

**DESIGN OF AN EARLY WARNING SYSTEM TO DETECT TSUNAMIGENIC
EVENTS ASSOCIATED WITH THE EXTREME TIDE LEVEL CHANGES IN
THE COLOMBIAN PACIFIC COAST**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA PARA DETECTAR
EVENTOS TSUNAMIGÉNICOS ASOCIADOS CON LA VARIACIÓN
EXTREMA DEL NIVEL DE LA MAREA EN LA COSTA PACÍFICA
COLOMBIANA**

Ing. Pedro Alexander Solarte Varney, MSc. Guefry L. Agredo Méndez

Universidad del Cauca

Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones.
Grupo de Nuevas Tecnologías en Telecomunicaciones – GNTT.
Departamento de Telecomunicaciones, Popayán, Cauca.
E-mail: {psolarte, gagredo}@unicauca.edu.co, psolartec@gmail.com

Abstract: This paper describes the implementation of a communications system of low cost for early detection of extreme tide level variation in the Colombian Pacific Coast. A pressure sensor acquires data of tide level in situ. These data are transmitted UHF through of an antenna system to a receiver station such are processed and displayed in near real time through of a *Tsunami Detect* software which predicts and compares the tide level based on the calculation of the astronomical tide. The energy supply system is achieved through batteries and solar panels which can monitor different parts of Tumaco bay (Colombia), taking into account the vulnerabilities of this area of the Pacific in the presence of a tsunami.

Keywords: Tide level, Tsunami Detect, Astronomical Tide.

Resumen: El presente trabajo describe la implementación de un sistema de alerta temprana de tsunamis teniendo en cuenta la variación extrema del nivel de la marea, para lo cual se utilizó un sensor oceanográfico de presión (SBE-50) el cual adquiere datos correspondientes al nivel del mar in situ; tales datos se transmiten punto a punto vía UHF hacia una estación receptora para que finalmente los datos recibidos sean procesados y visualizados en tiempo casi real a través del software *Tsunami Detect* el cual predice y compara el nivel de marea basado en el cálculo de la marea astronómica. El suministro energético del sistema se logra a través de baterías y paneles solares lo cual permitirá monitorear diferentes puntos de la bahía de Tumaco (Colombia) teniendo en cuenta la vulnerabilidad que presenta esta zona geográfica del pacífico ante la presencia de un evento tsunamigenico.

Palabras clave: Nivel de marea, Tsunami Detect, Marea astronómica.

1. INTRODUCCIÓN

Un tsunami es un fenómeno oceanográfico originado principalmente por sismos cuyos

epicentros se localizan a poca profundidad de la corteza terrestre donde las placas tectónicas chocan frontalmente generando zonas de subducción [1], [2]. Durante el siglo pasado cuatro tsunamis

afectaron el litoral Pacífico colombiano, destacándose el ocurrido en el año 1979 el cual fue atenuado en gran parte por los depósitos sedimentarios que conformaban la isla del Guano. Aunque estos depósitos absorbieron gran parte de la energía de la onda tsunami los efectos fueron lamentables como es el caso de la población de San Juan de la Costa. Se estima que como consecuencia del sismo-tsunami fallecieron cerca de 500 personas, 1000 resultaron heridas y más de 3000 viviendas resultaron afectadas.[3].

El riesgo por tsunami en la Costa Pacífica de Colombia ha sido tema de estudio desde el año 1996, mediante la aplicación de modelos matemáticos, lo cual ha permitido plantear escenarios de amenaza e identificar las zonas seguras en caso de presentarse un evento tsunamigénico.

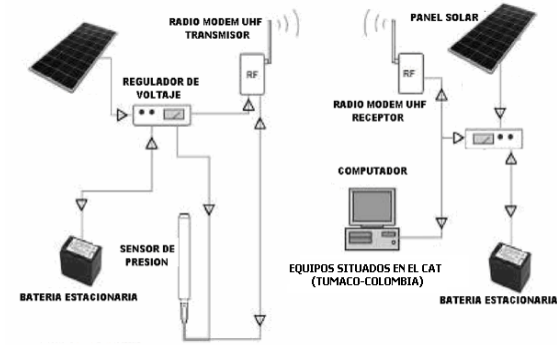
El punto de partida de esta investigación científica fue la implementación del modelo TIME (*Tsunami Inundation Modeling for Exchange*) como parte de los esfuerzos cooperativos internacionales con la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI) en coordinación con el ICG/SITU (Grupo de Coordinación Internacional para el Sistema de Prevención de Tsunami en el Pacífico).

Posteriormente, fueron levantados mapas de riesgo los cuales permiten predecir y localizar los efectos de inundación por tsunami. Finalmente en el año 2010 culminó el proyecto piloto cuyo objetivo principal fue la implementación de un sistema de alerta temprana asociado a eventos tsunamigénicos y que actualmente sirve de soporte al Centro de Alerta de Tsunami del Centro Control Contaminación del Pacífico (CAT-CCCP) [4] en la Costa Pacífica de Colombia.

2. METODOLOGÍA

Para el realizar el diseño y la posterior implementación del sistema de alerta propuesto en la Fig. 1 se tuvieron en cuenta cuatro etapas:

- **Etapla 1.** Alimentación del sistema.
- **Etapla 2.** Adquisición de datos.
- **Etapla 3.** Transmisión de datos.
- **Etapla 4.** Monitoreo y visualización de la variación del nivel de la marea.



EQUIPOS SITUADOS EN LA ISLA DEL VIUDO
(TUMACO-COLOMBIA)

Fig. 1. Esquema del sistema de alerta temprana propuesta para el CAT-CCCP.

2.1 Alimentación del sistema

Teniendo en cuenta que el sistema de alerta debe funcionar de manera continua durante todo del día fue necesario implementar en la estación transmisora y receptora una etapa fotovoltaica que suministre energía eléctrica a los equipos además de considerar el hecho de que la Costa Pacífica Colombiana presenta una baja radiación solar, 1.278 KWh/m²/año (menor a 3.5 KWh/m²/día) debido a la alta nubosidad [5]. El primer paso para dimensionar el sistema fotovoltaico es realizar el cálculo del consumo promedio para cada uno de los equipos que estarán en funcionamiento según la información presentada en la Tabla 1.

Tabla: 1. Características eléctricas de los equipos.

Dispositivo	Sea-Bird SBE-50	Radio-Modem MHX 910 ^a
Voltaje de alimentación	12V	12V
Consumo de corriente	43 mA	250 mA
1.2*consumo de corriente	51.6 mA	300 mA
Horas promedio de trabajo	24	24
Potencia consumida (w)	0.6192	3.6
Potencia (w/h)	14.8608	172.80
Potencia total (w/h)	187.66	

Teniendo en cuenta que un sensor de presión y un radio *modem* UHF están funcionando en la estación durante las 24 horas, se calcula el consumo energético en la estación transmisora.

$$I_{ix} = (51.6\text{mA} + 300\text{mA}) * 24 \text{ horas} = 8.43\text{Ah} \quad (1)$$

Según los mapas y reportes generados por el Instituto de Hidrología, meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) tanto de la radiación solar como también del brillo solar en la Costa Pacífica Colombiana se observa que la radiación promedio es de 140 horas mensuales o 4,66 horas diarias. Con estos valores se puede afirmar que el número de horas aprovechables con máxima la radiación solar es

$$h_p = 1.2 * 4.66 = 5.592 \text{ horas pico.} \quad (2)$$

Teniendo en cuenta que la energía demandada es de 187.66 w/h, calculamos la capacidad del panel solar a utilizar

$$E_d = 187.66 \text{ W-h} / 5.592 \text{ h} = 33.55\text{W} \approx 35\text{W} \quad (3)$$

Es decir que para alimentar los equipos de la estación transmisora es necesario un panel solar que cumpla con las características de la Tabla 2.

Tabla: 2. Características eléctricas del panel solar

Panel solar	
Potencia nominal	35 W
Tensión a potencia nominal	15 V
Corriente a potencia nominal	2.33 A
Tensión de circuito abierto	18.7 V
Corriente de corto circuito	2.54 A

Para lograr que la batería de 12 VDC tenga una considerable vida útil y no sufra daños por descarga total, se debe garantizar que la batería solo use el 70% de su capacidad. Por lo tanto se calcula la carga diaria nominal:

$$C_d = \frac{187.66 \text{ Wh}}{12 \text{ V} \cdot 0.7} = 22.34 \text{ Ah} \quad (4)$$

Se considera un factor de 0.7 debido a que sólo se permitirá un 70% de descarga máxima en las baterías. Para la implementación del sistema la capacidad real de las baterías a utilizar es de 26Ah. El tiempo de operación autónoma de la batería en la estación transmisora es:

$$T_{\text{autonomía}} = \frac{26\text{Ah}}{\left(\frac{8.4384}{24}\right)\text{A}} = 73.947\text{h} \quad (5)$$

El resultado indica que la estación transmisora puede funcionar en condiciones de baja radiación

solar por casi 3 días sin que la batería se descargue, lo cual es muy importante considerando la baja radiación solar de la región.

Teniendo en cuenta la corriente generada por el panel solar es necesario seleccionar un controlador que a la entrada soporte 3 Amperios o más, mientras que a la salida soporte una corriente máxima de $187.66\text{W} / 12\text{V} = 15.63$ Amperios.

Un procedimiento similar se realiza para la estación receptora solo que este caso no se cuenta con el sensor de presión. Finalmente la Tabla 3 muestra el presupuesto energético requerido para energizar la totalidad del sistema de alerta temprana.

Tabla: 3. Presupuesto energético total para alimentar el sistema de alerta temprana.

Parámetro	Estación Transmisora	Estación Receptora
Consumo de corriente (Ah)	8.43	7.20
Horas con máxima radiación solar por día	5.592	5.592
Capacidad del panel solar(W)	35	35
Capacidad de la batería (Ah)	26	26
Tiempo de autonomía de la batería (h)	73.947	86.66
Capacidad del regulador de carga (A)	15.63	15.63

2.2 Adquisición de datos

Para la adquisición de los datos correspondientes a las variaciones del nivel de la marea in situ se utilizo el sensor oceanográfico de presión SBE-50 Fig 2. [6], además se desarrollo una rutina software la cual permite graficar las variaciones del nivel de la marea tal como lo muestra la Fig 3. Note que el valor de la profundidad es calculado utilizando la expresión.

$$\text{Profundidad (m)} = \left[\frac{((-1.82 \times 10^{-15} * p + 2.279 \times 10^{-10}) * p - 2.2512 \times 10^{-5}) * p + 9.72659}{g} \right] \quad (6)$$

Donde:

$$g \text{ (m/sec}^2\text{)} = 9.780318 * [1.0 + (5.2788 \times 10^{-3} + 2.36 \times 10^{-5} * x) * x] + 1.092 \times 10^{-6} * p$$

$$x = [\sin(\text{latitud} / 57.29578)]^2$$

p = presión (decibares).

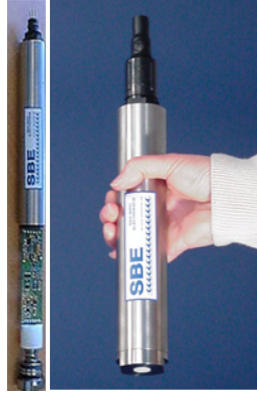


Fig. 2. Sensor de presión SEA-BIRD SBE-50

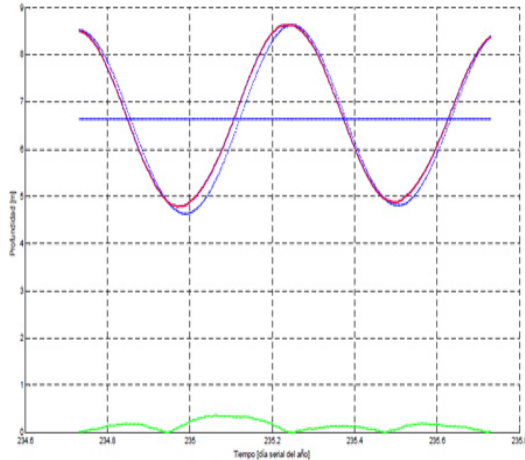


Fig. 3. Simulación del algoritmo de adquisición de datos con MATLAB.

Las características técnicas del sensor de presión SBE-50 se citan en la Tabla 4.

Tabla 4: Características técnicas del sensor oceanográfico de presión SEA-BIRD SBE-50

Característica	SEABIRD SBE-50
Marca	Sea-Bird
Sensor	Presión
Puerto	Serial (DB9)
Protocolo de transmisión	RS-232 (Full Dúplex)
Velocidad de transmisión	Configurable desde 600 hasta 38400 baudios por segundo
Precisión inicial	2 cm
Estabilidad típica	1 cm por mes
Resolución	0.04 cm
Máxima frecuencia de muestreo	16 Hz
Memoria	No posee
Reloj	No posee
Baterías	No posee
Alimentación externa	8 a 30 VDC

2.3 Transmisión de datos

El sistema de transmisión de datos está compuesto por dos antenas directivas tipo Yagi funcionando en la banda libre de los 900 MHz y dos radio modem de espectro ensanchado en la misma banda de frecuencia [7], ver figura 4.

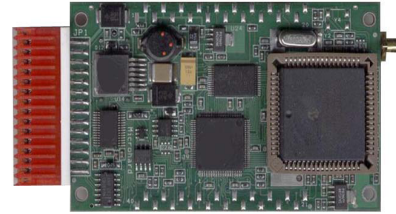


Fig. 4. Radio-modem spread spectrum MHX 910A

Para la selección de los equipos se consideró el bajo costo de los mismos y su amplia utilización como soluciones inalámbricas punto a punto y punto a multipunto. Por otro lado los equipos seleccionados manejan la técnica de espectro ensanchado lo cual es una ventaja ya que mejora el rendimiento del sistema en cuanto a pérdida de datos e interferencia; incrementa la relación señal a ruido; maneja eficientemente la potencia y el consumo y finalmente maximiza el uso del canal al momento de la transmisión de datos [8]. Posteriormente se realiza el cálculo del presupuesto del enlace teniendo en cuenta la información técnica suministrada en las Tablas 5 y 6.

Tabla 5: Características técnicas del radio modem spread spectrum MHX 910A

Radio modem serial Spread Spectrum MHX-910 ^a	
Frecuencia de operación	902 MHz a 928 MHz
Método de ensanchamiento	Salto en frecuencia (Frequency Hopping)
Método de detección de errores	32 bits de CRC, ARQ
Alcance	100 Km
Sensibilidad	-105 dBm
Potencia de salida	100 mW hasta 1 W
Alimentación	9 VDC hasta 30 VDC
Consumo	ITX = 350 mA a 12 VDC
Interface serial	RS-232/RS-485/RS-422
Velocidad de transmisión	300 bps a 230.4 kbps
Modos de operación	Point to point, point to multipoint, store and forward repeater, peer to peer, TDMA, multimaster
Conectores	Antena: RP-TNC hembra Datos: DB9 hembra

Tabla 6: Características técnicas antena Yagui

Antena directiva tipo Yagui	
Rango de frecuencia	820 MHz a 920 MHz
Ganancia	12 dB
Máxima entrada de potencia	250 W
Impedancia nominal	50 ohms
Terminal de entrada	Conector SMA tipo hembra
Polarización	Horizontal
Numero de dipolos	12

En primer lugar se calculan las pérdidas de espacio libre correspondientes al enlace inalámbrico:

$$L_{fs}(dB) = 32.45 + 20 \log(3.78 \text{ Km}) + 20 \log(902 \text{ MHz}) \quad (7)$$

$$L_{fs}(dB) = 103.1 \text{ dB}$$

A continuación se calcula el nivel de sensibilidad o la potencia a la entrada del receptor. Debe tenerse en cuenta que para realizar este cálculo se considera la atenuación para 4 metros de cable coaxial en la estación transmisora y 8 metros de cable coaxial en la estación receptora, la ganancia de las antenas y que además los radio módems se configuraron para transmitir a una potencia de 100 mW es decir a 20dBm.

$$\text{Prx}(dBm) = \text{Ptx}(dBm) - \text{Ltx}(dB) + \text{Gtx}(dB) - \text{Lfs}(dB) + \text{Grx}(dB) - \text{Lrx}(dB) \quad (8)$$

$$\text{Prx}(dBm) = 20(dBm) - 0,512(dB) + 12(dB) - 103,1(dB) + 12(dB) - 1,024(dB)$$

$$\text{Prx}(dBm) = -60,636$$

Con el fin de garantizar una transmisión confiable las pérdidas de espacio libre no deben superar la ganancia del sistema, además el margen de ganancia debe tener un valor de al menos 10 dB. Este margen depende de la ganancia del sistema de comunicaciones (Gs) y de las pérdidas de espacio libre (Lfs). Es importante saber que la sensibilidad del radio *modem* receptor (Srx) tiene un valor de -105 dbm por lo tanto

$$\text{MG}(dB) = \text{GS}(dB) - \text{Lfs}(dB) \quad (9)$$

$$\text{GS}(dB) = 20(dBm) - 0,512(dB) + 12(dB) + 12(dB) + 105(dBm)$$

$$\text{GS}(dB) = 147,464$$

$$\text{MG}(dB) = 147,464 - 103,1(dB)$$

$$\text{MG}(dB) = 44,364$$

Teniendo en cuenta que 44.364 (dB) es mayor que 10 (dB) se garantiza una transmisión confiable.

Realizado el presupuesto para el enlace inalámbrico se utilizó el software *Radio Mobile* [9] con el fin de visualizar y comparar los resultados obtenidos. Para ello es necesario conocer las coordenadas de las estaciones transmisora y receptora y así poder descargar el mapa digital correspondiente a esa zona geográfica. Para nuestro caso las coordenadas de la estación receptora (CAT-CCCP) se tiene que la latitud es 1° 49' 20.14" (N) y longitud 78° 43' 47.96" (W). En la estación transmisora (Isla del Viudo) se tiene que la latitud es 1° 51' 8.11" (N) y longitud 78° 42' 50.40" (W).

La fig. 5 muestra el trazado del perfil para el enlace inalámbrico, mientras que la fig. 6 muestra el mapa digital de la zona y la localización de las dos estaciones además los lóbulos de radiación de las antenas.

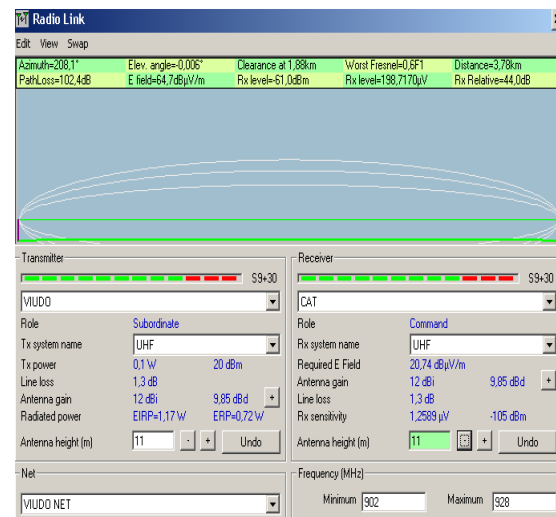


Fig. 5. Simulación del trazado de perfil para evaluar la calidad del enlace inalámbrico UHF



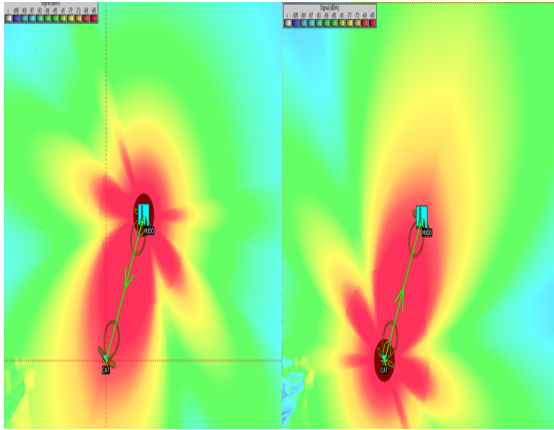


Fig 6. Cobertura lograda con el enlace inalámbrico UHF y simulación del patrón de radiación de las antenas en la estación transmisora y la estación receptora

Como puede observarse los resultados teóricos se aproximan en gran parte a los resultados presentados por el simulador, también es importante observar que en este trayecto la señal no presenta un desvanecimiento considerable debido a la ausencia de obstáculos por lo tanto no hay necesidad de realizar cálculos adicionales para superar la primera zona Fresnell. Además la simulación sugiere que las antenas deben tener una altura de 11 metros, estar muy bien alineadas dada su condición de directividad y finalmente que estas sean de polarización horizontal debido a que necesitamos ganar cobertura.

Cabe anotar además que para las pruebas de transmisión realizadas se configuró un radio *modem* maestro y un radio *modem* esclavo. Además se seleccionó una tasa de baudios de 9600 ya que demostró el mejor desempeño al momento de adquirir y transmitir los datos del sensor de presión. Con el fin de aumentar el *throughput* y evitar retransmisiones, no se tuvo en cuenta el FEC (*Forward Error Code*) al momento de enviar los datos en forma inalámbrica pero si se consideró un intervalo de salto de 20 ms y un tamaño de paquete de 154 bytes logrando así un *throughput* promedio de 74 kbps. El protocolo de comunicaciones para la transmisión de datos se configuró de tal manera que el envío de datos se haga de manera continua y no en forma de tramas.

3. RESULTADOS

Una manera de monitorear las variaciones del nivel del mar asociadas a un evento tsunamigénico es a través de la implementación de un algoritmo

software que permita predecir el valor de la marea astronómica para luego compararla con el valor de marea observada durante cortos periodos de tiempo.

La predicción de la marea astronómica en un punto determinado puede hacerse a través del método de análisis de las componentes armónicas de la marea [10] el cual consiste en descomponer los registros del nivel del mar en un número finito de componentes (ondas), cuyo período y fase han sido perfectamente establecidos teniendo en cuenta los movimientos astronómicos del sol y la luna. Es por ello que la marea astronómica se puede aproximar a la sumatoria de las componentes armónicas constituyentes a través de la fórmula de predicción de mareas Ec. (11) utilizando el método de análisis de armónico por mínimos cuadrados (Hamels) [11], [12], [13].

$$S_{ma}(t) = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i \cos(\omega_i t + j_i) \quad (11)$$

Donde:

a_0 = Es la amplitud del nivel medio de la marea.

a_i = Es la amplitud de la onda componente i .

ω_i = Es la frecuencia de la onda componente i .

j_i = Es el desfase de la onda componente i .

t = Es el instante en el que se calcula la marea.

n = Es el número de componentes armónicas.

La Tabla 7 muestra las componentes armónicas consideradas para la Bahía de Tumaco.

Tabla: 7. Componentes armónicas de marea astronómica modelada punto mareógrafo Tumaco – Costa Pacífica Colombiana.

Componente	Frecuencia (grad/hora)	Amplitud (m)	Fase (°)
M2	28.984104	1.239991	48.86627
S2	30	0.403527	172.0575
K2	30.082137	0.162178	349.6396
N2	28.439730	0.296845	304.4435
Q1	13.398661	0.006003	273.0827
O1	13.943036	0.023683	306.9195
P1	14.958931	0.057917	323.8889
K1	15.041069	0.099498	353.3071
M4	57.96821	0.016080	121.9749
MS4	58.984104	0.004474	208.0235
M6	86.952312	0.002855	59.920082

Teniendo en cuenta las anteriores consideraciones se desarrolló un software al cual se le dio el nombre de *Tsunami Detect*, fig 9, y cuyas características principales son:

- Permite el monitoreo y visualización de la información transmitida por el sensor en tiempo cuasi real.
- Permite controlar el proceso de adquisición de datos por medio de botones o iconos como son inicio, parada y actualización.
- Realiza una grafica comparativa entre nivel de marea predicho (a través del cálculo de la marea astronómica) y el nivel de marea observado cada diez segundos.
- Genera alertas sonoras cuando se detecta un comportamiento anormal del nivel de la marea, es decir cuando sobrepasa un umbral por encima o por debajo del umbral permitido.
- Finalmente genera un archivo .txt y .xls que contiene el registro de los datos capturados por el sensor y la fecha de captura del dato. Finalmente el software permite imprimir y almacenar las gráficas generadas.

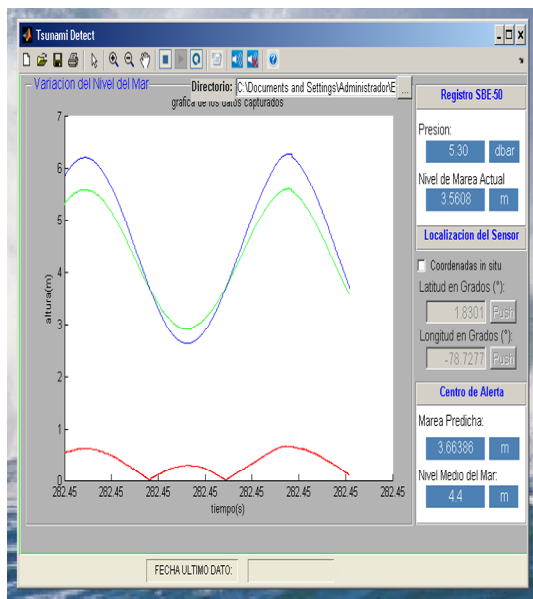


Fig. 9. Monitoreo de la marea real y la marea astronómica predicha utilizando el software Tsunami Detect

Al momento de establecer comunicación, el software guarda en un archivo.txt la fecha, el valor del nivel de la marea observado, el valor del nivel de marea predicho y finalmente la diferencia entre los niveles de marea mencionados. Posteriormente grafica la curva de marea observada (curva azul), la curva de marea predicha (curva verde) y la curva correspondiente a la diferencia de mareas (curva roja). Si la diferencia supera un umbral (valor1) se activa automáticamente la alarma.

3.1 Descripción del software Tsunami Detect

- Barra de herramientas: Contiene botones para guardar, imprimir, y aplicar zoom, pan y data cursor a las gráficas; cuenta adicionalmente con los botones *stop*, *run* y *refresh* para el control de la ejecución de las rutinas; botones para activar las alertas sonoras manualmente, al igual que para silenciarlas temporalmente; y por último cuenta con el botón de ayuda que da acceso a los créditos y al manual de usuario en formato PDF.
- Cuadro de mediciones: Muestra la información que provee el sensor constantemente y la altura de la marea que se calcula a partir de los datos de presión y las coordenadas en las que está ubicado el sensor.
- Gráficas de marea real y marea predicha: Muestra en la misma gráfica el comportamiento esperado y el real proporcionado por los datos que transmite el sensor.
- Localización del sensor: Muestra las coordenadas actuales del sensor y permite ingresar unas nuevas coordenadas.
- Fecha último dato: Permite visualizar la fecha y hora en que se recibió el último registro, información que corresponde a la fecha y hora proporcionada por el sensor.



Guardar: Almacena la figura actual en el directorio con el nombre que el usuario indique.



Imprimir: Imprime la figura actual.



Acercar, Alejar: Acerca y aleja las gráficas respectivamente para observar más detalladamente el comportamiento de los datos.



Desplazar: Desplaza las gráficas tanto horizontal como verticalmente para observar partes de la gráfica que no están actualmente dentro de los límites de los ejes.



Ubicar coordenadas: Muestra las coordenadas (altura y tiempo en formato Juliano) del punto de la gráfica donde este se ubique.



Parar: Detiene la ejecución del programa sin perder la información adquirida anteriormente.



Iniciar: Da inicio a la ejecución del programa.



Refrescar: Actualiza el sistema.



Silenciar alerta: Silencia la alerta sonora hasta la llegada del próximo dato.



Encender alerta: Activa la alerta sonora al momento de detectar una variación extrema en el nivel de la marea.



Fig. 10. Monitoreo de la marea en tiempo real desde el Centro de Alerta de Tsunami

4. CONCLUSIONES

Pruebas iniciales y cálculos realizados demuestran que el sistema está en capacidad de transmitir los datos del sensor hasta una distancia de 3.78 km en configuración punto a punto con línea de vista directa y funcionando en la banda UHF haciendo uso de un bajo consumo de energía y garantizando un periodo de autonomía hasta de 3 días en condiciones de baja radiación solar.

El software *Tsunami Detect* ha demostrado ser eficiente al momento de graficar los datos adquiridos, generar archivos de información y activar alertas sonoras cuando detecta anomalías en el nivel de la marea.

Este sistema puede ser implementado utilizando una configuración punto a multipunto alcanzando así mayores distancias siempre que se utilicen antenas apropiadas y de mayor ganancia además se sugiere el uso de cable coaxial blindado para las conexiones antena - radio *modem* a fin de garantizar una buena transmisión de datos.

El sistema de telemetría resulto ser muy económico en comparación con otros sistemas que presentan una funcionalidad similar como son los mareógrafos y las estaciones mareográficas.

Queda abierto el camino para continuar la investigación relacionada con la detección de eventos tsunamigénicos no solamente asociados a las variaciones del nivel de la marea sino también a otras variables como son el cálculo del tiempo de llegada y el análisis en frecuencia la onda tsunami.

RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo recibido por parte del Centro Control Contaminación del Pacífico (CCCP) y el Centro de Alerta de Tsunami (CAT), especialmente al Capitán de Corbeta David Alejandro Escobar y al director científico del área de Oceanografía Operacional PhD. Efraín Rodríguez Rubio. De igual manera los autores expresan sus agradecimientos a la Universidad del Cauca y al Grupo GNTT por su valioso aporte para la generación del presente artículo.

REFERENCIAS

- [1]. Stewart, R. (2002). Introduction To Physical Oceanography. Department of Oceanography. Texas University. 344p.
- [2]. Muller, P. (2006). The Equations of Oceanic Motions. University of Hawaii. Cambridge University Press.291p.
- [3]. Satake, K. (2005). Tsunamis. Case Studies and Recent Developments. Dordrecht, Holanda: Springer. 343p.
- [4]. Dirección General Marítima. Centro Control Contaminación del Pacífico."Impacto del Tsunami sobre el litoral pacífico colombiano". Disponible en: <http://www.cccp.org.co/modules>
- [5]. Mapa de Radiación Solar para el Territorio Colombiano. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/files/atlas/mapas%20jpg/radiacion.jpg>
- [6]. Manual técnico del sensor oceanográfico de presión SEABIRD SBE-50. Disponible en: http://www.seabird.com/pdf_documents/manuals/50_008.pdf
- [7]. Manual técnico del radio modem spread spectrum MHX 910A. Disponible en: <http://www.microhardcorp.com/brochures>
- [8]. Tse, D., Viswanath, P. (2005). Fundamentals of wireless Communication. New York: Cambridge University Press. 564p.
- [9]. Radio Mobile, Freeware by VE2DBE V7.6.9. Disponible en: <http://www.cplus.org/rmw/english1.html>
- [10]. Boon, J. (2004). Secrets of the tide. Chichester, UK: Horwood Publishing, 210p.
- [11]. Middleton, G. (2000). Data analysis in the earth sciences using Matlab. Prentice Hall.
- [12]. Dean, R. Dalrymple R. (1996). Water wave mechanics for engineers and scientists. Prentice Hall.
- [13]. Bloomfield, P. (2000). Fourier analysis of time series. An introduction. John Wiley & Sons, 288p.