bajo la superficie marina, y ambos transductores debe estar sumergidos por lo que la boya tendrá adaptado el transductor en la parte inferior.

Equipo informático o CPU.

Sistema informático embebido incorporado en la boya y en el bloque submarino

Funcionamiento.- El sistema informático incorporado implementado sirve para regular las funciones primarias de los dispositivos en la superficie y el fondo del mar [29]. El cual recibe, transmite datos, lee, almacena la presión y las alturas de la columna de agua, verifica, comprueba la integridad de los datos y ejecuta el cambio automático de modo [29].

Transceptor GPS.

Equipo de comunicación inalámbrica que permite la comunicación satelital e interacción de datos entre los equipos en el mar con el centro de control.

Funcionamiento.- Sirve para transmitir las coordenadas para vigilar la ubicación geográfica de la boya [29]. Ayuda a la precisión del reloj del sistema informático de la boya el cual se configura con respecto a la hora del Meridiano de Greenwich [29].

Transceptor de Datos.

Equipo de comunicación inalámbrica que permite la comunicación satelital e interacción de datos entre los equipos en el mar con el centro de control.

Funcionamiento.- El transceptor se conecta al sistema informático de la boya mediante un puerto serial RS232 [29]. Los datos se transfieren a 2,400 baudios, de forma análoga al módem telefónico común [29]. Un informe típico en modo estándar toma alrededor de 30 segundos, esto incluye el tiempo de conectar, transmitir y desconectar [29].

Sistema de respaldo de energía solar.

Sistema de energía limpia que permite utilizar la energía del sol para acumularla en un batería y ser usada como se muestra en la **figura 3.10 y 3.11.**



Figura 3.10: Sistema de energía solar básico [34]



Figura 3.11: Sistema de energía solar para mareógrafo instalado [34]

3.1.3.1 Descripción del bloque de Boya tsunámica

La boya tsunámica sirve como bloque de vinculación para establecer la comunicación de respaldo en esta caso inalámbrica.

Está compuesta por una boya especial la cual tiene ensamblada los equipos e infraestructura para entrelazar la comunicación entre los equipos de medición y el centro de alerta.

Basada en el Sistemas DART® consisten en el bloque que interconecta los datos los equipos de medición del lecho marino el cual posee una grabadora y un compañero amarrado boya de superficie para las comunicaciones en tiempo real. Un enlace acústico transmite datos desde el registrador de presión y el sismómetro en el fondo marino a la boya de superficie.

Los equipos de recopilación de datos recogen registros sísmicos y de presión a y los transmiten hacia la boya a intervalos de 15 segundos.

Una vez en la boya los datos acústicos son transformados en pulsos eléctricos digitales, registrados en el CPU y este a su vez los envía mediante un modem o transceptor satelital al centro de alerta en tierra.

También posee comunicación GPS para ubicar su localización.

3.1.3.2 Detalles de la Boya

La boya está elaborada de material de fibra de vidrio sobre una base en forma de circunferencia de espuma y mide 2,5 m. de diámetro [29]. Tiene como línea de anclaje una cuerda que posee 8 hilos de nylon con un resistencia de rotura de 7.100 kg [29]. Esto limita el perímetro de vigilancia para mantener la boya dentro del área de transmisión acústica [29]. Hay dos equipos transductores montados en el arnés de la boya a 1,5 m sumergidos bajo la superficie del mar [29]. Las **figuras 3.12 y 3.13**, se puede observar las boyas DART de EE.UU. y del Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile [29].



Figura 3.12: Boya DART II Estadounidense [35]



Figura 3.13: Boya de SHOA chilena [35]

Las boyas de superficie transmiten información y comandos desde el bloque submarino a la red de satélites [29].

Tanto la antena de la boya como en el centro de alerta no es necesario que tenga una altura específica, lo importante es que no tenga obstáculo de vista al cielo.

En la sección de anexo se encuentra el diseño de la infraestructura de la boya, tomada del sistema DART II

3.1.3.3 Justificación del bloque boya tsunámica.

En base al diseño general que establece comunicación de respaldo se diseñó ese bloque indispensable para la misma.

Está basado totalmente en el bloque de la boya tsunámica del sistema DART II por lo cual su confiabilidad está garantizada y probada.

Además de tener incorporada un sistema de alimentación solar para respaldo de energía continuo.

3.1.4 Diseño del Centro de Alerta de tsunami

El Centro de Control forma parte del sistema de alertas contra Tsunamis que se está diseñando en la presente investigación. Está compuesto por un computador que realiza las tareas de servidor y recibe los datos mediante comunicación redundante Óptica y Satelital para un mejor respaldo de comunicación.

Además también posee comunicación con otros sistemas de alerta de tsunamis especialmente ubicados en el océano pacifico mediante conexión a internet como se ilustra en la **figura 3.14**.

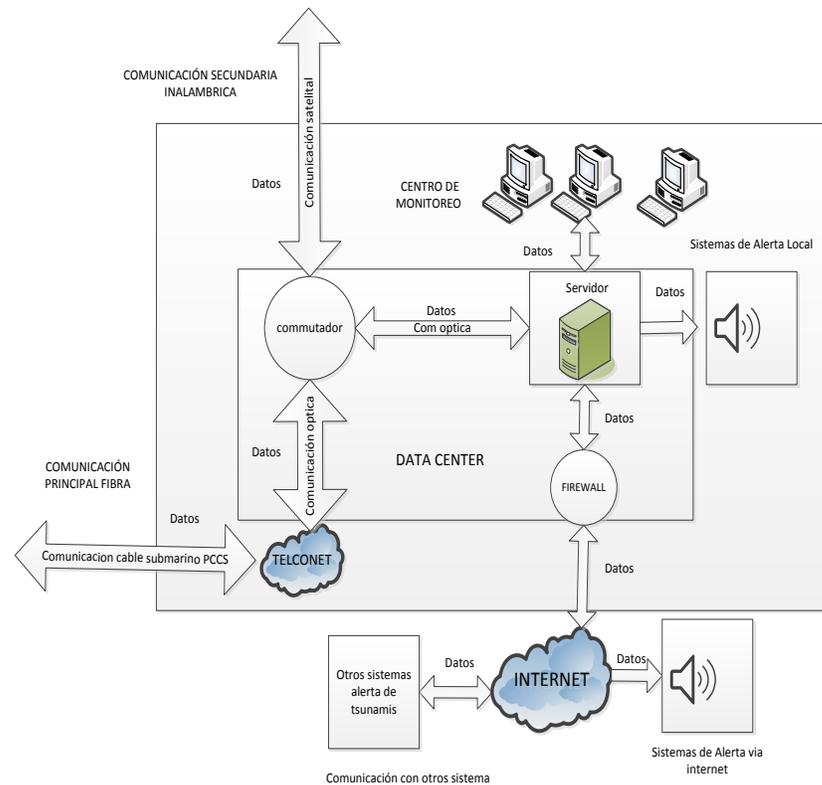


Figura 3.14: Diagrama Centro de Control

A continuación se especifican sus elementos fundamentales:

- Servidor
- Equipo Conmutador
- Dispositivos de monitoreo
- Comunicación de acceso a internet
- Sistema de Alarma

Servidor.

Computadora diseñada con aplicaciones en ejecución, capaz de atender las peticiones de un cliente y devolverle una respuesta en concordancia. Los servidores se pueden ejecutar en cualquier tipo de computadora pero con la diferencia que esta debe tener mayores prestaciones.

Funcionamiento.-Su función es recopilar y almacenar los datos del bloque submarino y de otros sistemas de alerta contra tsunamis y mediante algoritmos de detección interpretar y alerta de la presencia de un tsunami.

En este caso hemos elegido al Servidor IBM Power System S814 por ser específico para soluciones de empresas medianas, tiene características como procesador de 8 cores de 3.72 GHz lo cual es importante para su velocidad de respuesta.

La hoja técnica está incluida en los anexos.

Equipo Conmutador.

Dispositivo que proporciona conectividad a nivel de red o nivel tres en el Modelo OSI. Su función principal consiste en enviar o encaminar paquetes de datos de una red a otra, es decir, interconectar subredes, entendiéndose por subred un conjunto de máquinas o instrumentos con direccionamiento IP que se pueden comunicar sin la intervención de un encaminador (mediante puentes de red) y que por tanto tienen prefijos de red distintos.

Funcionamiento.-Tiene la función de router capa 3 enrutando y conmutando automáticamente la vía de comunicación en caso que una de estas falle.

Se ha optado por elegir al Cisco 3900 Series Integrated Services Routers, el cual es un equipo moderno multicapa y hará la función de Core de la comunicación en el Data Center del Centro de control

El hoja de datos o data sheet de este equipo con sus especificaciones técnicas está incluido en el anexo.

Dispositivos de monitoreo.

Estos pueden ser monitores o computadores. Por lo general lo conforman un grupo de computadoras con acceso al servidor y conectadas a la red LAN de Centro de Control

Funcionamiento.-Sirven para visualizar los datos en tiempo real recopilados, historial y como medio de acceso para ingresar al servidor.

En este proyecto se escogió computadores comunes solo poniendo como referencial lo siguiente: corei7 de 5Gb de memoria RAM con pantallas industriales de 42 pulgadas

Comunicación acceso a internet.

Acceso a la Comunicación de la red global de datos.

Funcionamiento.-Su principal función es el acceso y envío a la información de otros sistemas de alerta contra maremoto, como base de proceso de alerta.

Así también de la difusión de los datos en modo broadcast cuando se detecte una alarma de tsunami

Este acceso así como los equipos para ello, serán instalados por el proveedor que el cliente desee escoger, claro sin olvidar que se debe de colocar un equipo de seguridad informática o firewall al borde de nuestra red con la del acceso a la internet.

Sistema de Alarmas.

Mecanismo de informar o alerta a la gente cuando se presente un percance.

Funcionamiento.- El sistema funciona en base a la información recopilada e interpretada por el servidor y su principal función es informar a la gente de un tsunami acercándose.

Tiene dos medios de difusión: por medio de un conjunto de sirenas colocadas estratégicamente en sitios de riesgo y la otra es la difusión de un mensaje mms, correos por medio de la red de internet.

Más adelante se detalla a fondo su funcionamiento.

3.1.4.1 Importante.

Tanto el servidor como los equipos de comunicaciones debe estar ubicados en un data center adecuado con la normas establecidas de climatización, energía, seguridad.

En la **figura 3.15** se muestra un diagrama de red del centro de alerta.

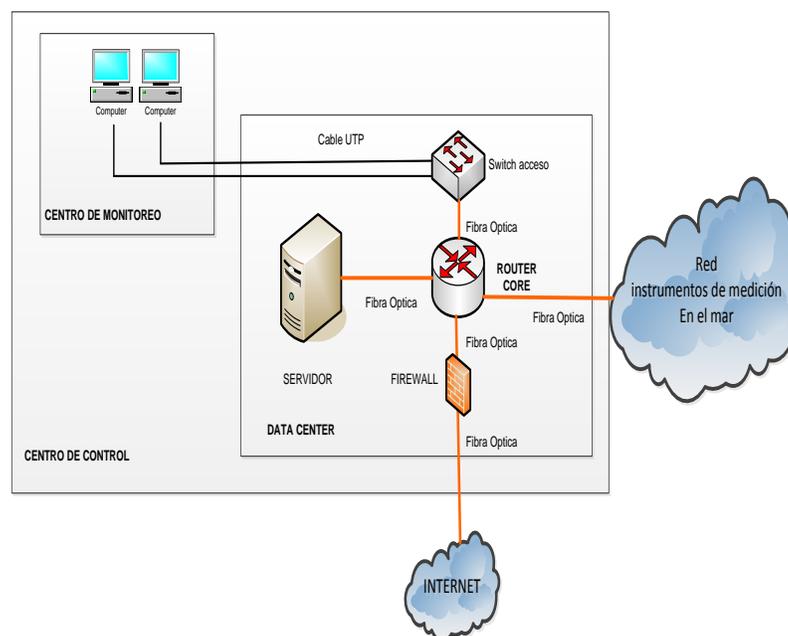


Figura 3.15: Diagrama de Red del centro de Alerta

El data center debe contar con una infraestructura física adecuada, rack para equipos de comunicación y servidores, canalización, cableado estructurado, etc.

3.1.5 Diseño de la Comunicación del sistema.

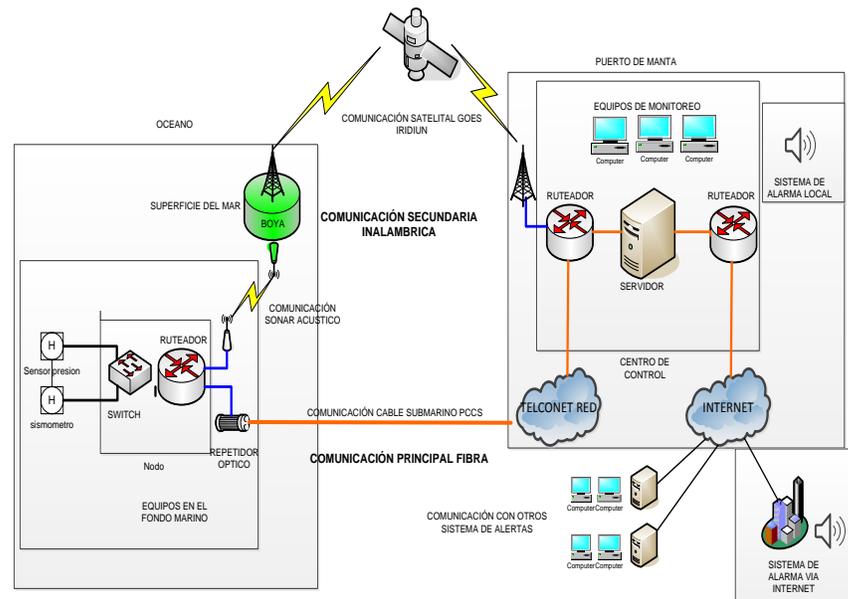


Figura 3.16: Diagrama de Comunicación del Sistema

El diseño del sistema presenta dos enlaces de comunicación o enlaces redundantes entre los equipos que recopilan datos fondo del mar y el centro de alerta de tsunamis como se muestra en la **figura 3.16**, los cuales son:

- Equipos Conmutadores de comunicación
- Enlace principal
- Enlace secundario

3.1.5.1 Equipos Conmutadores de comunicación.

Son los equipos de comunicación que estarán en los extremos del enlace doble, su principal función es dar acceso a la red y permiten la conmutación de los datos.

En el extremo bajo el agua este equipo de comunicación se llama nodo de red submarina o mejor conocido como nodo ciencia.

Nodo ciencia.

Es un centro de distribución de energía y comunicaciones. El nodo es fabricado de un material idóneo para estar en inmersión por un largo periodo como titanio, polietileno de alta densidad (HDPE), Súper Dúplex de acero inoxidable.

Este nodo está compuesto por dos partes:

Pod nodo.- Es el encargado de la distribución de energía a los sensores y de comunicación de los sensores a la estación en tierra. En adición, posee cuatro puertos Wet Matable Underwater Connectors con sus siglas WMC, los cuales son controlados individualmente directamente por los usuarios través de Internet. Alternativamente, una caja de conexiones puede ser adherida al nodo para permitir la expansión local. Cada caja de conexiones es capaz de conectarse a diez instrumentos, como se aprecia en la **figura 3.17**.



Figura 3.17: Nodo del Sistema de Cables Submarinos Peruano [36]

Base de Nodo.- Conecta el nodo con la estación en tierra a través del cable de fibra óptica, el cual termina en acoplamiento del Milenio “Tyco”, que se monta en la base de nodo, como se muestra en la **figura 3.18**.

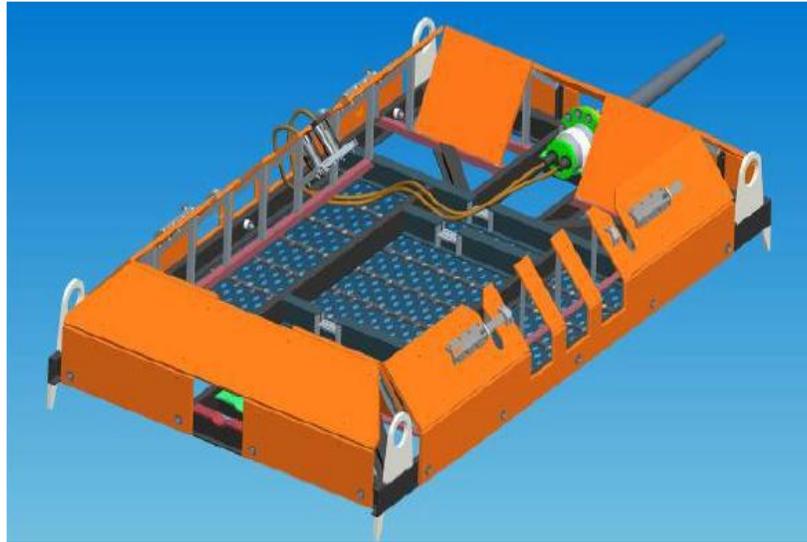


Figura 3.18: Base de Nodo listo para su despliegue [36]

Estos nodos van conectados a los repetidores ópticos del cable transoceánico. Las especificaciones técnicas del nodo ciencia y sus componentes están detalladas en los anexos

En el otro extremo de la comunicación en el centro de alerta el equipo conmutador es un router

Router.

Equipo de comunicación el cual organiza, distribuye y enlaza el tráfico de datos hacia en servidor dentro de la LAN en la **figura 3.19** se muestra el modelo del equipo a usarse



Figura 3.19: Cisco 3900 Series Integrated Services Routers [37]

Este equipo es el Core de la comunicación en el centro de control, debe ir instalado en el data center, con la adecuada normas establecidas.

Detalles y características técnicas están en la sección de anexo.

3.1.5.2 Enlace principal.

Es La comunicación principal del sistema, está compuesto principalmente de los siguientes elementos, como se muestra en la **figura 3.20**.

- Repetidor Óptico Submarino
- Cable submarino
- Red de TELCONET

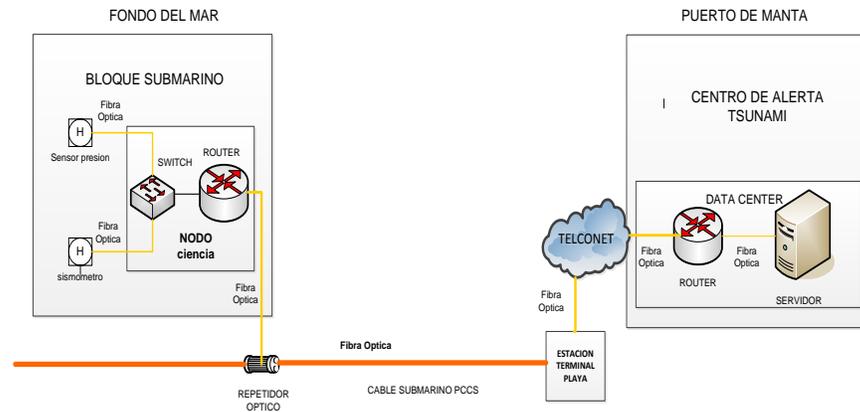


Figura 3.20: Diagrama de la Comunicación principal

Repetidor Óptico Submarino.

Los repetidores permiten transportar señales ópticas a grandes distancias. Esto se lleva a cabo usando Amplificadores de fibra óptica dopada con erbio (EDFAs) para aumentar la potencia de la señal de los canales dentro de la banda C (1525 – 1565 nm) del espectro de transmisión infrarrojo. La misma tecnología puede ser aplicada para amplificar los canales de la banda L (1570 – 1610 nm). Todo el equipo sumergido es diseñado con base en un par de fibras para operaciones bidireccionales (una fibra para cada dirección), y pares de amplificadores son los bloques principales para la construcción de los repetidores. Aunque hay un EDFA por fibra, el bombeo del diodo láser (LD), el control y la supervisión de estos circuitos se comparten entre dos EDFAs del par de amplificadores. Un repetidor simple puede ser usado para amplificar señales de hasta 12 pares de fibras, aunque una red típica debería incluir 4 ó 6 pares de fibras. La vista exterior de un repetidor se muestra en la **figura 3.21**. En el interior del contenedor central están los EDFAs y su electrónica asociada, de potencia, control y supervisión. Aquí consideramos la ingeniería óptica y electrónica de los repetidores.



Figura 3.21: Repetidor Óptico submarino [38]

Cable Submarino o transoceánico.

Es el medio principal por el cual se establece la comunicación y es Óptico, tiene tres niveles de recubrimiento de la fibra óptica. Del interior hacia el exterior la primera protección tiene como objetivo mantener la geometría estructuras le conductor de fibra óptica propiamente dicho, el segundo recubrimiento permite la no interferencia de otros espectros de baja frecuencia sobre la pulsación luminosa transmitida. El ultimo recubrimiento y exterior, perfectamente visible de este conducto tiene el propósito de proporcionar garantías de rigidez estructural y permite al conductor óptico lidiar con las condiciones contórnales del lecho marino.

Para el proyecto se requiere de este medio como comunicación principal, tenemos 2 opciones: una es interconectar nuestro sistema a uno de los cables submarinos que cruzan frente a las costas ecuatorianas, y la otra opción es tender una red de cables submarino propio.

Conexión con el sistema de cables submarino existente.

El sistema de cable de fibra óptica se utiliza para comunicación global como se aprecia en la **figura 3.22** y en nuestro proyecto para conectar el equipo sumergible con la estación en tierra. En adición, el cable cercano a la costa es blindado y va enterrado en áreas cerca a la costa para evitar daños producto de la pesca u otras actividades. Por otro lado, en alta mar, no se utiliza el cable blindado puesto que no soportaría la fuerza de su peso en el fondo marino y por la baja posibilidad de ocurrencia de daños por factores externos.

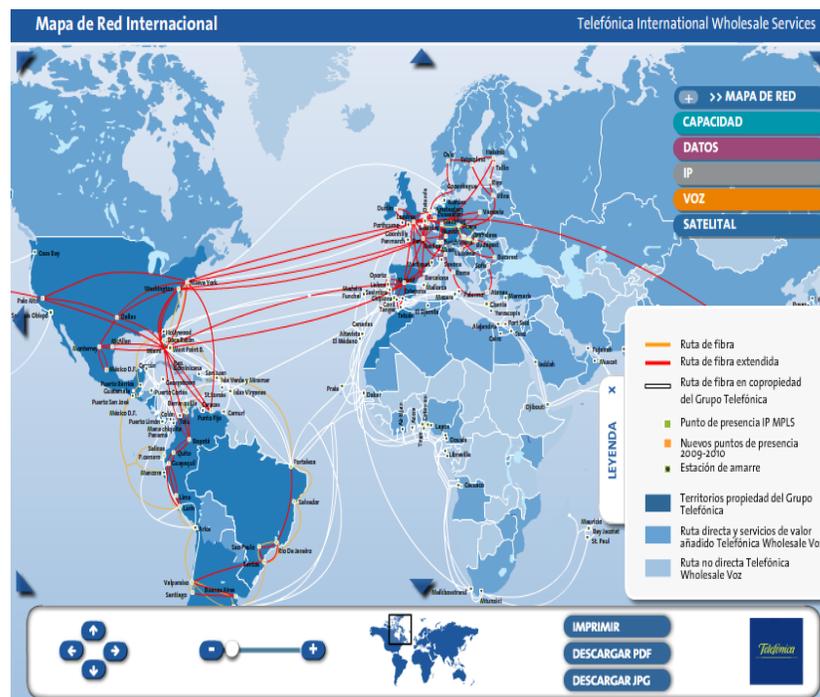


Figura 3.22: Red de cables de Fibra óptica en Sudamérica [39]

Para nuestro diseño tomamos como base el cable submarino del proyecto Pacific Caribbean Cable System (PCCS) que se ilustra en la **figura 3.23**. Se escogió el mismo por es un cable de última generación apto para el requerimiento de tecnología del sistema y por tener punto de aterrizaje en el puerto de Manta.



Figura 3.23: Fibra submarina Pacific Caribbean Cable System (PCCS) [40]

Detalles del Pacific Caribbean Cable System (PCCS)

RFS: September 2015

Cable Length: 6,000 km

Owners: C&W Networks, Telconet, Telefonica, Setar, United Telecommunication Services (UTS)

Landing Points

Balboa, Panama

Cartagena, Colombia

Hudishibana, Aruba

Jacksonville, Florida, United States

Manta, Ecuador

Maria Chiquita, Panama

San Juan, Puerto Rico, United States

Tortola, Virgin Islands (U.K.) [40]

TELCONET.

Compañía proveedora de Servicio de datos, fabricante de fibra óptica, ISP y dueño del tramo de cable transoceánico PCCS en Ecuador, como se aprecia en la **figura 3.24**.

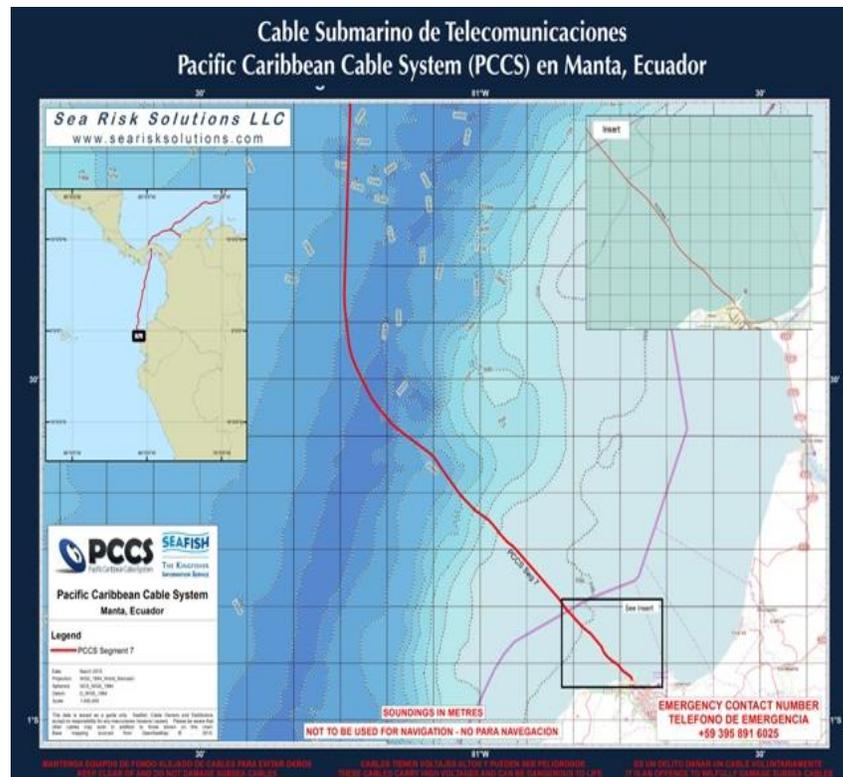


Figura 3.24: Ruta del Cable PCCS frente a la Costa de Manta [41]

Para este proyecto se tomara contacto con esta compañía para hacer la instalación de nuestros equipos a su back bone, instalación de la fibra hasta el data center del centro de Alerta y contratar su servicio de datos.

Conexión con un sistema de cables submarino propio.

En este caso la instalación y tendido del sistema de cables submarino sería un monto más al proyecto y puede ser cableado como se muestra en la **figura 3.25**.

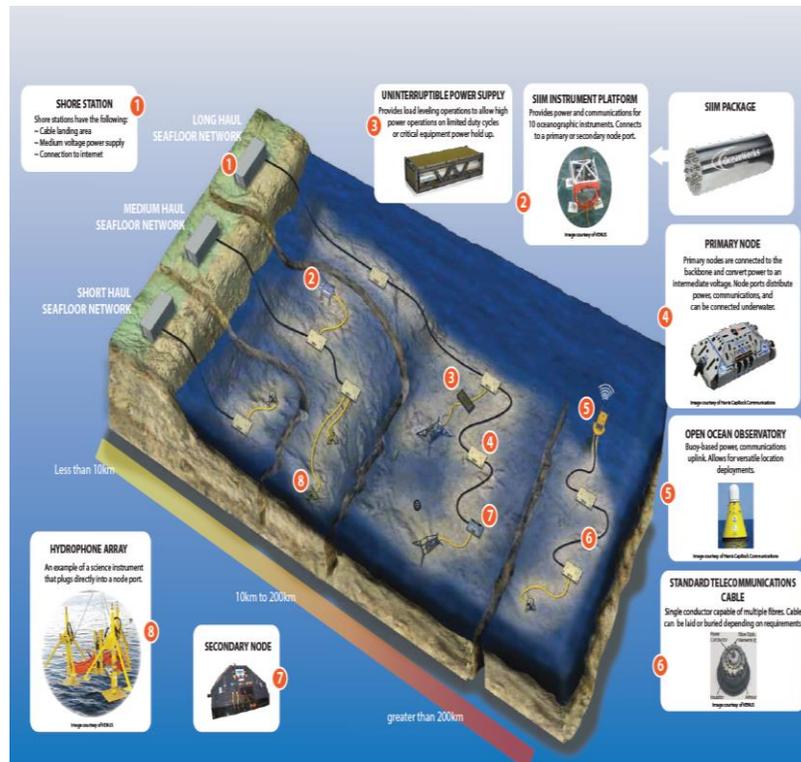


Figura 3.25: Tipos de cableado transoceánico para sistema de medición submarinos [36]

Resumen técnico.

La **tabla 3** proporciona más información acerca de los diferentes tipos de observatorios disponibles:

	Distancia de la costa	Hardware	Instrumentos	Ancho de banda de datos	Poder en el Nodo Secundario	Backbone Voltaje
Near-Shore cableada Observatorio	0-10 km	Nodo secundario único y SIIMs opcionales	10-50	1Gbit / s	<3 kW	<400VD
Coastal Observatorio cableada	10-200 km	Múltiples nodos primarios, los nodos secundarios y SIIMs	Hasta 150 por ubicación nodo primario	1Gbit / s	3kW	<2kVDC
Observatorio Regional cableada	> 200 km	Múltiples nodos primarios, los nodos secundarios y SIIMs	Hasta 150 por ubicación nodo primario	10 Gbit / s	> 3kW	> 2kVDC
Observatorio Animados	N / A	Múltiples nodos primarios, los nodos secundarios y SIIMs	Hasta el 80 por ubicación nodo primario	1-10Gbit / s submarinos y hasta 6Mbit / s por satélite	Varios	> 2kVDC: depende de paso para eliminar la distancia submarina
Observatorio de Seguimiento del Sitio detallada		Múltiples nodos primarios, los nodos secundarios y SIIMs.Registro de datos submarino y la interfaz ROV	Cableados, vainas de instrumentos a corto armarios.Puede ser desplegado en un radio de 500 m			

Tabla 3: Tipos cableado transoceánico y detalles del Observatorio [36]

El enlace principal debe ir conectado al router Core en su última milla por medio de un cable Patch Cord de fibra óptica en este caso mono-modo.

3.1.5.3 Descripción de la comunicación principal

Tiene como base el cable transoceánico que sirve de medio para el monitoreo continuo, observación y registro de los movimientos telúricos y variación de presión en el fondo marino. Es una red de cableado transoceánico, cables óptica de telecomunicaciones

Tiene Nodos que son puntos de conexión que entrelazan al sistema de cable para permitir la conexión de una variedad de sensores e instrumentos. El sistema de recopilación y almacenamiento de datos tiene funcionamiento 24/7/365. Los instrumentos pueden ser conectados y desconectados.

Los instrumentos de medición pueden ir desplegados hasta 10km de distancia radial del nodo ciencia.

El sistema cuenta con alta capacidad para muestreo de datos, ancho de banda alta resolución y un período de tiempo definido con precisión de +/- 1 ms por mes.

Los datos se almacenan en el fondo marino en módulos sólidos grandes, altamente fiables de almacenamiento de estado con una capacidad de varias Terra bytes.

Inicialmente se requerirá de una velocidad de 1Mbps con alta disponibilidad

Contamos con las 2 opciones descritas anteriormente para establecer esta comunicación.

3.1.5.4 Justificación de la comunicación principal.

Ambas opciones de comunicación principal son factibles la única diferencia sería la inversión mayor en la segunda opción, pero no olvidar que este proyecto es expandibles y puede servir como centro de estudios con laboratorios submarinos, con lo cual se podrían hacer exploraciones y posiblemente el descubrimiento de

nuevos recursos submarinos que podrían ser explotados en buena línea con el medio ambiente y la economía del país.

3.1.5.5 Enlace Secundario.

Es La comunicación de respaldo del sistema, está compuesto por dos enlaces inalámbricos, como se muestra en la **figura 3.26**.

- Enlace Acústico.
- Enlace Satelital.

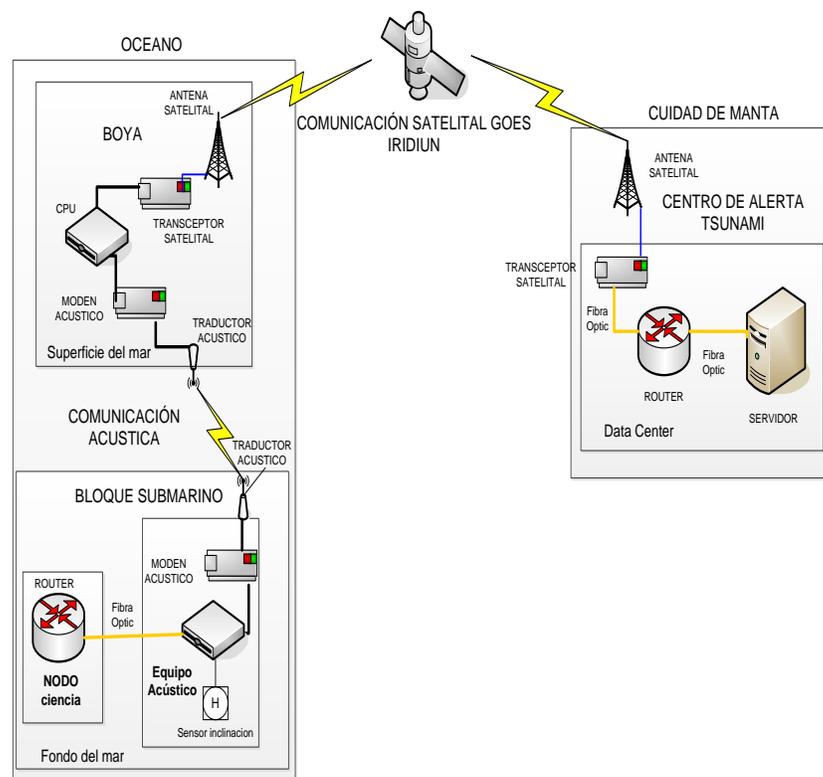


Figura 3.26: Diagrama de la Comunicación secundaria

Basados en sistemas de Telemetría y utilizan el agua como medio de transmisión de las señales acústicas [29], opera en la banda de frecuencias de 9 a 14 KHz a una velocidad de 600baudios usando MFSK junto con código de corrección de errores [29]. Las comunicaciones usan el protocolo x-módem avanzado el cual trabaja con protocolo de corrección de errores, reduce el consumo de energía y mantiene alto rendimiento de transferencia de datos

[29], en la **figura 3.27** se ilustra los principales componentes que intervienen.

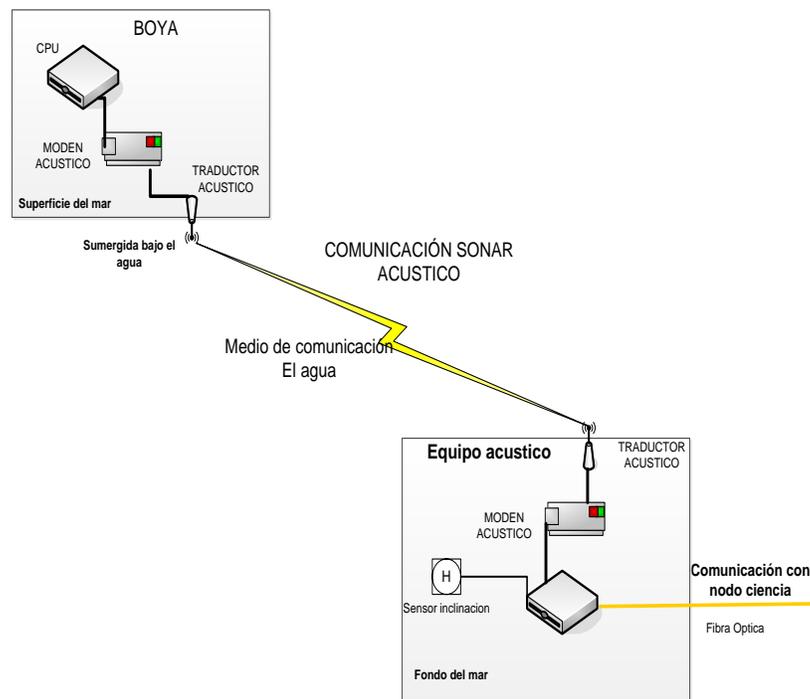


Figura 3.27: Diagrama de la Comunicación Acústica

Vínculo de comunicación que entrelaza la comunicación de la boya con el centro de alerta de tsunamis, para la cual se utilizará el sistema satelital descrito a continuación.

Descripción de Satélite GOE.

Se conoce como Satélite Geoestacionario Operacional (GOE) es uno o varios satélites interconectados entre sí que cumplen la función de repetidor con una cobertura mundial. Están ubicados cerca de la zona del anillo ecuatorial del planeta y tiene la característica de rotar en conjunto a la Tierra con la misma velocidad. Estos satélites permiten establecer la comunicación back up con el centro de control ubicado en tierra el cual recepta y procesa toda la información.

Hay una gran variedad de sistemas de satélites GOE que prestan servicios de voz y datos como se puede apreciar en la **tabla 4**.

Sistema(1)	Tipo	Zona de servicio	Enlace descendente (MHz)(2)		Enlace ascendente (MHz)(2)	
			Desde	Hasta	Desde	Hasta
ACeS	OSG	Partes de la Región 3	1 525,0	1 559,0	1 626,5	1 660,5
AUSSAT	OSG	Australia	1 545,0	1 559,0	1 646,5	1 660,5
DBSD North America	OSG	América del Norte	2 180,0	2 190,0	2 010,0	2 020,0
Globalstar	No-OSG	Mundial	2 483,5	2 500,0	1 610,0	1 621,35
Inmarsat	OSG	Mundial	1 525,0	1 559,0	1 626,5	1660,5
Iridium	No-OSG	Mundial	1 617,775	1 626,5	1 617,775	1 626,5
SkyTerra	OSG	América Central y del Norte	1 525,0	1 559,0	1 626,5	1 660,5
Terrestar	OSG	América del Norte	2 190,0	2 200,0	2 000,0	2 010,0
Thuraya	OSG	Regiones 1 y 3	1 525,0	1 559,0	1 626,5	1 660,5

Tabla 4: Sistemas de satélites con servicio de voz y datos y sus características [42]

Para el presente proyecto se ha optado por el sistema de Iridium, como se muestra en la **figura 3.28**.

Sistema de Iridium.

Es un conjunto de satélites artificiales de orbita relativamente baja y geoestacionario, cuenta con 5 potentes antenas de las cuales las dos más pequeñas dispuestas al norte y al sur operan canales digitales de ultra alta frecuencia entre 1500 y 2800 MHz a una potencia de que puede variar en dependencia de la opacidad del medio entre 1.8 y 3.8 kW. Las dos antenas de tamaño medios operan a una potencia de 3 kW y en canales digitales de alta frecuencia entre 200 y 670 MHz y estas dispuestas en posición este y oeste. La ultima antena y de mayor tamaño se encuentra al centro del aparato orbitador y opera a una potencia de 5 kW a 850MHz y

se utiliza generalmente para información de servicio del propio satélite. Este satélite tiene una masa neta de 93.6 Kg y dimensiones totales de 14.3m x 9.4m x 3.7m. Celdas fotovoltaicas de silicio de alta eficiencia. Posee toberas direccionales para su reposicionamiento las cuales son de baja capacidad dado el carácter geoestacionario de este aparato orbitador. El servicio este satélite se contrata en función a tres criterios principales, primero, nivel de seguridad de la información a traficar; segundo, volumen de información; y por último tiempo de prestación del servicio.

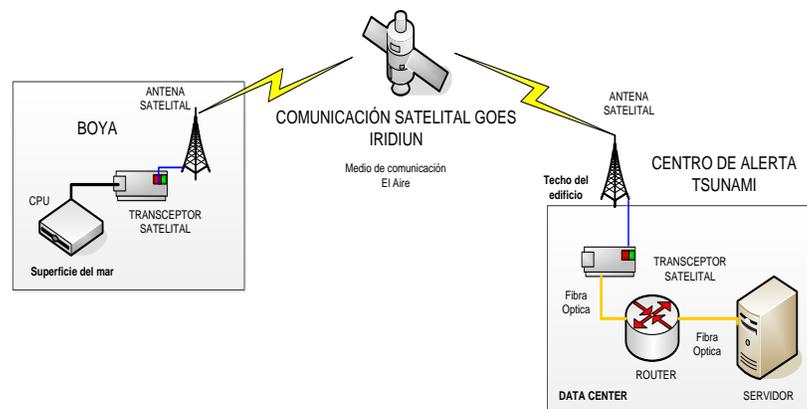


Figura 3.28: Diagrama de la Comunicación Satelital

Un detalle importante de mencionar nuevamente es que el sistema de satélites de Iridium tiene cobertura mundial y no se necesita una antena con una altura específica ya que es suficiente con tener vista al cielo sin obstáculos para garantizar la comunicación.

El modem transceptor de Iridium adaptado en el lado del centro de alerta tendrá que ir a un equipo o tener una tarjeta que convierta o adapten el medio para ir conectado al router Core por medio de fibra óptica o cable UTP.

3.1.5.6 Descripción de la comunicación secundaria.

La comunicación secundaria establecida como se ilustra será por medio de un servicio de datos que nos brinda el sistema de Iridium

del cual vamos a requerir inicialmente como una velocidad de 1Mbps y su servicio debe ser alta disponibilidad.

3.1.5.7 Justificación de la comunicación secundaria.

Se ha tomado como base el sistema de Iridium por tener cobertura mundial y ser el más usado.

Se pudo tomar como enlace secundario un enlace microondas punto a punto, pero por factor de inestabilidad de movimiento de la boya se descartó el mismo. Ya que esta inestabilidad podría causar pérdidas de datos.

No se tomó el cable submarino también como enlace secundario por cuestión de costos, pero a su vez este proyecto si puede ser rediseñado y funcionar con doble enlace redundante óptico y satelital.

3.1.6 Ubicación geográfica de los instrumentos de medición en el mar.

Para poder establecer la ubicación adecuada hay que tomar en cuenta lo siguiente:

- La velocidad de propagación del tsunami.
- El origen del tsunami o del terremoto en el fondo marino.
- La cantidad de puntos de medición.

En este proyecto solo tendremos un solo punto de medición, por lo tanto se buscara una ubicación estratégica de acuerdo con la velocidad del maremoto y su posible origen.

La velocidad de propagación de un maremoto es aproximadamente 800Km/h con lo cual se puede calcular que si se instalaran los equipos a 800 km de la costa el tiempo de llegada de tsunami a las costa seria 1 hora.

Dado la trayectoria del cable submarino PCCS y la planicie submarina se propone ubicar los equipos en las coordenadas (-0.045435,-81.387136) a 125,6km del puerto de Manta como se muestra en la **figura 3.29**.

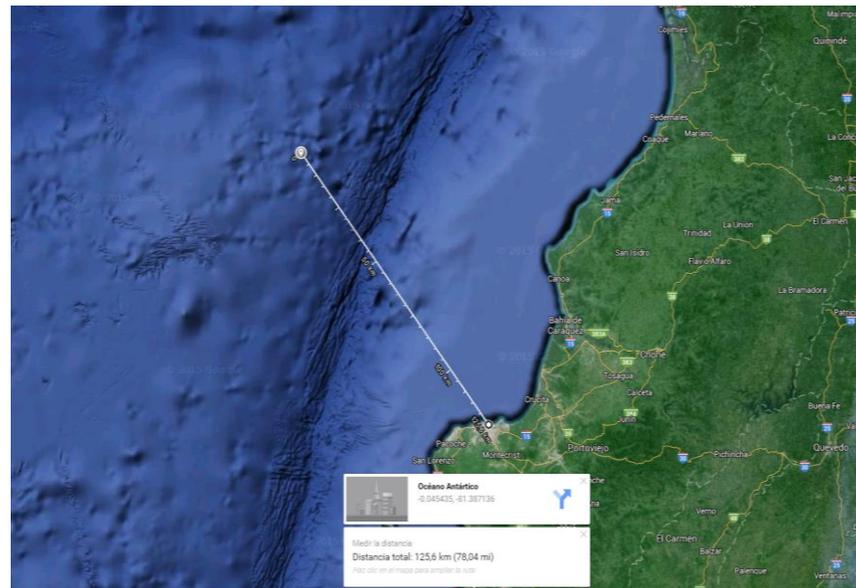


Figura 3.29: Ubicación de los equipos de medición en el Océano [16]

Esta ubicación proporcionaría un tiempo mínimo de evacuación de 8 minutos, pero si el origen del maremoto es más cerca de la ciudad, el tiempo de evacuación sería menor dependiendo de esta distancia.

La ubicación pudiera variar de acuerdo a la implementación del tendido de un cable submarino solo para propósitos de investigación marina.

En ese caso nos basamos en la propuesta más fiable y económica que es utilizar el cable troncal ya existente.

3.1.7 Recolección de información y Comunicación con otros sistemas.

El sistema comparte y recibe información con otros centros de vigilancia de actividad geo-marítima a través de las redes informáticas disponibles en los sistemas de información

meteorológica y de desempeño medioambiental a nivel nacional e internacional. De esta manera se logra la integralidad y eficacia de un prudente sistema de alerta temprana contra tsunamis.

La recolección de información se la hace por medio del Sistema Mundial de Telecomunicaciones (SMT) de la Organización Meteorológica Mundial [29], este distribuye los datos con formato y contenido estándar, como se aprecia en la **figura 3.32**.

Los datos se envían mediante un sistema de conmutación de mensajes (MSS)

El contenido y formato de los datos lo define el manual 386 de la OMM, la información, los mensajes tienen una estructura definida como se muestra en la **figura 3.30**.

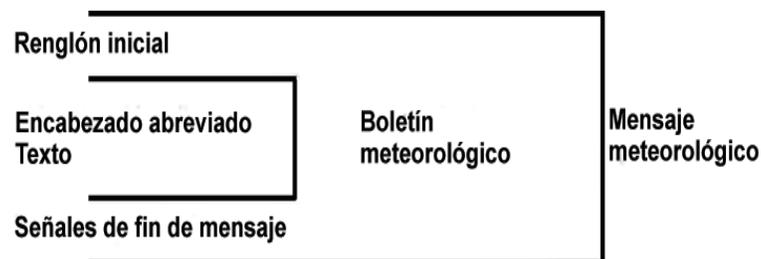


Figura 3.30: Estructura de un boletín SMT [43]

Los datos sísmicos Dentro de un centro de alerta de tsunamis se convierten a formato Earthworm y se comparten con otros centros. La documentación de Earthworm está disponible en <http://folkworm.ceri.memphis.edu/ew-doc/>.

Los datos del nivel del mar pueden presentar los dos formatos principales de la OMM, formato binario universal de representación de datos meteorológicos (BUFR) y el formato de caracteres para la representación e intercambio de datos (CREX), ofrecen grandes ventajas en comparación con los códigos alfanuméricos tradicionales. Las principales características de los códigos por

tablas son la auto-descripción, flexibilidad y capacidad de ampliación.
En la **figura 3.31** se muestra un ejemplo del formato CREX.

EJEMPLO DE DATOS DE MAREÓGRAFO

```

CREX++
T000101 A001 D06025++
R1010 1998 01 23 15 00 2761 00 00 30 -30
01407 1225 01384 1217 01382 1221 01395 1220 01473 1262 01502 1227+
CT010 1998 01 23 15 00 2781 01 00 30 -30
02024 1757 02043 1717 02124 1728 02177 1716 // // // // 02259 1670++
7777

```

Interpretation of the example:

Line	Group	Meaning
1	CREX	Indicator of a CREX message
2	T000101 A0001 D06024	CREX Master Table Number 00, Edition 01, Version 01 Data type 001: Surface data - sea Tide elevation series
3	R1010 1998 01 23 15 00 2761 00 00 30 -30	Tide station R1010 Year: 1998 Month: January Day: 23 Hour: 1500 UTC Minute: 00 Sea/water temperature Tide station automated water level check: Good data Tide station manual water level check: Operational Time increment: time is now hour 1500, minute 30 Short time increment: increment is applied prior to each replication of two descriptors indicated by the group R02006, thus the time is now hour 1500, minute 00
4	01407 1225 01384 1217 01382 1221 01395 1220 01473 1262 01502 1227 +	Tide elevation of 1407 mm at hour 1500, minute 00 Meteorological residual tidal elevation of 1225 mm at hour 1500, minute 00 Tide elevation of 1384 mm at hour 1400, minute 30 Meteorological residual tidal elevation of 1217 mm at hour 1400, minute 30 Tide elevation of 1382 mm at hour 1400, minute 00 Meteorological residual tidal elevation of 1221 mm at hour 1400, minute 00 Tide elevation of 1395 mm at hour 1300, minute 30 Meteorological residual tidal elevation of 1220 mm at hour 1300, minute 30 Tide elevation of 1473 mm at hour 1300, minute 30 Meteorological residual tidal elevation of 1262 mm at hour 1300, minute 00 Tide elevation of 1502 mm at hour 1200, minute 30 Meteorological residual tidal elevation of 1227 mm at hour 1200, minute 30 End of report for station R1010
5	CT010 1998 01 23 15 00 2761 00 00 30 -30 602024 1715 02043 1717 02124 1728 02177 1716 // // 02259 1670 ++	Tide station CT010 Year: 1998 Month: January Day: 23 Hour: 1500 UTC Minute: 00 Sea/water temperature: 276.1 K Tide station automated water level check: Good data Tide station manual water level check: Operational Time increment: time is now hour 1500, minute 30 Short time increment: increment is applied prior to each replication of two Descriptors indicated by the group R02006, thus the time is now hour 1500, minute 00 Tide elevation of 2024 mm at hour 1500, minute 00 Meteorological residual tidal elevation of 1715 mm at hour 1500, minute 00 Tide elevation of 2043 mm at hour 1400, minute 30 Meteorological residual tidal elevation of 1717 mm at hour 1400, minute 30 Tide elevation of 2124 mm at hour 1400, minute 00 Meteorological residual tidal elevation of 1728 mm at hour 1400, minute 00 Tide elevation of 2177 mm at hour 1300, minute 30 Meteorological residual tidal elevation of 1716 mm at hour 1300, minute 30 Tide elevation missing at hour 1300, minute 30 Meteorological residual tidal elevation missing at hour 1300, minute 00 Tide elevation of 2259 mm at hour 1200, minute 30 Meteorological residual tidal elevation of 1670 mm at hour 1200, minute 30 End of report for station CT010, also, end of Data Section
7	7777	End of CREX message

Figura 3.31: Ejemplo del formato CREX de la OMM decodificado

Los datos transmitidos por el satélite están en formato ASCII hexadecimal.

El National Data Buoy Center (NDBC) reformatea los mensajes recibidos de Iridium para producir los mensajes tipo SXXX46 que distribuye a través del portal de telecomunicaciones del NWS [43].

Mensaje con datos no procesado en modo estándar desde la boya

```
D$11 08/22/2006 18:15:00 1474142 4709825 4709819 4709819 4709824 1* 35
D$11 08/22/2006 19:15:00 1474142 4709831 4709842 4709862 4709883 1* 07
D$11 08/22/2006 20:15:00 1474142 4709906 4709933 4709962 4709995 1* 3B
D$11 08/22/2006 21:15:00 1474142 4710033 4710072 4710115 4710155 1* 7F
D$11 08/22/2006 22:15:00 1474142 4710198 4710244 4710282 4710322 1* 30
D$11 08/22/2006 23:15:00 1474142 4710363 4710398 4710431 4710457 1* 01 [43]
```

El NDBC incorpora un encabezado en el boletín (SXXX46 KWBC) y asigna un grupo de fecha/hora (230012 = día 23 del mes a las 0012 UTC). El NDBC aplica luego la línea de encabezado del GOES1 (DDDDDDDD0235001256) y la línea final del mensaje (00-0NN00E) para que el mensaje del DART II siga siendo compatible con los de DART I, de manera que los decodificadores puedan procesar los mensajes [43].

```
SXXX46 KWBC 230012
DDDDDDDD0 235001256
D$11 08/22/2006 18:15:00 1474142 4709825 4709819 4709819 4709824 1* 35
D$11 08/22/2006 19:15:00 1474142 4709831 4709842 4709862 4709883 1* 07
D$11 08/22/2006 20:15:00 1474142 4709906 4709933 4709962 4709995 1* 3B
D$11 08/22/2006 21:15:00 1474142 4710033 4710072 4710115 4710155 1* 7F
D$11 08/22/2006 22:15:00 1474142 4710198 4710244 4710282 4710322 1* 30
D$11 08/22/2006 23:15:00 1474142 4710363 4710398 4710431 4710457 1* 01
00-0NN 00E
```

[43]

3.1.7.1 Importante.

Los datos nivel del mar o presión para vigilancia de tsunamis deben transmitirse a intervalos de tiempo real. Estos datos se transmiten desde diferentes satélites a los centros de Telecomunicaciones regionales de la OMM.

Los dos formatos de datos primarios de la OMM son el formato binario universal de representación de datos meteorológicos (BUFR) y el formato de caracteres para la representación e intercambio de datos (CREX) [43].

La instalación, mantenimiento y funcionamiento del sistema incluyendo el software para la visualización de datos lo implementará la compañía encargada de la instalación del sistema.

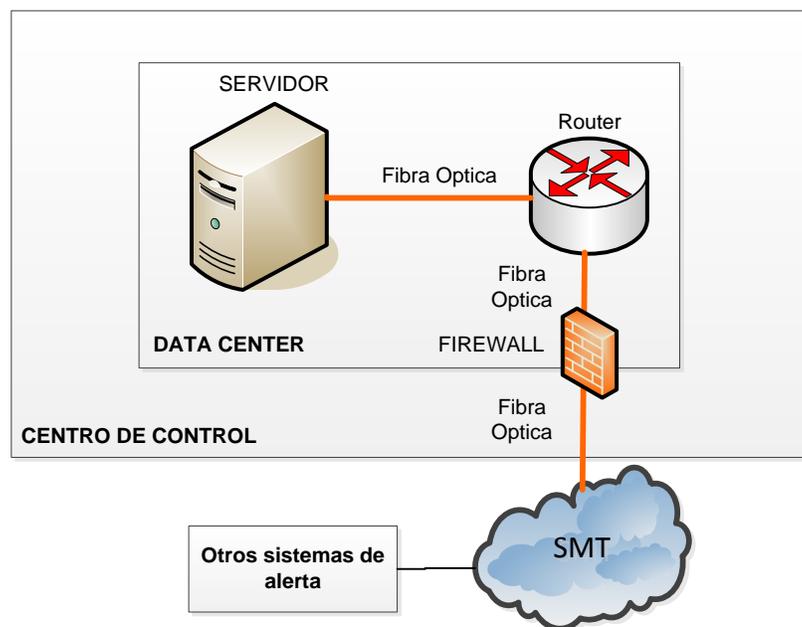


Figura 3.32: Comunicación con otros sistemas de alerta de tsunamis

3.1.8 Sistema de alerta e información.

El sistema de alerta cuenta con tres direcciones o enfoques; inicialmente se reflejaría en el puesto de mando que es donde se acopian toda la información registrada por los distintos tipos de sensores y se compara con los registros históricos para así poder detectar las anomalías y el nivel de estas. Otra dirección de la alerta estaría enfocada a un grupo de alarmas sonoras ubicadas en el litoral, las cuales notificarían a las personas en esa área del advenimiento de un tsunami. Y el último enfoque del sistema de

alarma estaría dirigido a la socialización de la eventualidad, con sus características, a través de un medio de difusión masiva como lo es la Internet. Esto último sucedería a través de las diferentes direcciones informativas de este medio en los grupos meteorológicos y de protección civil.

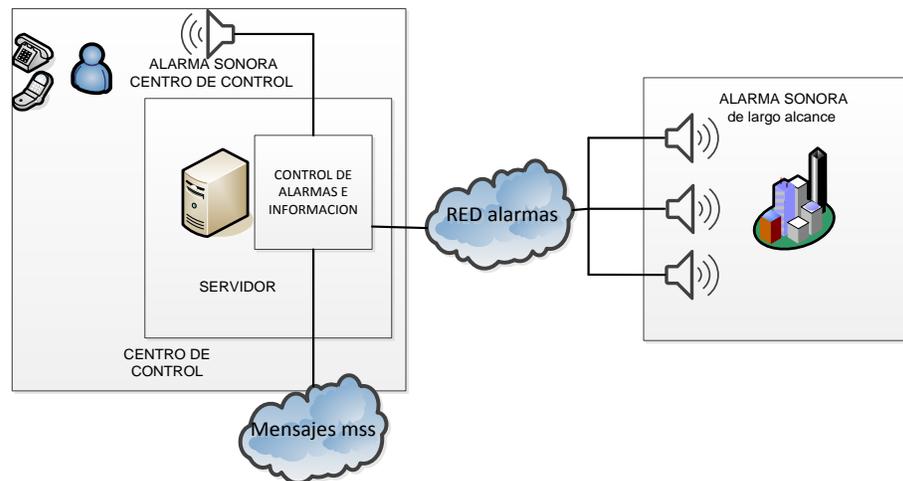


Figura 3.33: Sistema de alarmas e información

En este proyecto no hemos querido profundizar en el diseño del sistema de alerta sonora de largo alcance para la ciudad, pero eso puede ser tema de estudio para un futuro proyecto y sería basado en el esquema de la **figura 3.33**.

Funcionamiento del sistema de alarmas.

La Información obtenida por los sensores ubicados tanto en el lecho marino como los ubicados en la superficie es recopilada y almacenada, luego esos datos se analizan y comparan con fuentes de nuestra base de datos y fuentes de sistemas de datos internacionales. Estos son los pasos iniciales del proceso del funcionamiento del sistema propuesto. En la **figura 3.34** se representa de modo muy claro preciso y detallado el funcionamiento del sistema de alerta contra tsunami propuesto en este trabajo.

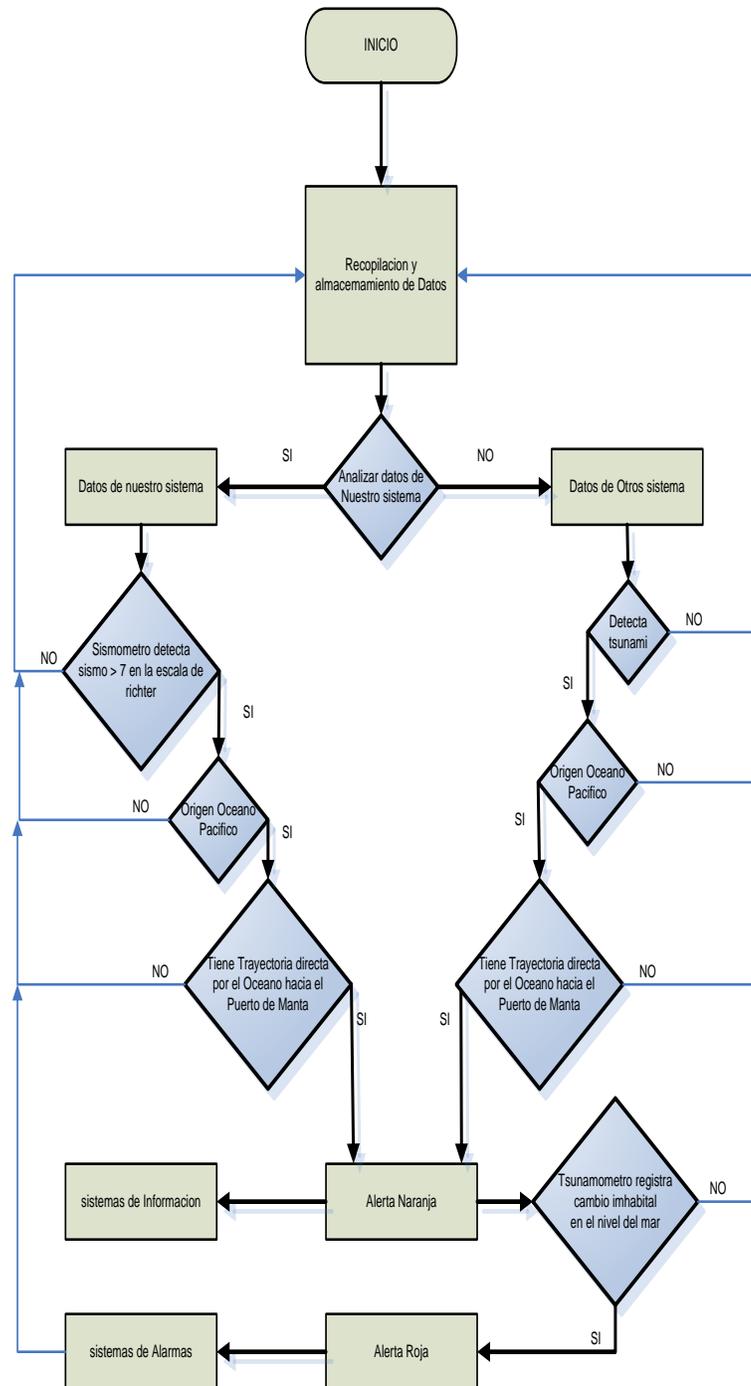


Figura 3.34: Diagrama de funcionamiento del sistema

3.2 Simulación del Sistema de Alerta temprana de Tsunamis

Para el presente proyecto se ha elaborado una simulación de ambiente LabView, la cual servirá para mostrar los datos obtenidos de los equipos de medición en el lecho marino.

LabView es un entorno de programación flexible diseñado específicamente para acelerar la productividad de ingenieros y científicos. Es un sistema de programación gráfica que posibilita visualizar, crear y codificar sistemas de ingeniería para aplicaciones que involucren adquisición, control, análisis y presentación de datos [44], así como acciones específicas de un sistema determinado, proporcionando una fuerte herramienta de interfaz hombre máquina [45].

Permite resolver más rápido y de manera más eficiente los problemas de hoy en día con la habilidad de evolucionar, ofreciendo una integración sin precedentes con todo el hardware y software de adquisición de datos aprovechando las últimas tecnologías de cómputo. Integra completamente cualquier hardware con extensas bibliotecas de análisis y procesamiento de señales, ofrece interfaces de usuario gráficas personalizadas y le permite implementar estos sistemas a una plataforma que utiliza la tecnología más nueva y más avanzada [45].

LabView proporciona las siguientes ventajas [44]:

- Disminuye el tiempo de desarrollo de las aplicaciones [44].
- Posibilita de cambios y actualizaciones de hardware como del software al sistema [44].
- Proporciona soluciones completas y complejas al usuario [44].
- Sistema integran las funciones de adquisición, análisis y presentación de datos [44].

El sistema cuenta con un compilador gráfico de alta velocidad de ejecución [44].

Interactúa con aplicaciones escritas en otros lenguajes [44].

Dadas las características de este software de desarrollo que nos brinda compatibilidad con el lenguaje C o BASIC [44]. Se optó por desarrollar la interfaz de alerta temprana de este proyecto mediante LabView, el cual se diferencia usando programación gráfica para crear programas basados en diagramas de bloques ya que se ajusta sobre símbolos gráficos para construir las aplicaciones [44], resultando más intuitivo que los lenguajes de programación convencionales; además de poseer extensas librerías de funciones y subrutinas tanto de funciones básicas de todo lenguaje de programación como específicas para la adquisición de datos, control de instrumentación VXI, GPIB y comunicación serie, análisis presentación y guardado de datos [45].

3.2.1 Diagrama de funcionamiento.

El sistema en su totalidad consta de dos núcleos de procesamiento el primero como se observa en la **figura 3.35** y se identifica como conmutador que no es más que un Filtro de integración y procesamiento de señales de los dos sensores básicos con los que cuenta el sistema el sensor de presión de la boya Tsunámica o mareógrafo y el sismómetro de la red submarina, dando como resultado un arreglo de datos procesados los cuales pueden ser interpretados y representados mediante el software de alerta temprana instalado en el centro de control.

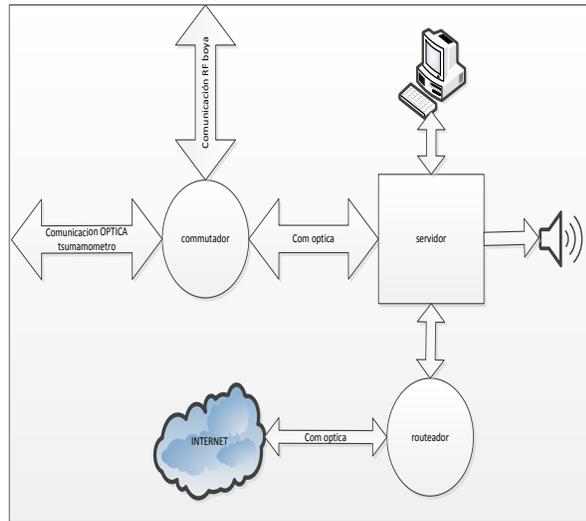


Figura 3.35 Diagrama básico del centro de control

El software de simulación del sistema de Alerta Temprana desarrollado en este proyecto se basó en el desarrollador LabView y su funcionamiento se basa en el diagrama representado en la **figura 3.36**. El mismo se basa en la adquisición de los datos ya previamente procesados mediante un Filtro de integración, el procesamiento de los mismos para determinar las posibles amenazas y condiciones del sistema, la representación gráfica de los mismos, así como la generación de alarmas ante la detección de parámetros y condiciones de alerta y finaliza con la notificación de las alarmas.

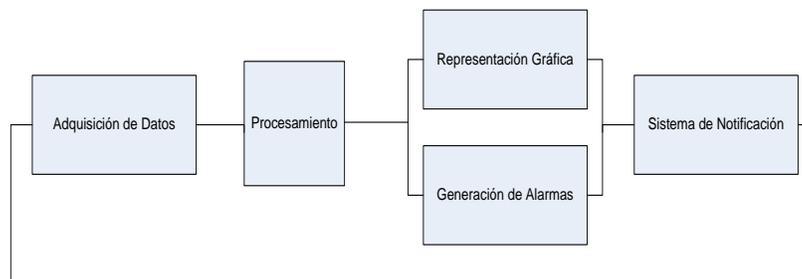


Figura 3.36 Diagrama de procesos del Sistema de Alerta Temprana

Como se puede observar en la **figura 3.36** se muestra el diagrama de funcionamiento del sistema de alerta temprana desarrollado, el cual tiene en cuenta las diferentes señales tanto de la boya tsunámica como de la red submarina integrando ambas en un proceso compacto de procesamiento capaz de ejecutar una alarma ante una amenaza inminente.

3.2.2 Etapas de la simulación.

Se ha establecido de la siguiente manera:

- Control del Sistema.
- Adquisición de Datos
- Recopilación y análisis de Datos

Control del Sistema.

Es el encargado de gestionar la adquisición de datos y la frecuencia de recepción y envío de datos como se muestra en la **figura 3.37**. Una vez encendido enviara una señal de activación del bloque submarino para que este mediante el medidor de inclinación localice a la boya tsunámica y se pueda establecer la comunicación. Al mismo tiempo el medidor de presión empezara a censar la presión de la columna de agua por encima de este. El tiempo sugerido es de 1 segundo para lograr un monitoreo efectivo de la zona a estudiar, el sistema tiene la opción de simular datos analizados con una frecuencia de hasta 2 segundos.

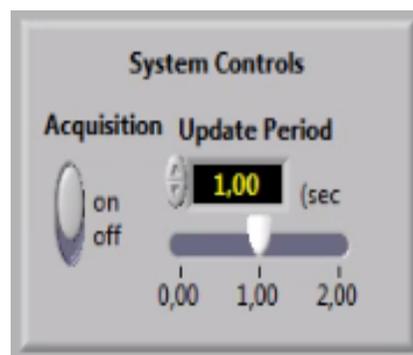


Figura 3.37: Módulo de Control del Sistema

Adquisición de Datos.

En esta etapa es donde se van a recibir los datos del medidor de presión y **sismómetro**, es decir las variaciones tanto de presión como sísmicas obtenidas por el sensor de presión. Estos datos van a ser obtenidos por intervalos de tiempo dispuestos en nuestro módulo de control y de igual manera se enviarán al módulo de recepción de datos para ser comparados por parámetros previamente establecidos. El análisis de presión realizado se grafica en el sistema. En caso de pasar los límites establecidos se mostrará una alerta de tsunami, ya sea por superar o no los umbrales. Al detectar cambios en los umbrales se generará siempre una alerta como se muestra en la **figura 3.38** y **figura 3.39**, teniendo en cuenta que la presión de las olas varía constantemente.

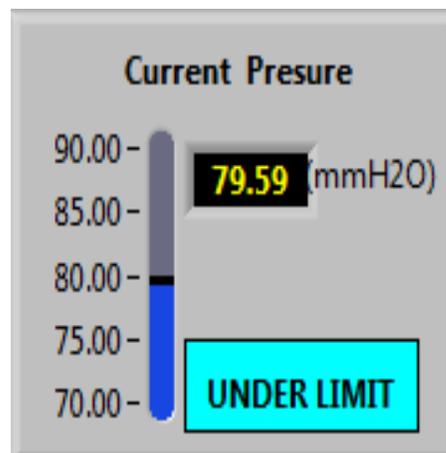


Figura 3.38: Módulo de Control de Presión con alerta límite inferior

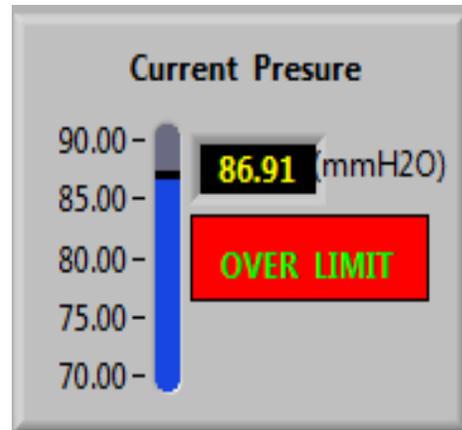


Figura 3.39: Módulo de Control de Presión con alerta límite superior

Recopilación y análisis de Datos.

En esta etapa se almacenaran los datos obtenidos del módulo de adquisición de datos para luego ser mostrados gráficamente. Se establecerá un valor de umbral y cuando los datos obtenidos sobrepasen este valor, se activara una alerta azul o roja dependiendo los valores obtenidos. Estos valores se podrán visualizar en cualquier momento ya que el sistema está trabajando veinticuatro horas al día los siete días a la semana. Estos controles de umbrales serán definidos a través de un estudio precio realizado en la zona donde se colocan los equipos y además teniendo en cuenta los datos procesados por los propios equipos, como se aprecia en la **figura 3.40**.

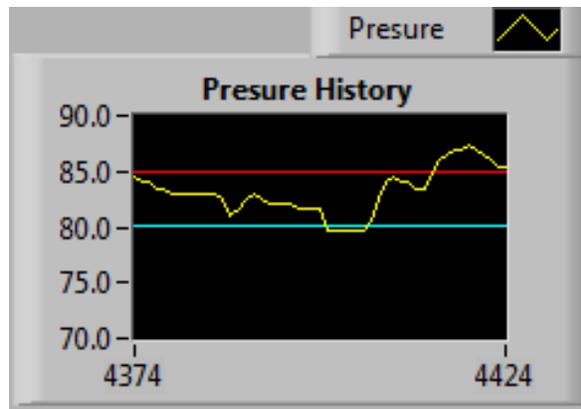


Figura 3.40: Módulo Historial de Control de Presión

Fuente: Elaborada por el Autor

Los controles de rango permiten establecer los umbrales de presión, moviendo las gráficas del historial de presión, al límite mínimo y máximo. Esto límites serán usados para compararlos con los datos recibidos por el tsunámetro. En dependencia de los niveles establecidos se generara la alerta de tsunami como se muestra en la **figura 3.41**. Se debe tomar en cuenta que los datos usados son estimados a fin de lograr una simulación del sistema que valide la propuesta de la presente investigación.

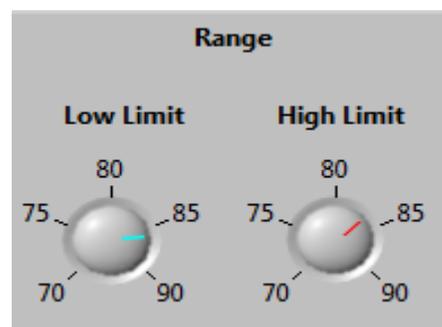


Figura 3.41: Módulo control de Umbral de Presión

Sismógrafo.

El sismógrafo consta de varios elementos que nos ayudaran en la representación gráfica de nuestro sistema. Consta de un simulador de movimiento sísmico, un medidor de sismos en la escala de Richter y el sismógrafo propiamente dicho como se observa en la **figura 3.42**

El simulador de movimiento sísmico nos permitirá variar la intensidad del sismo que se produciría en algún lugar cercano a la costa del puerto de Manta. El sismógrafo nos permitirá observar las mediciones de los sismos. En el momento en el cual se detecte un alta medición de un sismo y algún cambio irregular en el medidor de presión se producirá una alarma en nuestro sistema.

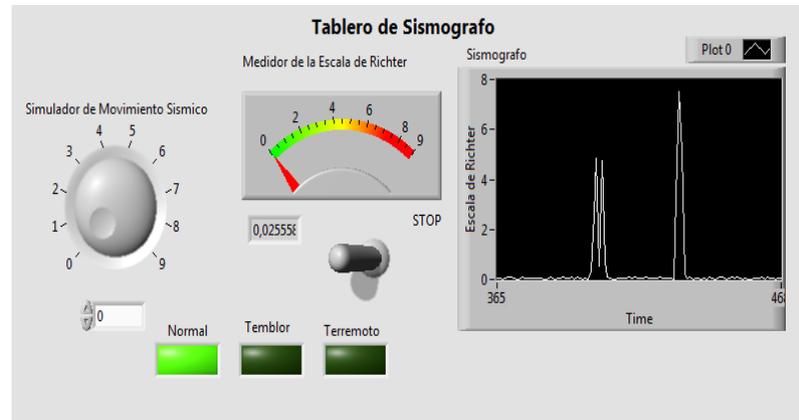


Figura 3.42: Sismógrafo

Alarma del Sistema.

Una vez producida una alteración en los datos obtenidos y que sobrepasen el umbral establecido se activara una señal de alerta azul o roja dependiendo la intensidad del fenómeno. Inmediatamente se enviara una señal de activación de la alarma sonora ubicada en puntos estratégicos en la costa del puerto de Manta para avisar a los pobladores más próximos y se enviara un correo electrónico a una base de datos para propagar luego el mensaje de alerta a nivel Nacional.

El sistema cuenta con un módulo de notificaciones electrónicas, el cual ha de ser programada partir del uso de un servidor de correo para emitir el tipo de alertas electrónicas como se observa en la **figura 3.43**.

E-Mail Notification
Mail Server

Conditions of Notification:

- Over High Limit
- Under Low Limit
- Acquisition Complete

Recipient Display

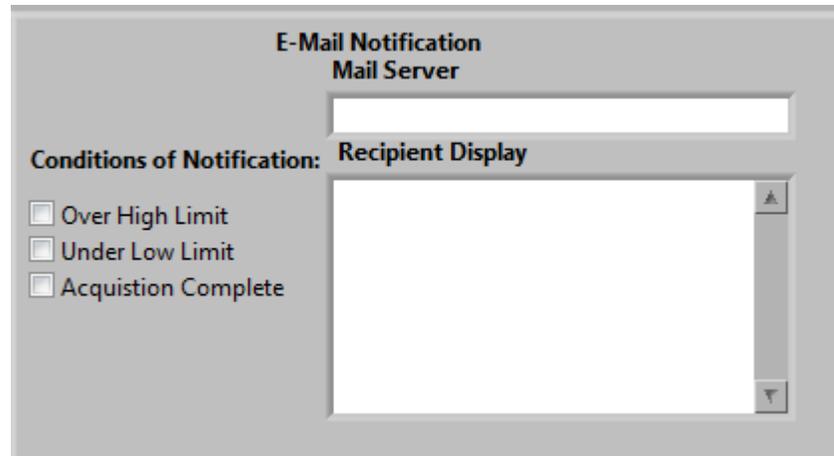


Figura 3.43: Módulo Notificaciones electrónicas

CAPÍTULO 4

4 ESTUDIO ECONÓMICO PARA LA FACTIBILIDAD DEL PROYECTO.

4.1 Estudio económico.

Esta sección está hecha para establecer los costos de los materiales, instalación y mantenimiento del sistema diseñado. Los valores tomados son en base al proyecto de un sistema de alerta contra tsunamis para las costas Peruana elaborado por el Ing. Rodríguez Cruz publicado el año 2011.

4.1.1 Introducción.

En el análisis económico desarrollado se determinó el monto de los recursos económicos necesarios para la realización del proyecto, dígase el costo total de la operación del proyecto y evaluación económica (indicadores económicos).

4.1.1.1 Evaluación financiera de la inversión.

Para la evaluación financiera de la inversión se realizó el estudio de rentabilidad una vez conocido los parámetros que definen una inversión como la del caso de estudio, tales como:

- El número de unidades monetarias que el inversor debe desembolsar para conseguir que el proyecto empiece a funcionar como tal, lo que se denomina: Pago de la inversión (K).
- El número de años estimados durante los cuales la inversión generará rendimientos, más conocido como: Vida útil de proyecto (n).
- Los resultados de efectuar la diferencia entre cobros y pagos, ya sean estos ordinarios o extraordinarios, en cada uno de los

años de la vida del proyecto, a esto se le llama Flujo de caja (Ri).

4.1.1.2 Costos de la inversión.

Los costos de una inversión son todos los pagos que se tienen que realizar para realizar el proyecto. Su análisis es escuetamente, el proceso de identificación y determinación de la calidad y cantidad de los recursos precisos para efectuar la labor; y no sólo posibilita el poder determinar el costo del proyecto y su mantenimiento, sino que sirve para verificar si vale o no la pena llevarlo a cabo. Además en el proyecto se establece la cantidad y la clase de:

1. Materiales / dinero
2. Equipamiento e instalaciones / dinero
3. Mano de obra directa empleada / dinero
4. Edificación y su Infraestructura / dinero
5. Mantenimiento del sistema / dinero

Por ello, los costos que serán analizados en la investigación son:

- a. Costo de equipamiento e instalaciones (componentes del sistema)
- b. Costo de construcción (mano de obra, edificación e infraestructura)
- c. Costo de mantenimiento (lo que cuesta mantener el sistema)
- d. Costos adicionales:
 1. Gastos por servicios públicos (electricidad, agua, etc.).
 2. Gasto de personal (salarios, entrenamiento, etc.).
 3. Logística (transporte, alimentación, materiales, etc.).
 - I Costo de implementación
 - II Costo total de la inversión

Criterios de rentabilidad.

Para el análisis de los criterios de rentabilidad del proyecto, fueron aplicados indicadores de evaluación de inversiones, para determinar si el proyecto es o no conveniente. Entre los indicadores utilizados se encuentran:

El Valor Actual Neto (VAN), a través del cual se actualizarán los flujos de caja futuros que va a generar el proyecto, asociados al costo del capital, y confrontarlos con el valor inicial de la inversión. La tasa que se utiliza regularmente es el costo medio ponderado del capital de la empresa que hace la inversión.

Se calcula mediante la expresión:

$$VAN = -K + R_i \times \frac{(1+i)^n - 1}{i \times (1+i)^n}$$

Si al calcular el VAN del proyecto, da mayor que cero, se puede decir que resulta viable desde el punto de vista financiero.

- La relación beneficio / inversión, que medirá el cociente entre el VAN y la cifra de inversión, donde la ganancia neta generada por el proyecto por cada unidad monetaria invertida sería K. Es importante tener en cuenta ante el resultado que a mayor Q más importante será la inversión, siendo $Q = VAN/K$.
- El plazo de recuperación o período de Retorno (PR), mediante el cual definirá el período que tarda en recuperarse la inversión inicial a través de los flujos de caja generados por el proyecto. La inversión será recuperada en el año en que los flujos de caja acumulados superan a la inversión inicial, es decir, serán sumados año tras año los flujos netos de caja hasta que su suma sea igual o superior al desembolso inicial. Este criterio medirá la repercusión económica que tiene el proyecto a través de la liquidez. La inversión será más

interesante cuanto más reducido sea su plazo de recuperación.

- Tasa interna de rentabilidad (TIR), es el tipo de interés que haría que el VAN fuera nulo. Para que la inversión sea rentable, este valor debe de ser mayor al tipo de interés del mercado.

Análisis de la evaluación financiera.

La evaluación financiera contempla, en su análisis, a todos los flujos financieros del proyecto. La información de su evaluación debe cumplir tres funciones principales tales como:

- Determinar los costos y hasta donde pueden ser cubiertos oportunamente.
- Mide la rentabilidad de la Inversión

$$\text{Rentabilidad de la Inversión} = \frac{\text{UtilidadNeta}}{\text{PatrimonioNeto}}$$

- Genera la información necesaria para comparar el proyecto con otras oportunidades de inversión.

4.1.2 Estimación de costos

Fueron estimados los costos para todos los recursos asignados al proyecto, dígase recursos de trabajo, recursos materiales, costo de servicios e instalaciones, etc. Se expresó en la unidad monetaria dólar.

4.1.3 Costo de equipamiento e instalaciones

Para analizar los costos de equipamiento e instalaciones del sistema de alerta temprana contra Tsunami, se identificaron los componentes que lo integran, así como, las instalaciones correspondientes.

Las **tablas 5 y 6**, muestran los equipos e instalaciones que el sistema necesita para su ejecución, donde el costo total asciende a **USD 4,220,000.00**

No.	Equipamiento	Dólares	
	Bloque submarino	2,700,000.00	
	Boya	1,300,000.00	
	Centro de Control	Computadora	120,000.00
		Servidor	5,000.00
		Impresora	10,000.00
		escáner	2,000.00
TOTAL		4,137,000.00	

Tabla 5: Costos de equipamiento

Instalaciones		Dólares
Centro de Control		
Eléctricas	Local de Control	8,500.00
Hidrosanitario	Pantri y Baño	6,000.00
Corrientes Débiles	Telefonía	500.00
	Internet	1,000.00
	Sistema de Red de Datos	40,000.00
	Sistema Contra Incendios	15,000.00
	Sistema Contra Intrusos	12,000.00
TOTAL		83,500.00

Tabla 6: Costos de instalaciones

4.1.4 Costo de construcción.

Según la instalación del sistema de alerta temprana contra Tsunami que se pretende montar, dependerá parte del presupuesto que se necesita invertir, por lo que este se calcula según el costo de las superficies de construcción y los espacios que serán solo pavimentados que son los lugares destinados al centro de control del sistema. Según los estudios realizados el costo por área construida es de 110 dólares el metro cuadrado y en las áreas que solo requieren ser pavimentadas el costo es de 40 dólares el metro cuadrado.

Las **tablas 7 y 8** muestran los costos por edificio e infraestructura del centro de control, así como, la mano de obra directa para la construcción del sistema, con su costo total, que asciende a **USD 129,192.80**

Edificio e Infraestructura			
	Espacio m²	Costo m²	Inversión \$
Área pavimentada	250	100	25,000.00
Área construida	200	180	36,000.00
TOTAL			61,000.00

Tabla 7: Costos por edificio e infraestructura

Mano de Obra Directa e Indirecta						
No	Directa	Sueldo Mensual\$	Aporte Patronal IESS 12,15%	Aporte individual IESS 9,35%	Sueldo Neto	Total sueldo 4 meses
Construcción del Centro de Control						
1	Ing. Civil	2.000,00	243,00	189,00	2.054,00	8.216,00
1	Electricista	900,00	109,35	85,05	924,30	3.697,20
1	Plomero	900,00	109,35	85,05	924,30	3.697,20
2	Albañiles	1.500,00	182,25	141,75	1.540,50	6.162,00
1	Ayudantes	500,00	60,75	47,25	513,50	2.054,00
1	Ing. Sistemas	1.500,00	182,25	141,75	1.540,50	6.162,00
Construcción del Sistema de Alerta temprana						
1	Ing. Geólogo	1.800,00	218,70	170,10	1.848,60	7.394,40
3	Buzos especializados	6.000,00	729,00	567,00	6.162,00	24.648,00
2	Técnicos	1.500,00	182,25	141,75	1.540,50	6.162,00
TOTAL						68.192,80

Tabla 8: Costos por mano de obra directa

4.1.5 Costo de la inversión

Las cifras obtenidas son un aproximado que enmarca lo más real según el mercado actual, no obstante, se puede establecer que el costo aproximado total de la inversión asciende a los **USD 4,349,192.80 (Ver tabla 9)**

Costo total de la inversión	Dólares
Costos de equipamiento e instalaciones	4,220,000.00
Costos de construcción	129,192.80
TOTAL	4,349,192.80

Tabla 9: Costo de la inversión

4.1.6 Costo de mantenimiento

La **tabla 10** muestra los costos por mantenimiento de cada componente que conforman el sistema, para aprovechar al máximo el período de durabilidad proyectado. Estos costos no entrarían en la inversión inicial del proyecto y su total asciende a **USD 34,040.00**

Mantenimiento del equipamiento		Dólares
Bloque submarino		20,000.00
Boya		10,000.00
Repetidor submarino		8,000.00
Centro de Control	Computadora	6,000.00
	Servidor	5,000.00
TOTAL		49,000.00

Tabla 10: Costos por mantenimiento

4.1.7 Factibilidad del proyecto.

De acuerdo a los indicadores económicos y análisis de costos antes expuestos, se puede definir a la implementación de este sistema como un proyecto sin fines de lucro, por lo que la rentabilidad económica será cero y su rentabilidad será social.

Este proyecto sería factible contando con la inversión inicial del estado para su construcción e instalación, y con los desembolsos mensuales requeridos para mantener su funcionamiento en perfecto estado para que así éste pueda cumplir con su propósito principal, el cual es prevenir y alertar de manera oportuna sobre posibles catástrofes naturales a las poblaciones próximas a las costas ecuatorianas y de esta manera no incurrir en pérdidas humanas y disminuir en lo posible las pérdidas económicas.

La implementación de este sistema en el Ecuador contribuye con el desarrollo sustentable del país y de la sociedad. Es un sistema

inédito, el cual nos ayudaría a mantenernos en la vanguardia de tecnología de prevención con respecto a los países de Sudamérica.

Se estima una vida útil de 25 años para el sistema teniendo las instalaciones bajo el mantenimiento adecuado, lo cual ayudaría a brindar seguridad a los habitantes de las costas de Manabí. El proyecto presupuesta un costo de mantenimiento asequible y manejable por parte del estado.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Conclusiones

1. Nuestro sistema de alerta temprana de Tsunamis está basado en dos sistemas previamente diseñados, que son el DART II y DONET, sistemas con comunicación inalámbrica y óptica respectivamente.
2. El elemento más importante de nuestro sistema es el nodo submarino ya que se podría extender hacia nuevas localidades a través de nuevos tendidos de fibra óptica para abarcar una mayor área de estudio.
3. La rapidez y precisión del medio óptico del sistema de cables submarino PCCS vuelven de este nuestro enlace principal sin descartar un respaldo de dicha comunicación establecido por el enlace inalámbrico.
4. Este sistema se puede extender en base a la trayectoria del cable submarino existente siendo esta también una limitante o implicar tender un nuevo cable de acuerdo a las necesidades del estudio.
5. Nuestro Sistema también serviría como base para adición de instrumentos y equipos para el estudio del fondo marino y así crear una red de equipos submarinos.
6. El sistema de respaldo de baterías en el bloque submarino solo entraría a funcionamiento en el caso de un corte del cable submarino.
7. Nuestro sistema de alerta temprana de Tsunamis aparte de ser el primero en su clase implementado en el Ecuador, lograría ser bastante rentable a lo largo del tiempo para el servicio brindado ya que el mantenimiento de los equipos se realizaría una vez por año.

Recomendaciones.

1. Tanto las baterías del bloque submarino como de la boya deben tener mantenimiento periódico aproximadamente cada dos años.
2. Es indispensable que este sistema se conecte con otros existentes para aprovechar al máximo su funcionamiento y desempeño y compartir información de vital importancia con países vecinos.
3. Se recomienda un estudio de campo especializado previa la implementación del sistema.
4. Se propone una alianza estratégica con instituciones como el Instituto oceanográfico de la armada para la complementación científica en el presente proyecto.

BIBLIOGRAFÍA.

- [1] Energia Andina.(2013). Presentacion contenido educativo (1ra ed) [Online]. Disponible en:
http://www.energiandina.cl/downloads/animaciones/002_CFP.html.
- [2] D. Molina Farías, “Estudio de factibilidad para el alcantarillado pluvial “El Tilla” Cantón San Vicente y su aporte al desarrollo del sector,” Tesis de Ingeniería Civil, Unid. Académica de Ciencias Técnicas, Univ. Estatal de Manabí, Jipijapa, Manabí, Ecuador, 2015.
- [3] M. A. Cruz, “Riesgos por Tsunami en la Costa Ecuatoriana,” 2013.
- [4] V. Cuenca K. Valencia Pérez D. Mendoza Santana A. Sáenz Zambrano, “Tsunamis y tormentas a nivel global que influyen en las condiciones meteorológicas del Ecuador; otros fenómenos meteorológicos inversión, sublimación y tormentas,” , Fac. de Ciencias Agropecuarias, Univ. Laica Eloy Alfaro de Manabí, Ecuador, 2015.
- [5] W. J. Meyer, “Estrategia de la investigación descriptiva,” 2011.
- [6] Instituto Oceanográfico de la Armada del Ecuador INOCAR (2014).Generalidades y definiciones de los Tsunamis (1ra ed) [Online]. Disponible en: <http://www.inocar.mil.ec/web/index.php/que-son-los-tsunamis/70-generalidades-y-definiciones>.
- [7] Instituto Oceanográfico de la Armada del Ecuador INOCAR (2014).Origen de un Tsunami(1ra ed) [Online]. Disponible en: <http://www.inocar.mil.ec/web/index.php/que-son-los-tsunamis/71-origen-de-un-tsunami>.
- [8] INOCAR (2006), Aviso a los navegantes[Online]. Disponible en http://www.inocar.mil.ec/boletin/ALN/2006/ALN_122006.pdf.
- [9] Jeringas (Mayo 2013).Jeringas tsunami [Online]. Disponible en: <http://jeringas.wikispaces.com/file/view/TSUNAMIS.jpg/227521854/TSUNAMIS.jpg>.
- [10] Educando (2014).Educando tsunami o Maremoto (1ra ed) [Online]. Disponible en: <http://www.educando.edu.do/articulos/estudiante/tsunami-o-maremoto/>.

- [11] Boris Argandoña Castro (2009), "Matriz de Riesgo de Tsunami," Ciencia y Tecnología, [Online]. Disponible en <http://revistamarina.cl/revistas/2009/3/argandona.pdf>.
- [12] Instituto Oceanográfico de la Armada del Ecuador INOCAR (2014)., Clasificación y Propagación de los Tsunamis Tsunami (1ra ed) [Online]. Disponible en: <http://www.inocar.mil.ec/web/index.php/que-son-los-tsunamis/72-clasificacion-y-propagacion>.
- [13] Scientific American, "Scientific American," 1999.
- [14] Instituto Oceanográfico de la Armada del Ecuador INOCAR (2014).Eventos de Tsunamis en el Ecuador(1ra ed) [Online]. Disponible en: <http://www.inocar.mil.ec/web/index.php/que-son-los-tsunamis/73-eventos-en-el-ecuador>.
- [15] Byron R. Villamarin C., "Manual de Gestión de Riesgos Naturales y Antrópicos para la Fuerza Aérea Ecuatoriana", Instituto de Altos Estudios Nacionales (IAEN), Ecuador, 2013.
- [16] Google(2015).Google maps. [Online]. Disponible en: <https://www.google.com.ec/maps>.
- [17] Instituto Oceanográfico de la Armada del Ecuador INOCAR (2011). Derrotero de las costas Ecuatorianas [Online]. Disponible en: http://www.inocar.mil.ec/docs/derrotero/derrotero_cap_III.pdf.
- [18] INOCAR (2014). Tabla de mareas [Online]. Disponible en: <http://www.inocar.mil.ec/web/index.php/tabla-de-mareas>.
- [19] Bolívar Soledispa P (2011), Estudio de las Características Sedimentológicas de la Zona Costera frente al Balneario de Manta, Ecuador [Online]. Disponible en <http://simce.ambiente.gob.ec/sites/default/files/documentos/anny/ESTUDIO%20DE%20LAS%20CARACTERISTICAS%20SEDIMENTOL%C3%93GICAS%20DE%20LA%20ZONA.pdf>.
- [20] B. Z. y. M. F. Hector Ayón. "PROYECTO DE MANEJO DE RECURSOS COSTEROS,"1988.
- [21] UNESCOPRENSA (2003).El sistema de alerta contra los tsunamis del Océano Índico [Online]. Disponible en: http://portal.unesco.org/es/ev.php-URL_ID=33442&URL_DO=DO_TOPIC&URL_SECTION=201.html.

- [22] C. Pellerin, "Sistema de detección anticipada de tsunamis en el Caribe," *Servicio Noticioso, Washington, UEA*, vol. 1, nº 1, p. 1, 2007.
- [23] INOCAR (2013). Centro regional de información de tsunamis [Online]. Disponible en: <http://www.inocar.mil.ec/eimaga/index.php/centro-regional-de-informacion-de-tsunamis>.
- [24] Mediterráneo Señales Marítimas (2015), Sistema de Alerta Temprana de Tsunamis, España [Online]. Disponible en <http://mesemar.com/wp-content/uploads/2015/01/Folleto-Tsunamis.pdf>.
- [25] Mediterráneo Señales Marítima (2011). Sistema de Alerta Temprana de Tsunamis [Online]. Disponible en: <http://mesemar.com/wp-content/uploads/2015/01/Folleto-Tsunamis.pdf>.
- [26] NEPTUNE CANADA (10 Junio 2013). NEPTUNE CANADA [Online]. Disponible en: <http://www.neptunecanada.ca/about-neptune-canada/>.
- [27] JAMSTEC (2008). DONET system concept [Online]. Disponible en: <https://www.jamstec.go.jp/donet/e/donet/index.html>.
- [28] Indian Ocean Tsunami Warning System, IOTWS de EEUU, "Sensor de presión," *Guía de Referencia para Centros de Alerta de Tsunamis*, vol. 1, nº 26, p. 116, 2007.
- [29] Meted (2010). Guía de referencia para centros de alerta de tsunamis Cap. 3 [Online]. Disponible en: http://www.meted.ucar.edu/communities/hazwarnsys/twcr_g_es/Cap_3.pdf.
- [30] JAMSTEC (2012, Abril, 12). Tsunami Sensor off Muroto Cape [Online]. Disponible en: http://www.jamstec.go.jp/scdc/top_e.html.
- [31] JAMSTEC (2012, Abril, 12). Seismometer off Muroto Cape [Online]. Disponible en: http://www.jamstec.go.jp/scdc/top_e.html.
- [32] OceanWorks International (2015). Seafloor Networks-Subsea UPS [Online]. Disponible en: <http://www.oceanworks.com/our-business/oil-gas/seafloor-networks/>.
- [33] SIDMAR (2010). SIDMAR Módem Acústico Submarino AquaComm [Online]. Disponible en: <http://www.sidmar.es/>.

- [34] Alejandro Rodriguez, "Detalles sistema de Alimentacion," *Presentacion y Resumen de los Productos Geonica*, vol. 9992.0039, nº 22, p. 9, 2013.
- [35] Indian Ocean Tsunami Warning System, IOTWS de EEUU, "Boya de Superficie DART II," *Guia de Referencia para Centros de Alerta de Tsunamis*, vol. 1, nº 26, p. 114, 2007.
- [36] OceanWorks (2015). Cabled Ocean Observatories [Online]. Disponible en: <http://www.oceanworks.com/our-business/science-environmental/cabled-networks/>.
- [37] Cisco, "Data Sheet cisco Datasheet Cisco 3900," *Cisco Datasheet Cisco 3900 Series Integrated Services Routers*, Vols. 2C78-553924, nº 07, p. 1, 2013.
- [38] OCCENTUS your networks outsourcing company (2014). Cables enterrados bajo el mar [Online]. Disponible en: <https://www.occentus.net/2014/03/>.
- [39] Telefonica (2014). Telefonica-mapa red mundial. [Online]. Disponible en: <http://www.telefonica-wholesale.com/mapaFlash.html>.
- [40] Huawei Marine Networks (2015). Pacific Caribbean Cable System (PCCS) [Online]. Disponible en: <http://www.submarinecablemap.com/#/submarine-cable/pacific-caribbean-cable-system-pccs>.
- [41] Sea Risk Solutions LLC (2015). Cable submarino PCCS Ecuador Manta utions [Online]. Disponible en: http://www.searisksolutions.com/uploads/2/8/2/6/28265021/pccs_aruba_seg1_150423.pdf.
- [42] UIT-R, "Utilización del servicio móvil por satélite," *Utilización del servicio móvil por satélite para resúesta y socorro en caso de catastrofe*, vol. 1, nº M.1854, p. 5, 2010.
- [43] Indian Ocean Tsunami Warning System, IOTWS de EEUU, "Formato de datos DART," *Guia de Referencia para Centros de Alerta de Tsunamis*, vol. 1, nº 26, p. 150, 2007.
- [44] ESi2 , Tutorial de LabView, España [Online]. Disponible en <http://www.esi2.us.es/~asun/LCPC06/TutorialLabview.pdf>

- [45] National Instruments (2015). LabVIEW, National Instruments [Online]. Disponible en: <http://www.ni.com/labview/esa/>.
- [46] Indian Ocean Tsunami Warning System, IOTWS de EEUU, "Módem acústico y transductor," *Guia de Referencia para Centros de Alerta de Tsunamis*, vol. 1, nº 26, p. 117, 2007
- [47] Indian Ocean Tsunami Warning System, IOTWS de EEUU, "Guia de Referencia para Centros de Alerta de Tsunamis," vol. 1, nº 26, p. 127, 2007.

ANEXOS.

En el presente anexos están dispuestos data sheet y hojas de ayuda de los principales componentes del sistema.