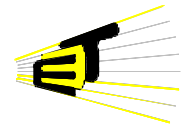


Facultad
de
Ingenierías
Físico
Mecánicas



Escuela de Ingenierías
Eléctrica, Electrónica y
Telecomunicaciones



**DESARROLLO DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO PARA EL
ALMACENAMIENTO, PROCESAMIENTO Y CONTROL DE CALIDAD DE
DATOS EN TIEMPO REAL PROVENIENTE DE MAREOGRAFOS PARA EL
CENTRO DE ALERTA DE TSUNAMIS**

Autor:

ESTHER GARCIA TORRES

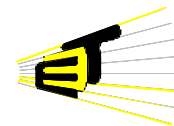
**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA**

2009

Facultad
de
Ingenierías
Físico
Mecánicas



Escuela de Ingenierías
Eléctrica, Electrónica y
Telecomunicaciones



**DESARROLLO DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO PARA EL
ALMACENAMIENTO, PROCESAMIENTO Y CONTROL DE CALIDAD DE
DATOS EN TIEMPO REAL PROVENIENTE DE MAREOGRAFOS PARA EL
CENTRO DE ALERTA DE TSUNAMIS**

Autor:

ESTHER GARCIA TORRES

**TRABAJO DE GRADO PRESENTADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERIA ELECTRÓNICA**

Director:

Ms JORGE HERNANDO RAMÓN SUAREZ

Codirectores:

CAP. RICARDO JOSÉ MOLARES BABRA

Phd. EFRAIN RODRIGUEZ RUBIO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA**

2009



La ejecución de este trabajo contó con el apoyo directo y la asesoría del Centro Control Contaminación del Pacífico (CCCP) adscrito a la Dirección General Marítima (DIMAR) a través del Área de Oceanografía Operacional, bajo la orientación del Capitán de Fragata Ricardo José Molaes Braba, Director del CCCP y el PhD. Efraín Rodríguez Rubio, Director de investigación del área Oceanografía Operacional.

*A Dios y a mis padres por darme la oportunidad
de adquirir conocimientos en el área que
siempre desee, confiar en mis capacidades y
darme fortaleza en los momentos que creí
desfallecer.*

*A mis hermanos y familia, que estuvieron
siempre paso a paso en mi crecimiento personal
y profesional.*

*A mis amigos y compañeros de clase, con los
que compartí gratos momentos en el paso por
esta academia, logrando un gran trabajo en
equipo que me llevó a comprender el verdadero
significado de amistad.*

AGRADECIMIENTOS

Al profesor **Jorge Ramón**, por confiar en mis capacidades académicas, dándome la oportunidad de demostrar lo aprendido en un gran reto profesional como lo fue el desarrollo de este proyecto.

Al Capitán **Ricardo Molares** por la oportunidad dada a través del desarrollo de este trabajo de grado, porque enriquecí mis conocimientos en un área diferente a la desarrollada en mis años de estudio universitario, como lo es el área de oceanografía, brindándome además oportunidades de aprendizaje y observación del territorio perteneciente a la región del pacífico colombiano.

A mis amigos de la escuela Luisa Pineda, Johanna Arias, Marcela Garcia, Jaqueline Sanchez, Martha Gutierrez, Luz Karine Sandoval, William Gonzales, Sergio Merchan y amigos de la junta CIEE 2007 y 2008, por todas las experiencias vividas y oportunidades dadas para crear grandes lazos de amistad.

A los grandes amigos que conocí en mi estancia en Tumaco, Ruby, Eliana, Yiyo, Miguel, Mayra, Alex, Hermes, Cesar, Juan, John y otros que en este momento paso por alto, por brindarme la oportunidad de crecimiento personal y acompañarme en todos los momentos de experiencia en esta gran oportunidad que me dio la vida.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
1 DESCRIPCIÓN GENERAL.....	2

2	MARCO TEÓRICO	4
2.1	MAREAS: ANÁLISIS Y MODELACIÓN	4
2.1.1	Teoría general de mareas	4
2.1.2	Componentes armónicos de las mareas.	6
2.1.3	Análisis armónico de los registros mareales y predicción de mareas.....	8
2.2	TSUNAMIS	9
2.2.1	Definición general de un tsunami	10
2.2.2	Generación, propagación y llegada a la costa de un tsunami	11
2.3	SISTEMAS DE DETECCIÓN DE TSUNAMIS	13
3	PLANTEAMIENTO GENERAL DEL PROBLEMA	17
4	PROPUESTA DE DISEÑO	18
4.1	SISTEMA GENERAL DE DETECCIÓN DE MAREAS	18
4.2	SISTEMA ELECTRÓNICO DE DETECCIÓN DE MAREAS	25
4.3	ALGORITMO PARA EL ALMACENAMIENTO, ANÁLISIS Y CONTROL DE CALIDAD DE LOS DATOS OCEANOGRÁFICOS.....	27
4.3.1	Transmisión de datos del sensor.....	27
4.3.2	Selección de tiempo de sensado.....	27
4.3.3	Análisis mareal	29
4.3.4	Almacenamiento y control de calidad de datos	32
4.4	VALIDACIÓN DEL ALGORITMO A TRAVÉS DE RESULTADOS EXPERIMENTALES	33
5	CONCLUSIONES	36
6	RECOMENDACIONES.....	38
7	BIBLIOGRAFÍA	39
8	ANEXOS.....	42

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1	Diagrama metodológico de desarrollo del proyecto.....	3
------------	---	---

Figura 2.1	Definición de mareas vivas y muertas	5
Figura 2.2	Características físicas de la onda de tsunami al arribo de la costa.....	11
Figura 2.3	Costas de Sri Lanka antes del Tsunami y disminución previa a la llegada del mismo el 26 de Diciembre de 2004.	13
Figura 2.4	Esquema de posibles esquemas de instalación del sensor de alta frecuencia en México	15
Figura 2.5	Esquema general del sistema DART	16
Figura 4.1	Esquema general del sistema desarrollado en la UDEA para el sensado de mareas.	19
Figura 4.2	Diagrama de flujo general del software “Tsunami Tidetest” desarrollado por el estudiante de la UDEA	22
Figura 4.3	Esquema general del sistema de detección de mareas para poblaciones alejadas	24
Figura 4.4	Resultados obtenidos con el muestreo mareal utilizando el SBE37 ...	28
Figura 4.5	Comparación del registro mareal utilizado para la obtención de componentes armónicas con la forma de marea obtenida utilizando los mismos.....	30
Figura 4.6	Comparación de los datos obtenidos a través de la función de series armónicas con los registros de marea	31
Figura 4.7	Diagrama de flujo general del algoritmo de detección de tsunamis	33
Figura 4.8	Resultado obtenido en la prueba de verificación del algoritmo elaborada en el muelle de Guarda Costas de Tumaco.....	34

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1	Principales componentes mareales de origen astronómico.....	7
-----------	---	---

Tabla 4.1 Principales características del sensor de presión SBE50 a utilizar en el proyecto.	20
Tabla 4.2 Comparación de características entre posibles tarjetas de desarrollo a utilizar para el sistema.	26
Tabla 4.3 Componentes armónicas obtenidas a través del software worldtides, utilizando 29 días de registros mareales.	30
Tabla 4.4 Banderas de calidad de datos oceanográficos según el Ocean Data View.	32

LISTA DE ANEXOS

Anexo A: Uso y operación del SBE50.	42
---	----

Anexo B: Código Fuente en Matlab del algoritmo de predicción de mareas.....	46
Anexo C: Código Fuente básico en C del algoritmo de predicción de mareas para la tarjeta Ethernut 3.0D	51

RESUMEN

TITULO:

DESARROLLO DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO PARA EL ALMACENAMIENTO, PROCESAMIENTO Y CONTROL DE CALIDAD DE DATOS EN TIEMPO REAL PROVENIENTE DE MAREOGRAFOS PARA EL CENTRO DE ALERTA DE TSUNAMI*

AUTOR:

Esther García Torres**

PALABRAS CLAVES:

Tsunami, marea, modelo armónico, mareógrafo

DESCRIPCIÓN:

La conmoción generada en los últimos años ante las víctimas y el desastre provocados por el fenómeno tsunami, ha estimulado a las naciones del mundo a crear entidades para la investigación y continua vigilancia de este tipo de eventos naturales desarrollando tecnología que garantice la preservación de vidas para las poblaciones aledañas a la costa en riesgo.

Este trabajo de grado tiene como objetivo dar una contribución en el desarrollo de sistemas de alerta de tsunami, que permitan prevenir a poblaciones en riesgo por este fenómeno, asumiendo como principales características del sistema autonomía, análisis en tiempo real y bajo costo del mismo, para que sea permisible su adquisición y puesta en funcionamiento sitios en riesgo con redes de comunicación insuficientes que impiden el conocimiento de la ocurrencia de este fenómeno a tiempo.

Se plantea el diseño y simulación computacional de un sistema de detección de mareas a través de la utilización de sensores de presión y su respectiva comparación de los valores mareales reales obtenidos con predicciones de marea provenientes a partir del modelo armónico mareal en tiempo real en un sistema electrónico embebido que genere una señal de alarma en caso de detectarse variaciones de marea que puedan ser catalogados como variaciones por arribo de olas tsunamigénicas.

SUMMARY

TITLE:

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Director: Ms Jorge Hernando Ramón. Codirectores: C.F. Ricardo Molaes, PhD. Efraín Rodríguez Rubio

DEVELOPMENT OF AN ELECTRONIC SYSTEM FOR STORAGE, PROCESSING AND DATA QUALITY CONTROL IN REAL TIME FROM TIDE GAUGES IN TSUNAMI WARNING CENTER.*

AUTHOR:

Esther Garcia Torres **

KEYWORDS:

Tsunami, tide, harmonic model, tide gauge

ABSTRACT:

The commotion generated in the last years by the victims and the disaster caused by the phenomenon tsunami, has stimulated the nations of the world to create organizations for the investigation and continuous monitoring of this type of natural events developed technology that guarantees the preservation of lives for the populations bordering to the coast in risk.

This work of degree has as objective give to a contribution in the development of systems of alert of tsunami, that they allow to alert to populations in risk by this phenomenon, assuming like main characteristics of the system autonomy, real time analysis and low cost of the same, so that it is permissible his acquisition and put into operation sites in risk with insufficient communications networks that in time prevent the knowledge of the occurrence of this phenomenon.

One considers the design and computer simulation of a system of detection of tides through the use of tide gauges and its respective comparison of the obtained real values with obtained predictions of tide from the mareal harmonic model in real time in an embedded system that generates a signal of alarm in case of detecting tide variations which variations by arrival of tsunamigenic waves can be catalogued as.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Director: Ms Jorge Hernando Ramón. Codirectores: C.F. Ricardo Molaes, PhD. Efraín Rodríguez Rubio

INTRODUCCIÓN

A lo largo de los años, los tsunamis se han convertido en una amenaza constante para la vida humana y las propiedades ubicadas a lo largo de la costa en los océanos del mundo. Solo desde 1850, los tsunamis generados anualmente han sido responsables de la pérdida de 420 mil vidas y billones de dólares en daños sobre las estructuras y hábitats a través del mundo [1].

El desastre ocasionado por el tsunami de Sumatra en diciembre de 2004 provocó una gran conmoción en las entidades internacionales, estimulando el interés por desarrollar métodos que permitan reducir el impacto en la sociedad global por este tipo de fenómenos, creando programas de estudio y prevención de riesgo.

Las costas del Océano Pacífico se encuentran en un alto grado de exposición frente al fenómeno tsunami, ya que cerca al litoral se encuentra la zona de subducción del Pacífico, colisionando allí las placas tectónicas Nazca y Suramérica, lo que conlleva a la necesidad de implementación de sistemas de detección de tsunamis a lo largo de este sector de la costa colombiana, que pueda ser adquirido por cualquier población aledaña y de esta manera lograr disminuir la pérdida de víctimas humanas en los lugares que puedan ser afectados por este fenómeno.

Este trabajo de grado propone el diseño de un sistema electrónico autónomo, robusto y de bajo costo, que permita realizar un análisis en tiempo real del nivel de la marea de la costa en la que se encuentra ubicado, con el fin de poder generar un aviso a la población cercana al sistema, en caso de existir en el océano una perturbación que pueda ser catalogada como una onda tsunami en la región de la costa pacífica.

1 DESCRIPCIÓN GENERAL

Para el desarrollo de este proyecto se toman los resultados obtenidos en el proyecto “Implementación de capacidades en comunicaciones, seguridad de la información y manejo de datos oceanográficos en el Centro Control Contaminación del Pacífico” [10], y a través de su análisis se elabora un plan de trabajo de este proyecto. Adicionalmente se realiza un estudio del comportamiento de las mareas en la bahía de Tumaco con el fin de tener una perspectiva de las necesidades del sistema inicial.

A través del análisis obtenido en los estudios, se realiza la búsqueda de los posibles elementos que pueden conformar el sistema de análisis y control de datos, entre los que se cuenta con los elementos ya seleccionados con anterioridad en la fase anterior, y las variaciones necesarias para la ejecución del mismo en diferentes zonas costeras del pacífico colombiano.

A continuación de la selección de equipos, se elaboran simulaciones en Matlab de algoritmos que permitirán cumplir con el objetivo general, el cual consiste en generar el diseño de un sistema que permita detectar variaciones de marea en zonas aledañas a la costa que puedan ser catalogadas como posibles tsunamis. Los resultados de esta simulación generan un preámbulo de la programación en lenguaje C.

En la figura 1.1 se muestra el diagrama de flujo desarrollado en el proyecto.

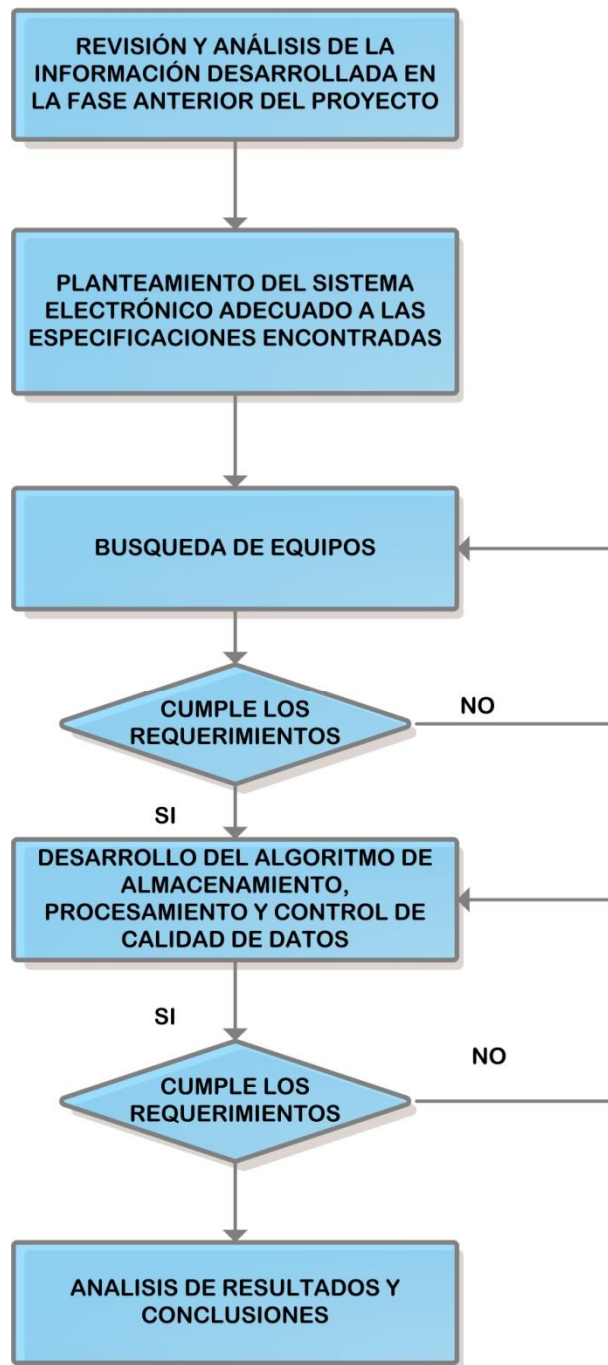


Figura 1.1 Diagrama metodológico de desarrollo del proyecto.

Fuente: el autor

2 MARCO TEÓRICO

2.1 MAREAS: ANÁLISIS Y MODELACIÓN

2.1.1 Teoría general de mareas

Los movimientos regulares de ascenso y descenso del nivel del mar se conocen como marea, los cuales se producen principalmente en forma periódica por los efectos de gravitación principalmente de la Luna y el Sol sobre el agua y la Tierra, generando elevaciones máximas y mínimas del nivel del mar llamadas pleamar y bajamar respectivamente. La atracción gravitatoria produce efectos de salientes en lados opuestos de la Tierra, en donde la fuerza gravitatoria es mayor en uno de sus polos [8]. Las variaciones de marea dada por este tipo de fuerzas se conocen como marea astronómica. El nivel del mar, a su vez, puede verse afectado por las tensiones tangenciales del viento y la presión atmosférica, conociéndose como marea meteorológica.

La posición del Sol y la Luna intensifican o disminuyen la marea (figura 2.1a). Cuando los tres el sistema Tierra- Sol- Luna está en línea recta, las mareas son grandes, dando origen a las mareas de sicigias o mareas vivas, siendo de mayor valor cuando Luna está más cerca de la tierra (perigeo, dado en fases de luna nueva o luna llena), y de menor valor en la mayor distancia entre la Luna y la tierra (apogeo, dado en fases de luna de cuarto menguante o cuarto creciente). Por otra parte, cuando la posición del Sol y la Luna forman un ángulo de 90° las fuerzas gravitatorias del Sol y la Luna se contrarrestan generando las mareas de cuadratura o mareas muertas (figura 2.1b).

Dependiendo del lugar de la tierra que se esté considerando, la altura de la marea será diferente, siendo determinada por la forma de la línea costera, la plataforma continental, la latitud y longitud del lugar, la cual puede variar considerablemente

de un lugar a otro, tal es el caso, mientras en la Bahía de Fundy en Nueva Escocia, Canadá, la amplitud de marea es de hasta 15 metros, la Bahía de Tumaco en Colombia puede alcanzar una variación de marea de hasta 4 metros.

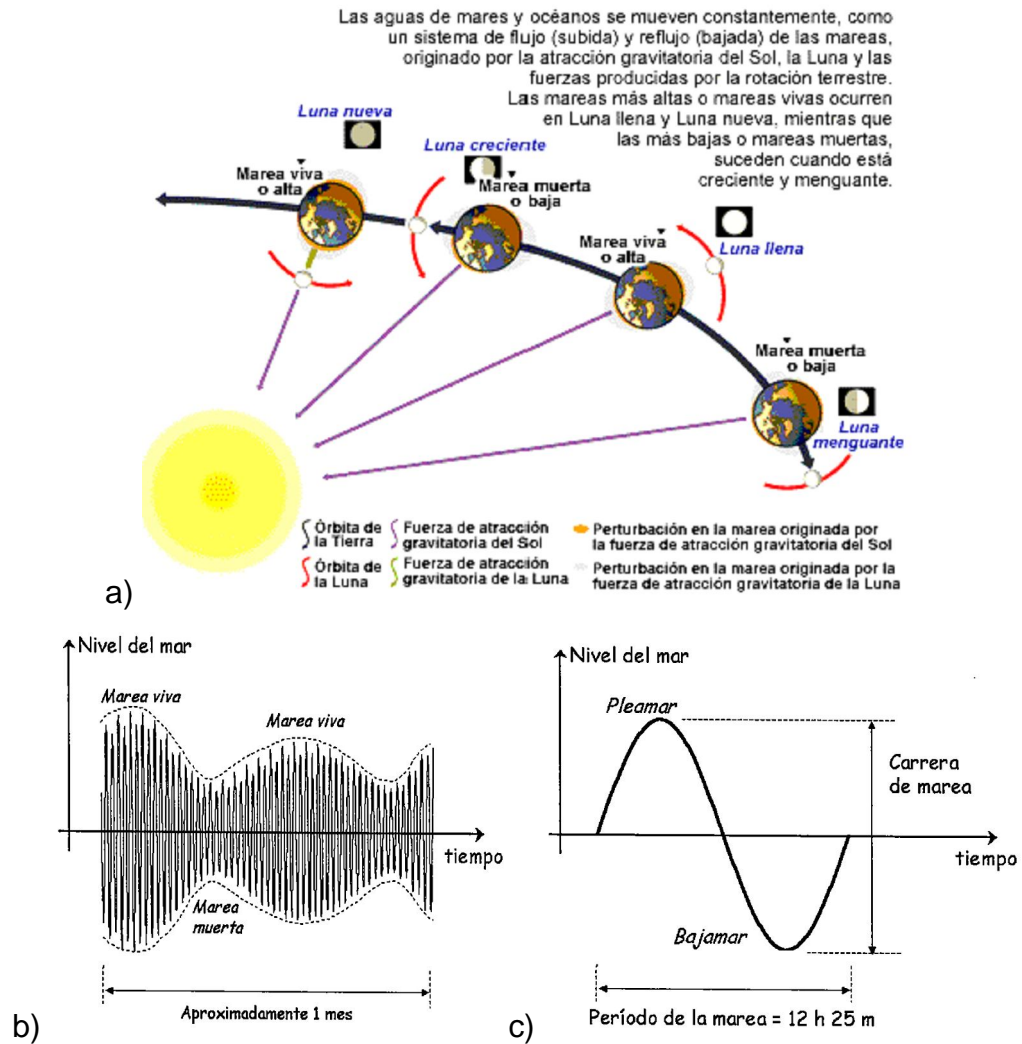


Figura 2.1 Definición de mareas vivas y muertas a) Efecto de las ondas gravitatorias en las mareas. b) Observación de las mareas en el período de un mes. c) definición de onda de marea. Fuente: [8] y [16]

Debido a la pendiente que presenta la órbita lunar, el carácter de la marea se ve afectado, manteniéndose semidiurna en las proximidades del ecuador, es decir, dos pleamares y dos bajamares, y convirtiéndose en diurnas en latitudes altas, es

decir, una pleamar y una bajamar diaria, dando lugar a las mareas mixtas con preferencia diurna o semidiurna en localizaciones intermedias.

En la Costa Pacífica Colombiana, por la proximidad con el Ecuador, se presentan mareas semidiurnas regulares, con un periodo aproximado de 12.25 horas. Cada quince días se presenta dos tipos de mareas alternados; el primer tipo presenta una variación de mareas pequeño, presentándose mareas menos altas y menos bajas denominadas localmente “quiebras”, estas corresponden a los periodos lunares de cuarto creciente y cuarto menguante; en el segundo tipo de mareas se presentan las mareas más altas y más bajas del mes, localmente denominadas “pujas”, las cuales se dan en las fases de Luna nueva y Luna llena [8].

2.1.2 Componentes armónicos de las mareas.

Al fenómeno de la marea astronómica se le dieron las primeras explicaciones científicas a través de la “teoría del equilibrio” de Newton (1686), en la cual se describe de forma adecuada las fuerzas que intervienen principalmente en la generación de mareas, pero su aplicación para predecir el nivel de marea en una localización específica genera resultados erróneos. Las deficiencias que se obtenían con esta teoría se superan a través de la “teoría dinámica” de Laplace (1749- 1827) en la que se hace consideración de la marea como una onda muy larga que se propaga por los océanos [5].

Debido a estas teorías, los investigadores trabajaron en el desarrollo de componentes periódicas de la fuerza gravitacional como forzamiento generador de la marea. Este propósito fue conseguido por los investigadores Darwin y Doodson, los cuales realizaron un análisis astronómico teniendo en cuenta los movimientos de la Tierra, el Sol y la Luna, a partir de la cual se determinó la frecuencia e importancia relativa de cada una de las componentes (Tabla 2.1), siendo de mayor

importancia, las componentes M2 (componente lunar principal) y S2 (componente solar principal).

Nombre	Símbolo	Período [h]	% de peso
Lunar principal	M2	12.42	100
Solar principal	S2	12.00	46.6
Elíptico lunar mayor	N2	12.66	19.2
Semidiurno luni-solar	K2	11.97	12.7
Solar elíptico mayor	T2	12.01	2.7
Solar elíptico menor	L2	12.19	2.8
Elíptico lunar 2° orden	2N2	12.91	2.5
Diurno luni-solar	K1	23.93	58.4
Diurno lunar principal	O1	25.82	41.5
Diurno solar principal	P1	24.07	19.4
Elíptico lunar mayor	Q1	26.87	7.9
Elíptico lunar menor	M1	24.84	3.3
Quincenal lunar	Mf	327.9	17.2
Mensual lunar	Mm	661.3	9.1
Semianual solar	Ssa	4383	8.0

Tabla 2.1 Principales componentes mareales de origen astronómico.

Fuente: [16].

A partir de las componentes principales es posible tener una descripción muy cercana de la marea, sin embargo, cuando la onda de marea se acerca a la costa, es necesario introducir una serie de componentes adicionales para una correcta descripción, cuyo origen fundamental se debe a efectos no lineales generados por profundidades reducidas y a la fricción que pueden clasificarse de la siguiente manera:

- Sobremareas o componentes superarmónicas: son originadas principalmente por las componentes armónicas M2 y S2, su velocidad

angular es un múltiplo exacto de las componentes armónicas que la originan, se tienen como componentes lunares M4, M6, M8,.. y componentes solares S4, S6, S8,...

- Mareas compuestas: originadas principalmente por las componentes armónicas M2 y S2, su velocidad angular es la suma o diferencia de dos o más componentes astronómicas. De mayor a menor importancia se tienen MS4, 2MS6, 2SM6 y 2MS2.

2.1.3 Análisis armónico de los registros mareales y predicción de mareas

Para poder realizar un análisis armónico de mareas de un sitio en específico, es necesario tener un registro de nivel del mar durante un período de tiempo, que permita obtener a partir de éste, el registro las amplitudes y fases de las ondas componentes en las frecuencias características por los armónicos astronómicos.

El método de obtención de las componentes armónicas mareales comúnmente utilizado es el propuesto por Dronkers (1964) y está basado en mínimos cuadrados [16]. Este método expresa que el nivel del mar con respecto a un nivel de referencia establecido en un tiempo t dado en formato horario, puede expresarse en función de una serie de m componentes armónicas tal que:

$$h(t) = h_0 + \sum_{j=1}^m R_j * \cos(\omega_j t - \phi_j) \quad [1]$$

donde: h_0 es la amplitud media del nivel del mar respecto a la referencia establecida; R_j y ϕ_j son la amplitud y la fase respectivamente de las componentes consideradas y ω_j su frecuencia angular. El valor de m depende de la precisión con la que se quiera determinar la marea. Este método pretende que la expresión se aproxime lo mejor que sea posible al registro medido.

En general se considera que un registro de 29 días es un periodo mínimo de tiempo necesario para realizar un análisis adecuado de la marea de un lugar específico, ya que con este periodo se obtendría una debida descomposición de las principales componentes armónicas mareales del sitio. Así mismo, se considera que 369 días es un múltiplo de mayor parte de los periodos sinódicos y por ello brinda una predicción mareal más detallada [16].

Actualmente existen una gran variedad de programas en diferentes lenguajes para el análisis y predicción de mareas tales como *gnotide* [4] y *worldtides* [2] [3], de uso libre investigativo, a través de éstos es posible obtener las componentes armónicas mareales de un lugar determinado al ingresar los datos de tiempo y nivel de marea del mismo, siendo esto una gran herramienta de desarrollo para el estudio de marea.

Igualmente hoy en día existen software de modelación hidrodinámica de uso investigativo, tales como el MOHID [12], que brindan la posibilidad comparar los valores de registro mareal que se obtienen a través de diferentes equipos con los datos obtenidos de la modelación mareal de los programas, brindando una mayor seguridad de una buena percepción del dato obtenido por los equipos de medición.

2.2 TSUNAMIS

Las costas del Océano Pacífico se encuentran en un grado significativo de exposición frente a un fenómeno natural tsunami, debido a la zona de subducción del Pacífico que se encuentra cerca del litoral, donde colisionan las placas tectónicas Nazca y Suramérica, pertenecientes al Cinturón de Fuego del Pacífico, que es la zona sísmica más activa del planeta. Durante los últimos años, la franja

sísmica Colombo- Ecuatoriana ha presentado una alta actividad sísmica, llevando a que se realicen numerosos estudios en sismología en este sector.

Los municipios del litoral sur del Pacífico, principalmente en los departamentos de Nariño, Cauca y Valle del Cauca, se encuentran en mayor grado de vulnerabilidad, siendo de todas las poblaciones el municipio de Tumaco el de mayor riesgo por su alta concentración de población y el tipo de construcciones presentes en gran parte del municipio, su directa exposición a un tsunami y su bajo relieve.

En el siglo pasado 4 sismos de considerable magnitud afectaron Tumaco, siendo generadores de tsunamis los de 1906, en el que se borro del mapa la población de Tumaco de ese entonces, y el de 1979, el cuál fue contenido en gran medida por los depósitos sedimentarios que conformaban la isla El Guano, y aún así borro del mapa la población de San Juan de la Costa, estimándose unas 500 personas fallecidas y 3000 viviendas afectadas a lo largo de estos 4 acontecimientos.

2.2.1 Definición general de un tsunami

Un TSUNAMI (del japonés TSU: puerto o bahía, NAMI: ola) es una conformación de ondas oceánicas generadas por perturbaciones fuertes en la corteza oceánica, las cuales al llegar a la costa pueden ocasionar efectos destructivos como pérdida de vida y daños materiales. Su generación puede ser debida a diferentes fuentes, tales como terremotos submarinos, ondas de presión debida a erupciones volcánicas, explosión de volcanes submarinos o deslizamientos de tierra. Las características desarrolladas por una onda tsunami dependen de su fuente generadora.

La mayor fuente de generación de tsunamis se ha dado por terremotos submarinos, tales como los presentados en 1906 (Colombia- Ecuador), 1960

(Chile), 1964 (Alaska), 1976 (Filipinas), 1998 (Papúa Nueva Guinea) y 2004 (Filipinas) [6].

2.2.2 Generación, propagación y llegada a la costa de un tsunami

La mayoría de los tsunamis se presentan por sismos a poca profundidad (a menos de 30km de la superficie) y magnitud superior a 7 en la escala de Richter. La fractura generada por el movimiento de las placas tectónicas produce movimientos verticales en la superficie oceánica transmitiendo energía al océano que se ve reflejada por ondas en el mar que se desplazan en alta mar con velocidades de hasta 900kms por hora.

La propagación de una onda tsunami desde su fuente se hace en todas direcciones, a gran velocidad y una altura menor a treinta centímetros, siendo estas diferenciadas de las olas oceánicas por su gran longitud de onda, que alcanza a ser de cientos de kilómetros.

A medida que el tsunami se acerca a la costa, la influencia de accidentes costeros tales como arrecifes, plataforma continental, islas, y ensenadas entre otros, cambian las características de las ondas (figura 2.2), disminuyendo su velocidad, aumentando su altura y variando su dirección de propagación por refracción o difracción.

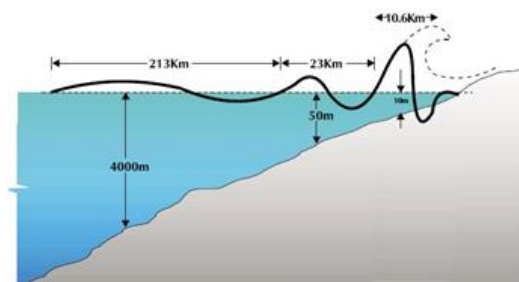


Figura 2.2 Características físicas de la onda de tsunami al arribo de la costa.

Fuente: [9]

Para considerar un sistema de alerta de tsunamis, es necesario clasificar los tsunamis en el arribo de la costa, según la distancia desde su lugar de origen, las cuales permiten hacer un cálculo estimativo del tiempo de desplazamiento. Su clasificación se da así [5]:

- Tsunamis locales: el sitio de generación de las ondas tsunami esta a una distancia menor a 1000km de la zona de impacto. Su generación se da generalmente por deslizamientos de tierra, terremotos o flujos piroclásticos de erupciones volcánicas. El tiempo de arribo a la costa puede darse desde pocos minutos hasta 4 horas.

- Tsunamis lejanos: el sitio de generación de las ondas tsunami se presenta a distancias mayores de 1000km de la zona de impacto. Terremotos de gran magnitud que logran liberar una gran cantidad de energía son las principales causas de generación de este tipo de tsunamis. El tiempo de arribo a la zona costera se puede dar en un tiempo de hasta de 22 horas.

Antes del arribo a la costa de un tsunami, se puede presentar un retiro súbito o disminución repentina del nivel del mar, esto debido a que en ocasiones la zona de fractura que se ha producido por el sismo genera un espacio de grandes dimensiones que tiende a ser ocupado por el mar, disminuyendo notoriamente el nivel del mar en la costa (figura 2.3). Otra posible causa de la disminución del nivel del mar en la costa a raíz de un tsunami es su disminución de velocidad a medida que se acerca a la costa, convirtiendo su energía cinética en potencial, comprimiendo la energía de la onda en una distancia y profundidad muy pequeña. Una vez dada la disminución del nivel del mar en la costa, las ondas tsunamis pueden presentarse como una marea creciente o como el avance de una pared turbulenta destructiva.



Figura 2.3 Costas de Sri Lanka antes del Tsunami y disminución previa a la llegada del mismo el 26 de Diciembre de 2004. Fuente: DigitalGlobe

2.3 SISTEMAS DE DETECCIÓN DE TSUNAMIS

Debido a los grandes desastres que se han producido a lo largo de los años por tsunamis, se ha venido creando diferentes asociaciones a lo largo del mundo con un objetivo común, disminuir las cifras de mortalidad por causa de este fenómeno. La primera asociación creada para esta causa es el Pacific Tsunami Warning Center (PTWC), establecida a partir de 1946 en Hawaii con el fin de detectar y alertar posibles tsunamis que afectarían las costas de los Estados Unidos. A partir de 1960, debido al tsunami producido por un sismo en las costas de Chile que causó la muerte de cientos de personas en Hawaii y Japón se generaron dos cuerpos internacionales, gubernamental y científico, cuyo objetivo era proporcionar alertas lejanas a las naciones costeras del Océano Pacífico, convirtiéndose el PTWC como centro de operaciones de este sistema.

Los sistemas de detección de tsunamis se basaban inicialmente en la percepción del sismo y la toma de decisiones a través de la forma del mismo, provocando en repetidas ocasiones una falsa alerta de tsunamis y con ellas millonarias pérdidas y la disminución de credibilidad del centro de alerta.

Para disminuir los efectos producidos por falsas alarmas, la comunidad científica ha desarrollado tecnología que puede generar mapas de inundación por tsunamis, los cuales proporcionan información necesaria para la generación de planes de emergencia local, que incluyen procesos de evacuación y planes de recuperación ante estos fenómenos. La generación de mapas ha tenido gran acogida por los países a nivel mundial, incluyendo Colombia a través del CCCP, se ha generado poco a poco mapas de inundación que permitirán establecer zonas seguras para las poblaciones de cada zona del país, a través del desarrollo de planes locales de contingencia.

Aunque el monitoreo de sismos marítimos ofrecen una idea de la generación de posibles tsunamis, no dan información sobre un tsunami en sí. Esta dificultad provocó el desarrollo de instrumentación electrónica avanzada para la colección de datos y las comunicaciones de alerta en tiempo real.

A modo individual, los países con riesgo de tsunami han ido desarrollando el fortalecimiento de sus redes mareográficas con el fin de observar en tiempo real, los niveles de marea de la costa, y así tener una vigilancia permanente y en tiempo real ante un posible arribo de olas de tsunami a la costa.

Países como México, a través del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE) y la Secretaría de la Armada de México en colaboración con la NOAA, instalaron a partir de 1992 tres (3) mareógrafos con transmisión en tiempo real, y en 2004 fue puesto en operación un sensor de nivel de mar de alta frecuencia (figura 2.4) con transmisión de tiempo real vía internet actualizado cada minuto, siendo este el prototipo base para la instalación de una red que integraría el sistema de alerta temprana de tsunamis en México [7].

Chile por su parte, a través del Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA), dispuso una serie de sensores ubicados a lo largo de Chile a nivel del mar y un sensor a mar abierto que envía una señal satelital ante detecciones de variación del nivel del mar mayores a 1 centímetro.

En Colombia, el Centro Control Contaminación del Pacífico(CCCP), ha trabajado de manera conjunta con la Comisión Colombiana del Oceano(CCO) y el IDEAM para crear estrategias que permitan generar alarmas oportunas ante el fenómeno tsunami, por tal razón se creó en el CCCP el Centro Nacional de Alerta de Tsunami, buscando mecanismos que permitan proveer información oportuna y de calidad para la generación de reportes que permitan dar aviso acerca de algún suceso que pueda desencadenar un evento de sismo- tsunami, tales como la implementación de mareógrafos a lo largo del pacífico colombiano, así como también el desarrollo de un sistema prototipo para la adquisición y análisis del comportamiento de la marea en tiempo real [11].

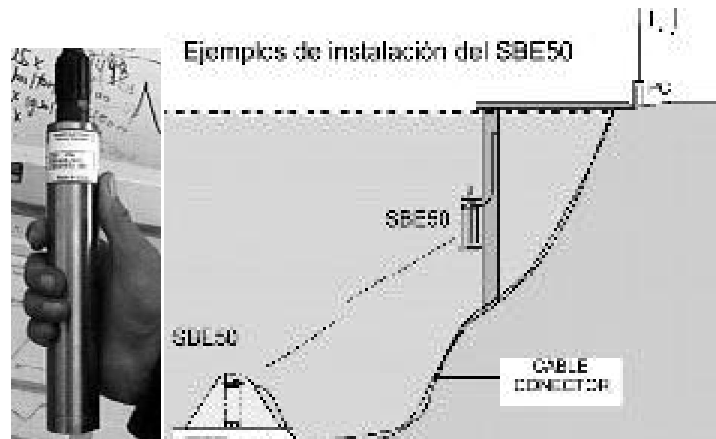


Figura 2.4 Esquema de posibles esquemas de instalación del sensor de alta frecuencia en México. Fuente [7].

Uno de los proyectos visionarios de mayor desarrollo en sistemas de detección temprana de tsunamis son las estaciones en mar abierto para evaluación y reporte de Tsunami (DART[®], por su siglas en ingles), desarrollado por la Nacional Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), como parte del programa de Disminución

de riesgos por tsunamis en Estados Unidos. Consiste en un sistema que utiliza un registro de presión del fondo (BPR, por sus siglas en inglés) recolectando datos cada 15 segundos y con capacidad de detectar y medir ondas de tsunami de 1cm de amplitud a 6000m de profundidad, la transmisión de datos se realiza por módems acústicos a una boya en la superficie, que a su vez los transmite a una estación vía satélite (figura 2.5). Este sistema inició con la operación de 6 boyas en las costas de Estados Unidos, expandiéndose hasta marzo de 2008 a un total de 39 estaciones distribuidas en el mundo [13].

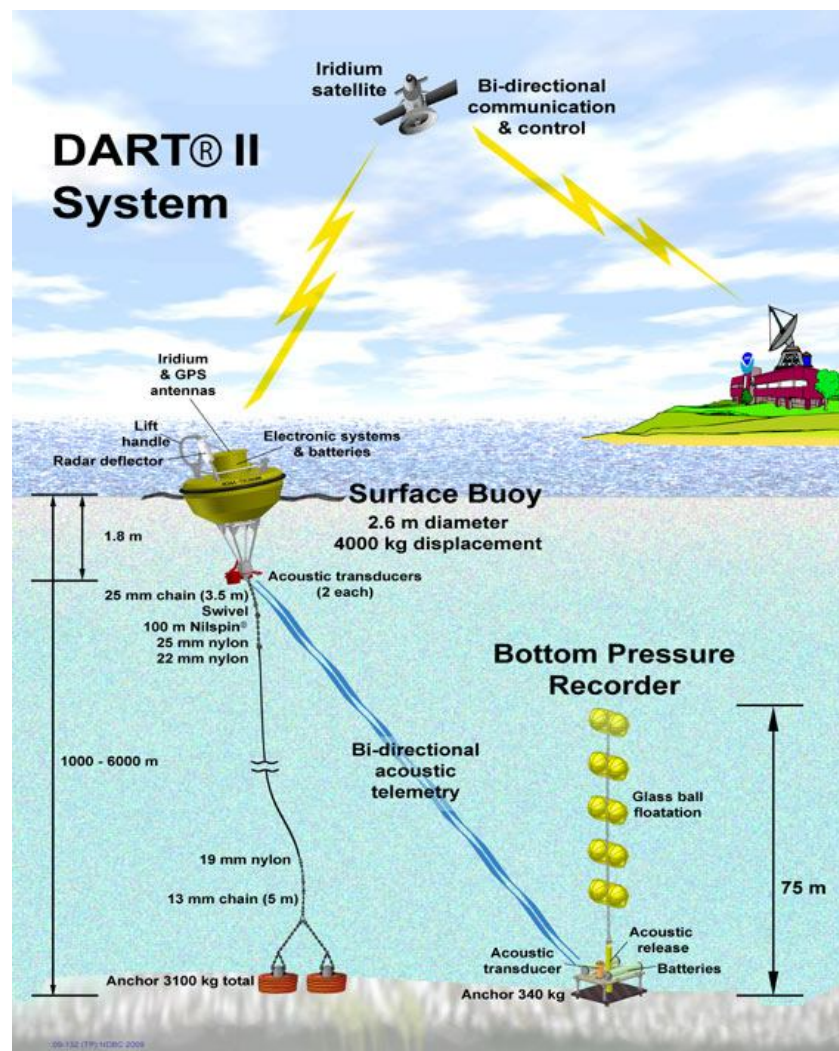


Figura 2.5 Esquema general del sistema DART. Fuente [13]

3 PLANTEAMIENTO GENERAL DEL PROBLEMA

Ante los devastadores efectos del fenómeno tsunami a lo largo del mundo en las últimas décadas, los países del mundo se han preocupado generar instrumentos de alta confiabilidad que permitan generar un aviso temprano de peligro a la población. Sin embargo, la tecnología y estudio de eventualidades de tsunami en centros de investigación no es suficiente para dar alerta a toda la población en peligro por tsunami, ya que existen sitios a lo largo del pacífico colombiano que no poseen una red de comunicaciones que le permita tener acceso a la información de los centros de reporte a tiempo, generando así la necesidad de estudiar alternativas que permitan un monitoreo permanente en tiempo real que generen alerta en caso de un posible suceso a estas poblaciones. Teniendo en cuenta que el costo comercial y mantenimiento de un sistema ya elaborado es elevado para la población, imposibilitando así su obtención, se ha propuesto elaborar un sistema de detección de tsunamis de bajo costo. El desarrollo de este sistema inició con el apoyo de la Universidad de Antioquia, obteniendo grandes avances en la su etapa preliminar.

Dado que en el desarrollo del sistema de detección de tsunamis se busca reducir costos, en este trabajo de grado se plantea el diseño un dispositivo electrónico robusto, autónomo y económico que elimine la necesidad de transmisión de datos y la utilización de un computador para el análisis de los mismos, desarrollando en el punto de ubicación del sensor, un análisis de los datos en tiempo real de la marea, almacenando los datos por determinados periodos de tiempo, y generando una alerta indicadora de detección de un tsunami a la población cercana de la costa donde se ha dispuesto el dispositivo.

Este dispositivo será implementado inicialmente en el municipio de Tumaco (Nariño) con el fin de ser utilizado como prueba piloto del sistema, para ser implementado posteriormente a lo largo de la costa pacífica de Colombia.

4 PROPUESTA DE DISEÑO

A lo largo de este capítulo se describirá a manera detallada, las etapas para la consecución de los objetivos planteados, iniciando con el análisis del proyecto “Implementación de capacidades en comunicaciones, seguridad de la información y manejo de datos oceanográficos en el Centro Control Contaminación del Pacífico”, elaborado como fase anterior a este trabajo por la Universidad de Antioquia, y planteando la variación adecuada al sistema de detección de mareas de acuerdo a las necesidades establecidas, con la selección de los equipos adecuados, y proponiendo finalmente el algoritmo de detección de mareas para el nuevo prototipo.

4.1 SISTEMA GENERAL DE DETECCIÓN DE MAREAS

De acuerdo con los avances obtenidos en el trabajo de manejo de datos oceanográficos en el CCCP realizado por la Universidad de Antioquia, se consideró como meta, el diseño de un sistema de sensado de mareas ubicado en el muelle de Guarda Cosas de Tumaco (figura 4.1), a través del cual se podría tener un monitoreo nivel de marea de la costa y generar señal de alarma en el Centro Nacional de Alerta de Tsunami (CNAT) para su respectiva revisión. Este sistema según el diseño obtenido, estaría compuesto por las etapas:

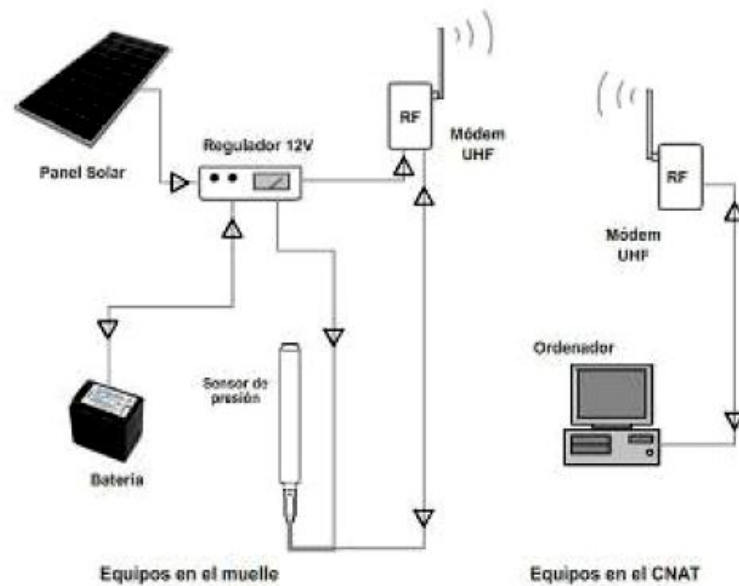


Figura 4.1 Esquema general del sistema desarrollado en la UDEA para el sensado de mareas. Fuente: [10].

1. Sensado de la altura de la marea a través de un sensor de presión: para ésta se consideraba la adquisición del equipo de medición de presión SBE50, que presenta características tales como bajo costo y buen desempeño, además de ser uno de los sensores actualmente utilizados por el CISESE para sus mareógrafos en los centros de observación de tsunamis. Sus características principales son presentadas a continuación en la tabla 4.1.

SBE50	
Marca	Sea Bird
Sensor	Presión
Puerto	Serial (DB9)
Protocolo de transmisión	RS-232 (Full Duplex)
Velocidad de transmisión	Configurable de 600 hasta 38400 baudios por segundo

Rango	0-20 [m]
Presión inicial	2 [cm]
Resolución	0,04 [cm]
Máxima frecuencia de muestreo	16 [Hz]
Memoria	No posee
Baterías	No posee
Reloj	No posee
Alimentación externa	8-30 [VDC]
Peso	0,7 [kg]
Precio en dolares	\$ 2.765

Tabla 4.1 Principales características del sensor de presión SBE50 a utilizar en el proyecto. Fuente: [10].

2. Transmisión de datos: Se planteaba la utilización de módems UHF Spread Spectrum en la banda libre de 900MHz, debido a que de este método de transmisión presenta la disminución de la pérdida de datos por interferencia, el consumo de energía es menor y el ancho de banda requerido para la transmisión de datos en tiempo real es mínimo, así como también la línea de vista que se tiene del punto de ubicación del equipo con el CCCP donde se recibirían los datos, por tanto, el equipo seleccionado para este fin es el SPECTRA920A, cuyas características se presentan a continuación en la tabla 4.2:

SPECTRA920A	
Marca	Microhard Systems Inc
Frecuencia	902- 928 MHz
Método de ensanchamiento	Frecuency Hopping
Detección de errores	32 bits de CRC, ARQ

Alcance	100Km
Sensibilidad	-116dBm @ 19.2kbps
Potencia de salida	100mW- 1W
Alimentación	9- 30 VDC
Consumo	ITX= ~350mA @ 12V
Interface serial	RS-232/RS485/RS422
Velocidad de transmisión	300bps a 230.4kbps
Modos de operación	Point-to-Point, Point-to-Multipoint, Store y Forward Repeater, Peer-to-Peer, TDMA, Multimaster.
Conectores	Antena: RP-TNC Hembra Datos: DN9 Hembra Diagnostico RJ45

Tabla 4.2. Características principales del modem UHF SPECTRA920A.

Fuente: [10]

3. Alimentación de equipos ubicados en el muelle: debido a la necesidad de proporcionar energía a los equipos de sensado de manera permanente para garantizar la disponibilidad del sistema, se realizó una evaluación de suministro de energía a través de celdas fotovoltaicas teniendo en cuenta el consumo de energía de los equipos que compondrían el sistema completo. El sistema de alimentación estaría compuesto por:
 - Paneles solares de 12V/ 20W o superior
 - Regulador de voltaje de 12V/5A o superior
 - Batería seca de plomo- ácido de 12V/18Ah o superior

4. Procesamiento de la información: para el procesamiento de los datos se creó la interfaz gráfica en Matlab “Tsunami Tidetest”, cuyo diagrama de flujo

general del software se presenta en la figura 4.2. Este programa compara los datos obtenidos por el sensor seleccionado con los datos de predicción del IDEAM que son previamente interpolados cúbicamente para poder graficarlos. El programa grafica y almacena la información obtenida en una base de datos MySQL, con las debidas normas de almacenamiento de datos oceanográficos y emite señales de alerta sonoras ante comportamientos inesperados de nivel de marea, tales como descensos de nivel de marea en las costas.

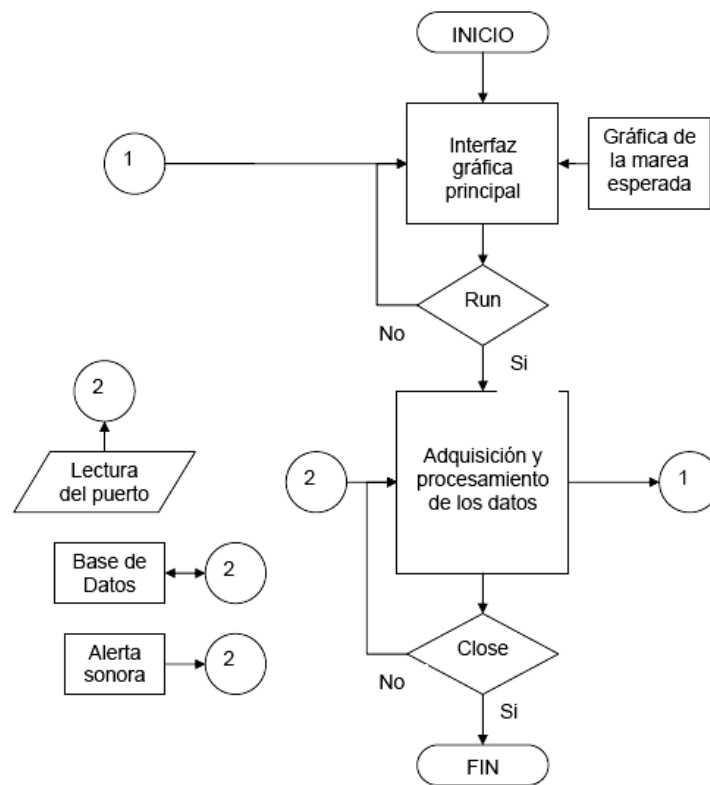


Figura 4.2 Diagrama de flujo general del software “Tsunami Tidetest” desarrollado por el estudiante de la UDEA. Fuente: [11].

En el análisis de resultados que se obtenidos en el diseño elaborado por la UDEA en la comprobación experimental, se probó la eficiencia del software con el sensor SBE37, que presenta características similares al sensor seleccionado para el sistema, ya que en el término de finalización de este proyecto no se había hecho

efectiva la entrega de los equipos seleccionados. Para el desarrollo de las pruebas se ubicó el sensor en el muelle, adherido a uno de sus pilotes, una profundidad aproximada de 6 metros, operando el software durante un periodo continuo de 30 horas continuas. Los resultados de mayor relevancia que se tuvieron en cuenta, para el planteamiento de la variación adecuada al sistema, para el diseño del nuevo prototipo, de acuerdo a las necesidades establecidas fueron:

- Durante un periodo aproximado de 50 segundos no se recibieron datos del sensor, aún así el programa no presento fallas y continuó con su operación.
- Al observar la comparación gráfica que realiza el software de la marea sensada con la gráfica de pronóstico de marea realizada con datos del IDEAM, se encontró que existe consistencia entre las formas de marea de los dos tipos de datos, sin embargo, debido a que la tabla de predicción de mareas del IDEAM contiene únicamente las horas y nivel de marea de bajamar y pleamar para elaborar su gráfica, realiza interpolación.
- Ante simulaciones de evento de cambio inesperado de nivel de marea, el sistema activo las alertas sonoras de manera adecuada, observándose un tiempo de estabilización alto del sensor, cuando este se somete a variaciones fuertes de profundidad.

Partiendo del análisis anterior, se consideraron las siguientes mejoras del sistema propuesto:

- Teniendo en cuenta que el software desarrollado no exige grandes exigencias de capacidad de Hardware y Software, es posible reemplazar el computador por un dispositivo portable y de menor costo, cumpliendo con los requerimientos de bajo costo del sistema, autonomía y eficiencia del mismo.

- Aunque existe consistencia en los datos de las tablas del IDEAM y los sensores, este método proporciona ineficiencia al sistema general, ya que estos datos son anuales, lo que conllevaría a la variación de datos de predicción en el programa en igual periodo. Este inconveniente puede ser solucionado a través del análisis armónico de registros de marea, calculando los datos de predicción con valores de tiempo real del instante.
- Es necesario considerar, que puede existir poblaciones donde sea indispensable a futuro implementar el sistema, que no cuenten con un muelle o estructura rígida donde situar el sensor, esta situación se ve solucionada con la utilización de antenas omnidireccionales instaladas en las boyas que se utilizarían para la ubicación del sensor.

Teniendo en cuenta lo anterior, se obtiene el nuevo esquema del sistema de detección de mareas (figura 4.3), aplicable para poblaciones de zonas alejadas, tal como se plantea en el objetivo principal de este trabajo tal como se muestra a continuación:

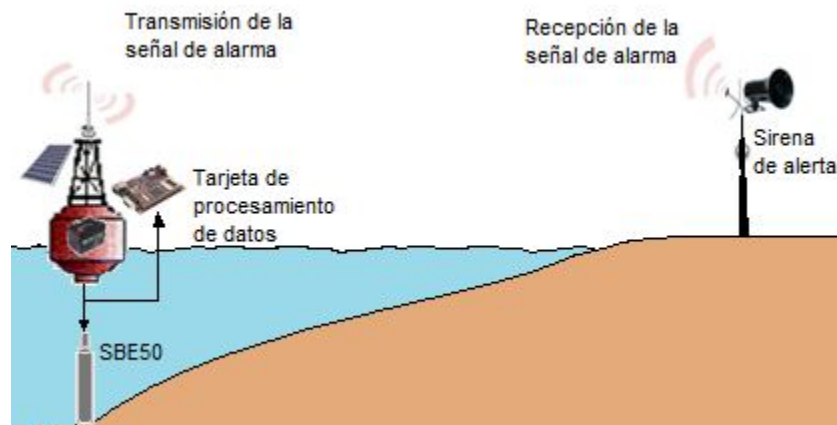


Figura 4.3 Esquema general del sistema de detección de mareas para poblaciones alejadas. Fuente: el autor

4.2 SISTEMA ELECTRÓNICO DE DETECCIÓN DE MAREAS

Teniendo en cuenta las consideraciones que se tomaron al estudiar los avances obtenidos en el diseño del sistema propuesto anteriormente, se encontró que el dispositivo electrónico a utilizar para este sistema debía tener de manera indispensable las siguientes características:

- 2 puertos RS232, esto debido a que tanto el sensor como el modem de transmisión de datos utilizan este tipo de conectores.
- Reloj de tiempo real, necesario para la predicción de la marea en tiempo real.
- Capacidad para almacenamiento de datos ya sea interno en el dispositivo o de manera externa, para poder obtener así los datos procesados en la tarjeta en periodos de tiempo que decida el usuario.
- Posibilidad de alimentación a 12V, ya que todos los demás equipos del sistema utilizan este valor de tensión de alimentación.

Ante estas necesidades del sistema se tuvieron en cuenta diferentes tarjetas de desarrollo, cuyas características se encuentran contrastadas a continuación en la tabla 4.3 a continuación:

Característica	M5213EVBE	ECB AT91 V1	Ethernut 1.3H	Ethernut 3.0D
Tamaño	89 x 140 mm	85 x 77 mm	78 x 98 mm	80 x 100 mm
μcontrolador o procesador	MCF5213 CPU	Atmel AT91RM9200	ATmega 128 RISC	ARM7TDMI RISC
Puerto Ethernet	-	Full duplex IEEE 802.3 compliant 10/100 Mbps	Full duplex IEEE 802.3 compliant 10 Mbps	Full duplex IEEE 802.3 compliant 10/100 Mbps
Puertos seriales	Tres puertos	2 puertos	Dos puertos	Dos puertos

	seriales RS-232	seriales RS-232	seriales, uno RS-232, uso del segundo puerto a través de un cable especial	seriales, uno RS-232, uso del segundo puerto a través de un cable especial
Puerto de expansión	No posee	SD/MMC	No posee	SD/MMC
Flash ROM	256KByte on-chip	2 MBytes	128 kByte in-system	4 MByte in-system
EEPROM	-	-	4 kByte in-system	512 Byte in-system
SRAM	32KByte (on-chip)	Hasta 64 MB de SDRAM	32 kByte external	256 kByte
Contadores de tiempo	-	-	Dos de 8-bit y dos de 16-bit	Tres de 16-bit
Reloj de tiempo	-	Cristal de referencia de 8MHz	32MByte (cristal adicional)	Real time clock con dos alarmas
Alimentación	9-25 VDC		9-12VDC	DC 5-24VDC
Precio	US\$299 (~=\$590 000)	~=\$500 000	€ 115 (~=\$350 000)	€ 175 (~=\$532 600)

Tabla 4.2 Comparación de características entre posibles tarjetas de desarrollo a utilizar para el sistema. Fuente: el autor

De acuerdo con las características presentadas en la tabla anterior, se llegó a la conclusión que la tarjeta de desarrollo que más se ajustaba a las necesidades del sistema es la Ethernut 3.0D¹, ya que cuenta con las especificaciones previamente establecidas que permiten lograr un correcto funcionamiento del sistema, además de estar relacionada con un sistema operativo de software libre llamado NUT/OS²

¹ <http://www.ethernut.de/en/hardware/enut3/index.html>

² http://www.ethernut.de/nutwiki/Ethernut_3.0_E

4.3 ALGORITMO PARA EL ALMACENAMIENTO, ANÁLISIS Y CONTROL DE CALIDAD DE LOS DATOS OCEANOGRÁFICOS

Para el diseño del algoritmo final, se realizó un estudio de las componentes que debía tener la programación, dividido por las siguientes etapas:

- Transmisión de datos del sensor.
- Selección de tiempos de sensado.
- Análisis mareal.
- Almacenamiento de datos.

4.3.1 Transmisión de datos del sensor.

Esta etapa inició con la revisión de su hoja de datos del mismo, en ella se revisó la operación y utilización del mismo [[Anexo A](#)], comprobándose el modo de operación a través de la conexión del sensor a un computador enviando comandos al equipo con el *hyper terminal* del computador. En el desarrollo de esta prueba se observó que cuando el sensor trabaja en modo autónomo en su formato por defecto, este entrega un dato de valor ASCII equivalente a un valor de presión en decibars con cuatro (4) cifras significativas.

4.3.2 Selección de tiempo de sensado

Para poder determinar el tiempo de sensado requerido en el sistema, se realizó una prueba experimental de toma de datos (figura 4.4), en el que se utilizó el sensor SBE37, que es un sensor con memoria interna, realizando un muestreo en

un período de 6 días, con intervalos de muestreo de profundidad cada diez segundos.

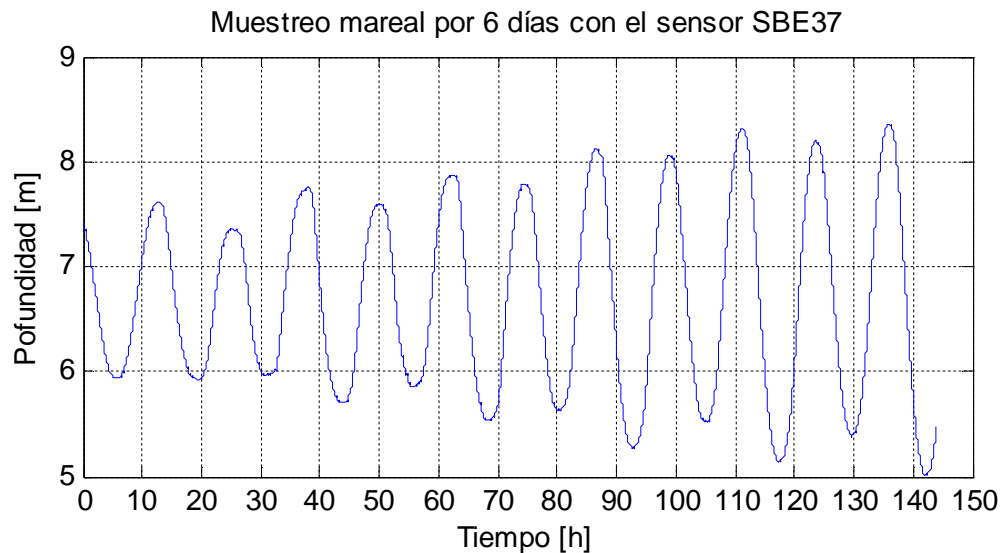


Figura 4.4 Resultados obtenidos con el muestreo mareal utilizando el SBE37.

Fuente: el autor

Teniendo en cuenta los resultados experimentales obtenidos en las pruebas de muestreo utilizando el sensor SBE37, se observó que existen variaciones considerables de marea cada 30 segundos aproximadamente, por lo que se consideró que el software mientras exista variaciones normales del nivel del mar este podría ser el tiempo de muestreo y comparación de datos con la predicción.

Así mismo se consideró también, que un muestreo cada 10 segundos por el término de un minuto se considera el tiempo necesario para detectar una perturbación que puede considerarse onda tsunami, esto debido a que ondas de perturbación generadas por paso de lanchas o cualquier otro elemento que varíe temporalmente el mar tienen un período menor a un minuto antes de extinguirse.

Al realizar el respectivo análisis a las pruebas de muestreo, se observó que existen variaciones considerables de marea cada 30 segundos aproximadamente,

por lo que se consideró que el software mientras exista variaciones normales del nivel del mar este podría ser el tiempo de muestreo y comparación de datos con la predicción.

Así mismo se consideró también, que un muestreo cada 10 segundos por el término de un minuto se considera el tiempo necesario para detectar una perturbación que puede considerarse onda tsunami, esto debido a que ondas de perturbación generadas por paso de lanchas o cualquier otro elemento que varíe temporalmente el mar tienen un periodo de extinción menor a este tiempo.

4.3.3 Análisis mareal

La bahía de Tumaco tiene una base de datos de registro mareal de 50 años, y a través de estos datos obtenidos en este período de tiempo, se han obtenido los valores de componentes armónicas de este lugar, utilizando diferentes programas adecuados para la obtención de los mismos, generando una predicción mareal de gran aproximación a la marea real con las componentes mareales obtenidas. Sin embargo, no se tienen este mismo tipo de registros de marea a lo largo de la costa pacífica, haciendo necesario la obtención de componentes mareales principales a través de registros cortos, no menores a 29 días.

Para el análisis mareal realizado en este proyecto, se tomó el registro mareal de 29 días obtenido a través del mareógrafo ubicado en el muelle de Guarda Costas, el cual tiene un intervalo de muestreo de dos (2) minutos. Para adquirir las componentes armónicas del registro mareal, se utilizó el software *worldtides* [3], seleccionando en el mismo las componentes armónicas de interés. Una vez seleccionadas las variables, el software arroja la comparación de la marea registrada, con la que se obtiene utilizando las componentes armónicas obtenidas (figura 4.5), observando la consistencia de las mismas, el software utilizado

genera valores de amplitud, fase y frecuencia de las componentes armónicas seleccionadas y se muestran a continuación en la tabla 4.3.

Componente	Amplitud [m]	Fase [°]	Frecuencia [°/h]
M2	1.23999145	48.8662773	28.9841042
S2	0.40352744	172.0575400	30.0000000
K2	0.16217870	349.6396400	30.0821373
N2	0.29684597	304.4435730	28.4397295
Q1	0.00600376	273.0827800	13.3986609
O1	0.02368328	306.9195910	13.9430356
P1	0.05791740	323.8889160	14.9589314
K1	0.09949802	353.3071540	15.0410686
M4	0.01608095	121.9749350	57.9682084
MS4	0.00447416	208.0235050	58.9841042
M6	0.00285599	59.9200829	86.9523127

Tabla 4.3 Componentes armónicas obtenidas a través del software worldtides, utilizando 29 días de registros mareales. Fuente: el autor

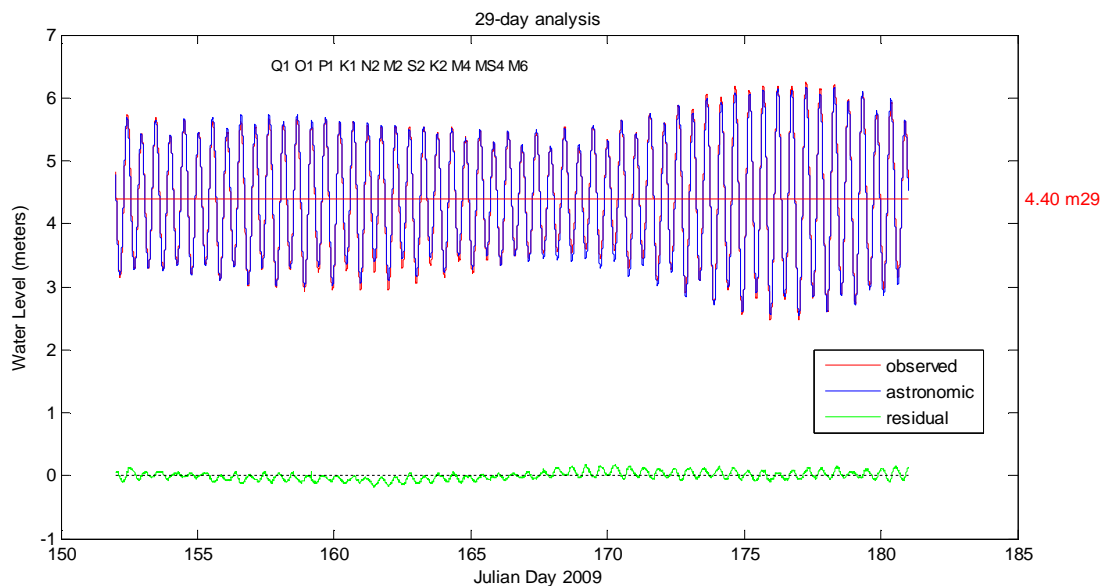


Figura 4.5 Comparación del registro mareal utilizado para la obtención de componentes armónicas con la forma de marea obtenida utilizando los mismos.

Fuente: el autor

Debido a que cada software de modelación de mareas, que permite obtener las componentes armónicas mareales, utiliza un determinado tiempo de inicio en la función serial de componentes armónicas, se realizó la verificación de tiempo de inicio utilizado en el software, en el que se encontró que el tiempo cero (0) de inicio de análisis es la media noche del 30 de diciembre de 1899.

Tomando como referencia este valor, se plantea la función serial de componentes armónicas de la ecuación [1], utilizando como tiempo de referencia datos de tiempo en los que se tiene registro mareal, para poder así comparar el dato que se obtiene de la función, con el valor de profundidad del registro (figura 4.6). El resultado de la comparación, genera un intervalo de error de ± 35 cm entre los dos tipos de datos, siendo este un valor de error aceptable, debido a que en el modelo de marea no se tiene en cuenta todas las componentes armónicas astronómicas, así como también se descarta las componentes de la marea meteorológica.

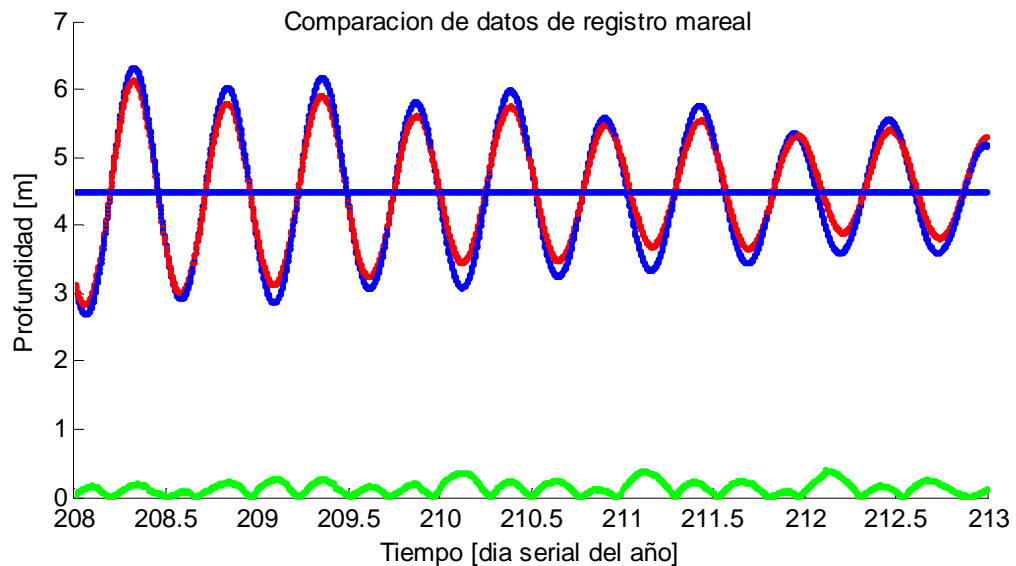


Figura 4.6 Comparación de los datos obtenidos a través de la función de series armónicas (azul) con los registros de marea (rojo), se obtienen intervalos de error de ± 35 cm (verde). Fuente: el autor

Al realizar el diseño del análisis mareal del algoritmo, se estableció la necesidad de incluir en el mismo, un análisis previo de datos sensados, en el que sea posible obtener el nivel medio de marea h_0 , debido a que no se sabe con certeza a que profundidad se colocará el sensor en el sitio seleccionado, por lo que el sistema mismo debe encontrar el valor para no generar falsas alarmas del sistema al no tener una correcta sintonización de este valor. Para la obtención del nivel medio, se analizó que es posible obtener este valor, a través del promedio de datos de marea de un día completo.

Tomando como referencia un mayor número de componentes armónicas de tipo compuesto, se observó que la coincidencia entre la marea que se predice y los registros armónicos no tiene una variación considerable, esto debido al tiempo de registros de marea utilizados, consiguiendo mayor coincidencia si se utiliza un número mayor de días de registros.

4.3.4 Almacenamiento y control de calidad de datos

Para el almacenamiento y el control de calidad de los datos se tuvo en cuenta el formato de almacenamiento de datos utilizado en el CCCP, cimentado en el Ocean Data View [14], que establece la utilización de banderas de calidad de datos (Q) así:

Valor de Q	Calidad del dato	Método de calificación del dato
0	Bueno	Dato de sensor dentro del rango
1	Desconocido	No se obtiene dato aún
4	Cuestionable	Valor del dato no coherente con los rangos establecidos
8	Malo	No existe dato

Tabla 4.4 Banderas de calidad de datos oceanográficos según el Ocean Data View. Fuente: [14].

Para el almacenamiento del dato de tiempo se utilizo la norma ISO: 8601 del 2004, que establece el formato de almacenamiento de fecha y tiempo así: el año con cuatro (4) dígitos, mes con dos (2) dígitos, día con dos (2) dígitos, hora con dos (2) dígitos, minutos con dos (2) dígitos, segundos dos (2) dígitos, agrupados de la forma: [yyyy-mm-dd hh:mm:ss]

4.4 VALIDACIÓN DEL ALGORITMO A TRAVÉS DE RESULTADOS EXPERIMENTALES

Debido a que a la fecha de finalización de este trabajo no se contaría con la tarjeta de desarrollo, el algoritmo se planteó inicialmente en Matlab [\[Anexo B\]](#), teniendo como resultado el diagrama de flujo presentado a continuación en la figura 4.7.:

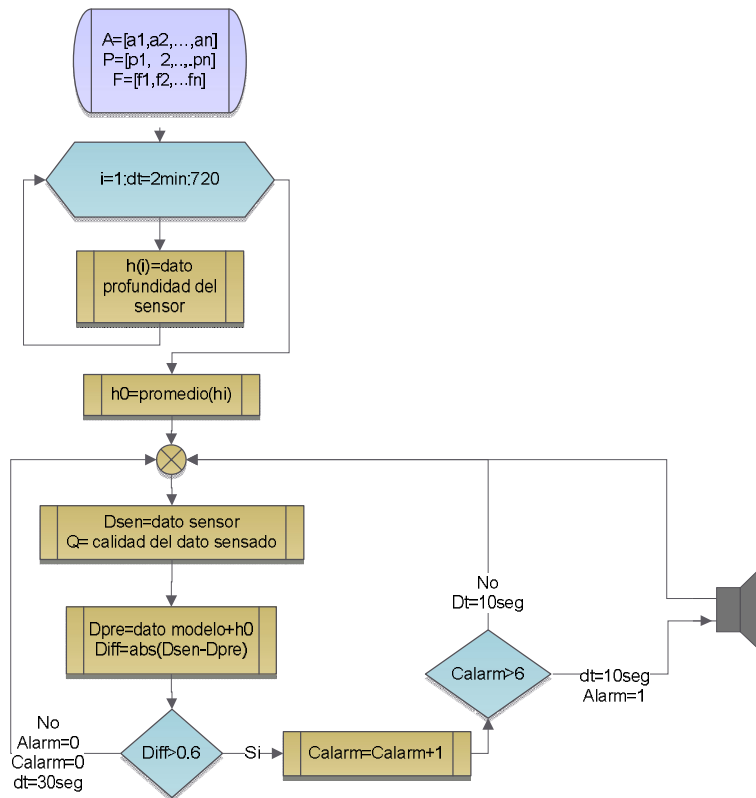


Figura 4.7 Diagrama de flujo general del algoritmo de detección de tsunamis. Fuente: el autor

Para la realización de las pruebas que verificarían la eficiencia del algoritmo, se ubicó el sensor SBE50 en uno de los pilotes del muelle a una profundidad aproximada de cinco (5) metros en marea baja, siendo alimentado con una batería de plomo seco de 12V, y conectado a un computador por el puerto serial. La prueba se realizó en un período de 48 horas, en los cuales, el software utilizó el primer día para la obtención del nivel medio de marea (figura 4.8) para el posterior muestreo en el tiempo restante.

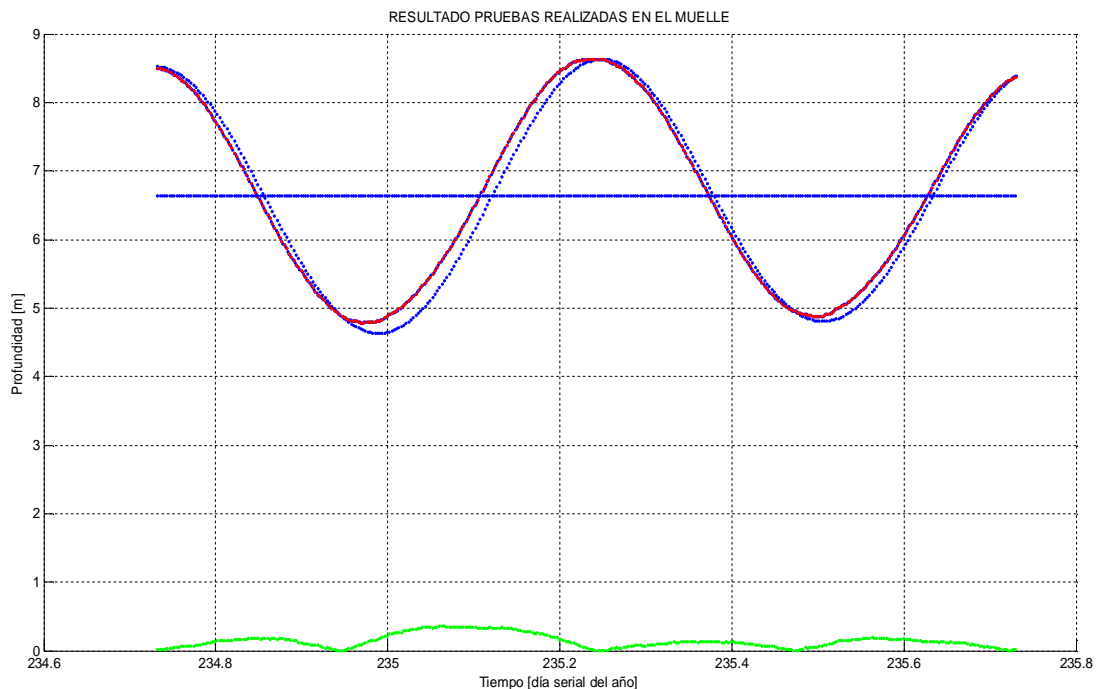


Figura 4.8 Resultado obtenido en la prueba de verificación del algoritmo elaborada en el muelle de Guarda Costas de Tumaco. Fuente: el autor

Al finalizar la prueba se obtuvieron los siguientes resultados:

- Tal como se obtuvo en las simulaciones preliminares del software, se encontró diferencias de máximo $\pm 35\text{cm}$ entre la marea sensada y su respectiva predicción.

- Durante la prueba, se registraron momentos en los que el sensor no entregaba dato, sin embargo, el software tuvo un buen desempeño ante este inconveniente.
- El nivel medio calculado en la prueba por el software generó una correcta sintonización de la marea sensada con la que se predijo, obteniendo así una buena relación entre estos datos.
- Ante perturbaciones generadas por el paso de lanchas, el sistema tuvo un buen comportamiento, ya que no generó falsas alarmas en estos casos.

5 CONCLUSIONES

- En el desarrollo de este trabajo de grado, se observó que la mayor parte de los equipos seleccionados en el anterior proyecto, para la elaboración del sistema de alerta temprana de tsunamis, cumplen con los requerimientos necesarios para el mismo.
- Para mayor eficiencia del sistema es importante observar que cuando se realiza transmisión de datos hay posibilidades de pérdida de los mismos, por lo cual se consideró para este proyecto que una conexión directa entre el sensor y la tarjeta de desarrollo que realiza el análisis, disminuyendo probabilidades de fallo por pérdida de datos.
- Así mismo, el análisis previo autónomo del sistema, que permite encontrar el nivel medio de marea en la ubicación que se encuentre, da libertad de posicionamiento del equipo en un punto determinado, aminorando el riesgo de falsas alarmas por incorrecta calibración del sistema.
- La utilización de modelos de predicción de marea para el análisis y comparación del muestreo utilizado en el algoritmo de alerta temprana para este proyecto, brinda calidad de autonomía al sistema, sin embargo es necesario considerar que la toma de componentes armónicas a utilizar en el mismo depende de parámetros como la cantidad de registro de datos tomados, imposibilitando el conocimiento exacto de que tantas componentes son necesarias para una mayor precisión del modelo de marea, siendo posible el aumento del número de componentes a utilizar, a través del uso de un mayor registro de datos en periodo de tiempo, tal como puede ser el registro de mareas de un año, para poder así tener en cuenta otras consideraciones astronómicas que afectan el nivel mareal.

- La elaboración de este trabajo de grado proporciona la posibilidad para el CCCP de obtener muestreos de marea de zonas donde no se tiene conocimiento previo de las mismas, siendo de gran importancia debido a que en la actualidad el modelamiento de marea algunos sectores de la Costa Pacífica, se realiza por interpolación de registros que se tienen de sitios como Tumaco y Buenaventura, entre otros.

6 RECOMENDACIONES

- En el momento de implementar el sistema, se recomienda realizar muestreos iniciales del nivel de marea en el mismo por un periodo no menor a 29 días, apoyándose con herramientas de software de obtención de componentes de marea, tal como el *worldtides*, para la identificación de las componentes armónicas del sitio
- Teniendo en cuenta que, existen programas de modelación hidrodinámica que permiten obtener las componentes armónicas mareales, se recomienda comparar los resultados obtenidos, así como también crear modelos de perturbación mareal que simule un tsunami en este tipo de software, a fin de validar el correcto funcionamiento del sistema diseñado.
- Se recomienda a su vez, la posibilidad de implementar un sistema de seguridad que verifique la continuidad de transmisión y recepción de la señal de alarma entre antenas del sistema general.
- Debido a que la tarjeta de desarrollo seleccionada para este sistema posee puertos Ethernet, se recomienda estudiar la alternativa de comunicación inalámbrica con el CCCP, a fin de lograr establecer una herramienta que permita almacenar los datos de marea en los sitios implementados, de manera periódica en el centro de investigación.

7 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Bernard, E. N.; Mofjeld, H. O.; González, F.I. 2006. "Tsunami: scientific frontiers, mitigation, forecasting and policy implications". Mathematical, Physical and Engineering Sciences. The Royal Society. 22 pp.
- [2] Boon, J. 2004. "Secrets of tide". Horwood Pub. (Chichester, U.K) 212 pps.
- [3] Boon, J. 2006. "World Tides And World Currents", Software para uso en matlab. [En línea] [fecha de consulta: Mayo de 2004] <<http://worldtidesandcurrents.com/>>
- [4] Cardona Orozco, Y.; Fernandez Jaramillo, J. "Análisis de Mareas por el Método de la Descomposición en Armónicos". [En línea] [Fecha de consulta: Abril de 2009] <http://gnotide.unalmed.edu.co/documento/documento_tesis.php>
- [5] Comisión Colombiana del Océano. "Comité Técnico Tsunami". [En línea] [fecha de consulta marzo de 2009]. <<http://www.cco.gov.co/anterior/tsunami.htm>>
- [6] Centro Control Contaminación del Pacífico. "Tsunami". [En línea], [fecha de consulta marzo de 2009]. <<http://www.cccp.org.co/modules.php?name=Content&pa=showpage&pid=23>>

- [7] Ferreras, S.; Domínguez, R.; Gutiérrez, C. 2005. "Tsunamis". Serie Fascículos. CENAPRED, México. 2^{da} edición. 39 pp.
- [8] IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales).2009. "Pronóstico de pleamares y bajamares Costa Pacífica Colombiana". [En línea] [fecha de consulta: abril de 2009] <http://www.ideam.gov.co/pronos/mar/PleamaresPacifico_2009.pdf>
- [9] Lorca Mella, E; Recabarren Herrera, M. "Terremotos y tsunamis o maremotos". Capítulo 4, Tsunamis o maremotos. Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile; Comisión Oceanográfica Intergubernamental; Centro Internacional de Informaciones de Tsunami.
- [10] Mesa, A. 2009. "Implementación de capacidades en comunicaciones, seguridad de la información y manejo de datos oceanográficos en el Centro de Control Contaminación de Pacífico". Dirección General Marítima – Centro Control Contaminación del Pacífico. Tumaco, Colombia, 109 pp.
- [11] Mesa Rodríguez, A.; Rodríguez Rubio, E. y Ortiz Martínez, R. "Herramienta para el análisis de datos de marea en tiempo real: Manual de usuario". Dirección General Marítima – Centro Control Contaminación del Pacífico. Tumaco, Colombia, 12 pp.
- [12] MARETEC (Marine and Environmental Technology Research Center), IST (Instituto Superior Técnico), Technical University of Lisbon. Modeling Water Resources. [En línea] [fecha de consulta: agosto de 2009] <http://www.mohid.com>

- [13] NDBC (National Data Buoy Center). "Deep-ocean Assessment and Reporting of Tsunamis (DART®)". [En línea] [fecha de consulta: abril de 2009] <<http://www.ndbc.noaa.gov/dart/dart.shtml>>
- [14] Schlitzer, E. 2008. Ocean Data View, User's guide. Alfred Wegener Institute, Alemania
- [15] JTsunami. National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA. [en línea] [fecha de consulta: marzo de 2009]. <<http://www.tsunami.noaa.gov>>
- [16] U.C. (Universidad de Cantabria), G.I.O.C. (Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas). 2000. "Documento de referencia", volumen I. Dinámicas, sección 5, Ondas Largas. [En línea] [Fecha de consulta: mayo de 2009] <http://www.smc.unican.es/recursos/archivos/descargas/Documento%20de%20referencia_Volumen1.pdf>

8 ANEXOS

Anexo A: Uso y operación del SBE50

Section 4: Deploying and Operating SBE 50

Section 4: Deploying and Operating SBE 50

Note:

See SEATERM's help files for detailed information on the use of the program.

This section provides instructions for deploying the SBE 50. It includes:

- system operation
- example sets of operation commands
- cable length limitations
- setup of optional voltage output interface
- detailed command descriptions
- data output formats
- deployment
- recovery

Sampling Modes

The SBE 50 has two basic sampling modes for obtaining data: Polled Sampling and Autonomous Sampling.

Shown below are descriptions and examples of the two basic sampling modes. Note that the SBE 50's response to each command is not shown in the examples. Review the operation of the basic sampling modes and the commands described in *Command Descriptions* before setting up your system.

Polled Sampling

On command (**TS**), the SBE 50 takes one sample of data and transmits the data real-time.

Note:

Sea-Bird ships the SBE 50 with **AutoRun=N** (it will not automatically start sampling when power is applied). If you previously sent **AutoRun=Y**, send **Stop** to stop sampling. You will then be able to send commands to change the SBE 50 setup.

Example: Polled Sampling (user input in bold).

Set up to output pressure in decibars, with two digits after the decimal point. Set up to wait for a command upon power up. Verify setup with status (**DS**) command. Remove power.

(Apply power, then click Connect on Toolbar.)

S>**OUTPUTFORMAT=2**

S>**DECIMALS=2**

S>**AUTORUN=N**

S>**DS** (to verify setup)

(Remove power.)

When ready to take a sample:

(Apply power, then click Connect on Toolbar.)

S>**TS**

Autonomous Sampling

The SBE 50 samples data at 16 Hz. The output rate is determined by NAVg:

$$\text{Output rate} = 16 \text{ samples per second} / \text{NAvg}$$

AutoRun defines how sampling starts:

Note:
Sea-Bird ships the SBE 50 with **AutoRun=N** (it will not automatically start sampling when power is applied). If you send **AutoRun=Y**, turn power off and then on again to start sampling, or send **Start**.

AutoRun=	To Start Autonomous Sampling	To Stop Autonomous Sampling
Y	Turn on power.	<ul style="list-style-type: none"> • Turn off power, or • Send Stop or type Ctrl Z. (Stopping this way allows you to then send commands to check/modify the setup.)
N	Send Start .	

Note:
When using the SBE 50 with an AFM and an SBE 32 Carousel Water Sampler, or using the SBE 50 with an SBE 55 ECO Water Sampler, the following setup is required:

- **AutoRun=Y**
- **OutputFormat=7**
- **NAvg=16**

SeatemAF automatically sets these parameters in the SBE 50 to the appropriate values when you arm the AFM or ECO, and then sends **Start** to begin sampling.

Example 1: Autonomous Sampling Setup for AutoRun=N (user input in bold).

Set up to output a sample every 0.5 seconds (averaging 8 samples per output sample) and output pressure in decibars, with 2 digits after the decimal point. Verify setup with status (DS) command. Remove power.

(Apply power, then click Connect on Toolbar.)

```
S>NAVG=8
S>OUTPUTFORMAT=2
S>DECIMALS=2
S>AUTORUN=N
S>DS (to verify setup)
(Remove power.)
```

When ready to begin sampling:

(Apply power, then click Connect on Toolbar.)
S>**START**

When ready to stop sampling:

(Press Enter key to get S> prompt.)
S>**STOP**

Example 2: Autonomous Sampling Setup for AutoRun=Y (user input in bold).

Set up to output a sample every 0.5 seconds (averaging 8 samples per output sample) and output pressure in decibars, with 2 digits after the decimal point. Verify setup with status (DS) command. Remove power.

(Apply power, then click Connect on Toolbar.)

```
S>NAVG=8
S>OUTPUTFORMAT=2
S>DECIMALS=2
S>AUTORUN=Y
S>DS (to verify setup)
(Remove power.)
```

When ready to begin sampling:

(Apply power – SBE 50 automatically begins sampling.)

When ready to stop sampling:

(Press Enter key to get S> prompt.)
S>**STOP**

Optional Voltage Output Interface

The optional voltage output interface provides voltage output proportional to pressure or depth, *in addition to* the RS-232C output. If the voltage output feature is installed (6-pin connector in place of standard 4-pin connector), the SBE 50 can output 0.05 - 4.95 volts.

- See *Dimensions and End Cap Connector* in *Section 2: Description of SBE 50* for voltage pinouts.
- See *Optional 0-5 VDC Voltage Output Commands* in *Command Descriptions* to enable / disable voltage output (**OutputVolt=**), and to set up the voltage scale factor (**VRange=**) to meet your deployment needs.

Command Descriptions

This section describes commands and provides sample outputs. See *Appendix III: Command Summary* for a summarized command list.

When entering commands:

- Input commands to the SBE 50 in upper or lower case letters and register commands by pressing the Enter key.
- The SBE 50 sends ? CMD if an invalid command is entered.
- If the system does not return an S> prompt after executing a command, press the Enter key to get the S> prompt.
- If the SBE 50 is transmitting data and you want to stop it, send Stop or type Ctrl Z. Press the Enter key to get the S> prompt. Alternatively, remove power.
- The SBE 50 responds only to Stop while sampling autonomously.

Entries made with the commands are permanently stored in the SBE 50 and remain in effect until you change them.

Status Command

DS

Display operating status and setup parameters. Equivalent to Status on Toolbar. List below includes, where applicable, command used to modify parameter.

- firmware version and serial number
- number of scans to average [**NAvg=**]
- start autonomous sampling automatically when power applied [**AutoRun=**]
- Output format [**OutputFormat=**], digits after decimal point [**Decimals=**]
- Optional 0-5 VDC voltage output [**OutputVolt=**]

Note: This line only appears if enabled.

Example: (user input in bold)

```
S>DS
SBE50 V 1.0b SERIAL NO. 0011
number of scans to average = 1 [NAvg=]
start sampling on power up = no [AutoRun=]
output format = depth, salt, meters, 2 decimals [OutputFormat=, Decimals=]
voltage output enabled [OutputVolt=]
```


Anexo B: Código Fuente en Matlab del algoritmo de predicción de mareas

```
function inicializacion
clear all
close all
clc

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%% PROGRAMA DE SIMULACION PARA LA DETECCION TEMPRANA DE TSUNAMIS%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%creación inicial del archivo de metadatos que contendrá los datos de
%profundidad, tiempo y bandera de calidad del dato del lugar

fid=fopen('almacenamientodial.txt','at');
fprintf(fid,'Depth [m]\tQF\tdate [yyyy-mm-dd hh:mm:ss]\n');
fclose(fid);

% el objetivo inicial es encontrar el valor medio de la marea según la
% profundidad a la que se coloca el sensor de presión, para esto se
realiza
% un sensado de marea de un día con toma de muestras cada 2 minutos y al
final
% de ese período se promedian los datos para obtener así el valor deseado

for i=1:1:720
    tmst1=clock;
    st1=fix(tmst1(5)); % tomo el valor de minuto correspondiente al
tiempo
                                % para posteriormente compararlo con el siguiente
                                % dato de tiempo hasta que se cumplan dos minutos

    QF=1; %decalaración de bandera de calidad del dato, tomada como
        %inicialmente como "Unknown quality"
    while QF~=0 % se hace esta comparación para saber si el
dato
                                % recibido es bueno, de lo contrario hara una
                                %nueva petición hasta obtener un buen dato

        %Petición de dato al sensor
        s1 = serial('com10','BaudRate',9600,'Timeout',1);
        fopen(s1);
        fprintf(s1, 'TS');
        dat=fscanf(s1,'%f');
        fclose(s1);
        %Calificación del dato a través de banderas
        if isspace(dat)==1
            QF=8; %Bad quality
        elseif dat>20
```

```

        QF=4; %Questionable quality
    else
        QF=0; %Good quality
    end
    % almacenamiento del dato en el archivo
    tmst2=clock;
    dataload=[dat; QF; tmst2'];
    fid=fopen('almacenamientodial.txt','at');
    fprintf(fid,'%6.4f\t%1.0f\t%4.0f-%02.0f-%02.0f
%02.0f:%02.0f:%02.0f\n',dataload);
    fclose(fid);
end

% Almacenamiento del dato en un vector para su posterior promedio
dh(i)=dat;
tmst2=clock;
st2=fix(tmst2(5));

% Búsqueda de tiempo para la siguiente toma de muestra
if st1>=(60-2)
    while st2~=(st1-60+2)
        tmst2=clock;
        st2=fix(tmst2(5));
    end

else
    while st2<(st1+2)
        tmst2=clock;
        st2=fix(tmst2(5));
    end
end
end

% Búsqueda del valor medio de marea según la profundidad a la que se
% encuentra el sensor
h0=0;
for i=1:1:720
    h0=h0+dh(i);
end
h0=h0/720;
alarm=0;
st1=0;
t1=clock;
mt1=fix(t1(5));
PROGRAMA(alarm,h0,st1,mt1) %redirecciona a el programa de recoleccion y
analisis de datos

function PROGRAMA(alarm,h0,st1,mt1)

```

```

%Datos de amplitud, fase y frecuencia de armonicos de Tumaco
f=[28.984104;30;30.082137;28.439730;13.398661;13.943036;14.958931;15.0410
69;57.96821;58.984104;86.952312];
a=[1.239991452;0.403527436;0.162178699;0.296845972;0.006003765;0.02368328
4;0.057917401;0.099498019;0.01608095;0.004474161;0.002855991];
p=[48.86627726;172.0575402;349.6396397;304.4435731;273.0827801;306.919590
6;323.8889158;353.307154;121.9749351;208.0235054;59.92008293];

%creación inicial del archivo de metadatos que contendrá los datos de
%profundidad, tiempo y bandera de calidad del dato del lugar
fid=fopen('data.txt','at');
fprintf(fid,'h0=%4,4f\n',h0)
fprintf(fid,'Depth[m]\tQF\tdate [yyyy-mm-dd hh:mm:ss]\n');%formato de
fecha según norma iso 8601
fclose(fid);

%inicio de toma de datos
    tmst1=clock;
    stl=fix(tmst1(6));

        QF=1; %decalaración de bandera de calidad del dato, según el Ocean
Data View, tomada como
            %inicialmente como "Unknown quality"
    while QF~=0            % se hace esta comparación para saber si el
dato
                            % recibido es bueno, de lo contrario hara una
                            %nueva petición hasta obtener un buen dato

        %Petición de dato al sensor
        s1 = serial('com10','BaudRate',9600,'Timeout',1);
        fopen(s1);
        fprintf(s1,'TS');
        Dsen=fscanf(s1,'%f');
        fclose(s1);
        %Calificación del dato a través de banderas
        if Dsen==' '
            QF=8; %Bad quality
        elseif (Dsen=='')
            QF=8; %Bad quality
        elseif Dsen>20
            QF=4; %Questionable quality
        else
            QF=0; %Good quality
        end

        % almacenamiento del dato en el archivo cada dos minutos

        tmst2=clock;
        mt2=fix(tmst2(5));
        if ((mt1+2)==mt2) || ((mt1-58)==mt2)
            if Dsen==' '
                Dsen='n'; %cambio el valor si es por una "n" para
                %identificar el dato faltante por un dato

```

```

                                % y asi poder llevar el orden de los datos
                                end
                                dataload=[Dsen; QF; tmst2'];
                                fid=fopen('data.txt','at');
                                fprintf(fid,'%3.4f\t%1.0f\t%4.0f-%02.0f-%02.0f
%02.0f:%02.0f:%02.0f\n',dataload);
                                fclose(fid);
                                t1=clock;
                                mt1=fix(t1(5));
                                end
                                end

% conversion de tiempo actual a hora serial para el cálculo de
marea,tomando
%como dia de inicio es el 30 de diciembre de 1899 LST, se restan las
horas
%seriales de este periodo en valor numérico
%como en C no existe la función datenum() la hora serial se determina
asi:
time=clock;
ty=((time(1)-1900)*365+fix((time(1)-1900)/4)+mod(time(1),4))*24;
tm=(datenum(time(1),time(2),0,0,0,0)-
datenum(time(1),0,0,0,0,0)+timeg(3))*24;
% en C existe una funcion que me permite obtener el dia serial del año,
en
% matlab no, por eso utilizo el datenum para hallar este valor
td=time(4)+time(5)/60+time(6)/3600;
t=ty+tm+td;

%conversión a hora serial usando datenum()
%t=(datenum(clock)-693960)*24;

%Calculo de Marea por predicción a través de la sumatoria de armónicos

for i=1:length(a)
    s(i)=a(i)*cos((f(i)*t-p(i))*(pi/180));
end
Dpre=sum(s)+h0;

%comparacion del dato obtenido por el sensor con el dato por predicción
diff=abs(Dpre-Dsen);
if diff>0.6
    if alarm>6
        disp('peligro:descenso acelerado del mar, evacue')
        %pause
        %clock
    end
    alarm=alarm+1;
    cont=10;
    ptiempo(cont,alarm,h0,st1,mt1) %inicia contador de 10 seg
else

```

```
alarm=0;
cont=30;
ptiempo(cont,alarm,h0,st1,mt1)% inicia contador de 30 seg
```

```
end
```

```
function ptiempo(cont,alarm,h0,st1,mt1)
    tmst2=clock;
    st2=fix(tmst2(6));
    if st1>=(60-cont)
        while st2~=(st1-60+cont)
            tmst2=clock;
            st2=fix(tmst2(6));
        end

    else
        while st2<(st1+cont)
            tmst2=clock;
            st2=fix(tmst2(6));
        end
    end
    %st2
    PROGRAMA(alarm,h0,st1,mt1)
```

Anexo C: Código Fuente básico en C del algoritmo de predicción de mareas para la tarjeta Ethernut 3.0D

```
//+++++Inclusión de librerías+++++

#include <hidef.h> /* for EnableInterrupts macro */
#include "derivative.h" /* include peripheral declarations */
#include <math.h> // libreria matematica
#include <time.h> // libreria de reloj

//+++++ Definición de variables+++++

long double PI; //constante PI
int tm_sec; /* Seconds */
int tm_min; /* Minutes */
int tm_hour; /* Hours */
int tm_mday; /* Day of month: 0 .. 31 */
int tm_mon; /* Month: 0 .. 11 */
int tm_year; /* Year since 1900 */
int tm_yday; /* day of year: 0 .. 365 */
long double serial_hour; // variable de cálculo del tiempo serial
long double Dsen; // variable que contiene la lectura del sensor
long double calculos; // variable temporal de cálculo del promedio
int t_actual; // variable temporal para el cálculo del tiempo actual
int prom, calc; // variables de iteración de promedio y predicción
long double time, Dpred; // variables de tiempo actual y valor predicho
char alarma=0; //variable acumulativa para alarma

long double h0; // variable para calcular el promedio de marea

// vector de constantes de frecuencia

long double frec [] = {28.984104,30,30.082137,28.439730,13.398661,
                      13.943036,14.958931,15.041069,57.96821,58.984104,
                      86.952312};

// vector de constantes de amplitud

long double amp [] = {1.239991452,0.403527436,0.162178699,0.296845972,
                     0.006003765,0.023683284,0.057917401,0.099498019,
                     0.01608095,0.004474161,0.002855991};

// vector de constantes de fase

long double phase [] = {48.86627726,172.0575402,349.6396397,304.4435731,
                       273.0827801,306.9195906,323.8889158,353.307154,
                       121.9749351,208.0235054,59.92008293};

// Función dummy que simula la transmisión por los puertos serie

void uart_tx(char E,char port) // (E=caracter a transmitir, port=puerto)
```

```

{
char TX,P;
asm (nop);
P=port;
TX=E;
}

// Función dummy que simula la recepción por los puertos serie

char uart_rx(char port) // (port=puerto) retorna el carácter recibido
{
char recibido=5,P;
P=port;
asm (nop);
return (recibido);
}

// Función para enviar cadenas de caracteres

void enviar(byte *cadena)
{
char letra;
letra = (char)*cadena;

while (letra != 0)
{
uart_tx(letra,0); // envía la cadena de caracteres por el puerto 0
cadena++;
letra = (char)*cadena;
}
}

// Función que recibe y convierte los caracteres del puerto serie (números) en un solo numero de tipo long
double

long double recibir(void)
{
int i=0,k,l;
char j='0';
char dato[8];
long double Dsen=0, mult=1;
char letra, pos=0;

letra = uart_rx(0);
dato [pos] = letra;
pos += 1;

while (j!='.') //se detecta el lugar del punto decimal para la conversión
{
dato[i]=(char)(j-0x30);
i++;
j=uart_rx(0); //se adquieren datos hasta el punto decimal
}
dato[i]=j;

```

```

l=i;
for (k=0;k<4;k++)
    {
        i++;
        dato[i]=(char)(uart_rx(0)-0x30); // se adquieren datos después
    } // del punto decimal
for(i=1-1;i==0;i--) // se hallan los números antes del punto decimal
    {
        Dsen=Dsen+dato[i]*mult;
        mult=mult*10;
    }
mult=0.1;
for(i=1+1;i==1+4;i++)// se hallan los decimales
    {
        Dsen=Dsen+dato[i]*mult;
        mult=mult/10;
    }
return(Dsen); //retorna el numero completo convertido
}

```

// Función que mide la calidad del dato proveniente del sensor

```

int calidad (long double signal)
{
int quality;
if (signal > 20)
    {
        quality = 4; //Questionable quality
    }
else if (signal<0)
    {
        quality = 8; //Bad quality
    }
else
    {
        quality = 0; //Good quality
    }
return (quality);
}

```

// Función que convierte el dato del reloj UMT, en formato serial en horas

```

long double datenum (void)
{
long double date;
serial_hour = ((int)(tm_year/4)+(tm_year*365)); // calculo de los días
} //
transcurridos desde el año 1900 hasta hoy
if ((tm_year+1900)%4 !=0) // determinacion de año
    bisiestro
    {
        serial_hour +=1;
    }
date = (serial_hour + tm_yday)*24 + tm_hour + ((long double)tm_min)/60

```

```

        +((long double)tm_sec)/3600; // calculo de horas, minutos y segundos hasta la hora actual
return(date);// retorno el dato de la fecha en formato serial
}

// funcion principal

void main(void)
{

//prueba para conversión a hora serial con la fecha: 09 OCT 2010 6:15:25 PM → 09/10/10 18:15:25

tm_sec=25;
tm_min=15;
tm_hour=18;
tm_mday=9;
tm_mon=10;
tm_year=110;
tm_yday=282;

PI = acos(-1); // cálculo del número PI por iteraciones (math.h)

h0 = 0;

for (prom=0;prom<720;prom++) // cálculo del promedio de marea se toman 720 muestras
{
    enviar("TS"); // envío petición de muestra
    calculos = recibir(); //recibo el dato del sensor
    while(calidad (calculos) != 0) // si la calidad del dato es cuestionable,
    { // repito la toma del dato
        enviar("TS");
        calculos = recibir();
    }
    t_actual=tm_min;
    while (tm_min != (t_actual-58) || tm_min !=(t_actual+2)) // repetición de la toma de muestras cada dos
        //minutos
    {

        h0 = (h0+calculos); //acumulación de cada dato tomado
    }
    h0=h0/720; // promedio los datos tomados

for (;;)
{
    t_actual=tm_sec; // captura el tiempo actual
    time = datenum(); // convierte el tiempo actual en formato serial para el cálculo predictivo
    for (calc=0;calc<11;calc++) // calculo predictivo
    {
        Dpred=Dpred+(amp[calc]*cos((frec[calc]*time-phase[calc])*(PI/180)));
    }
    if (abs(Dpred-recibir()) >0.6) // determinación de alarma
    {
        // si la diferencia absoluta es mayor a un factor de 0.6
        while (tm_sec != (t_actual-50) || tm_sec !=(t_actual+10)) // toma muestras cada 10 segundos
        {
            if (alarma>6) // si la diferencia es mayor de 0.6 y persiste mas de un minuto,

```

```

        {
            // activa la alarma
            uart_tx('U',1); // alarma, envia la letra U por el puerto serie 1 (U=)
        }
    }
    alarma+=1;
}
else // si no se activa la alarma toma muestras cada 30 segundos
{
    while (tm_sec != (t_actual-30) || tm_sec !=(t_actual+30))
    {}
    alarma=0;
}
} // repetición del cálculo indefinidamente
}

```