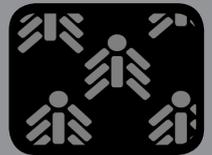


IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TELEMETRÍA PARA LA DETECCIÓN TEMPRANA DE EVENTOS TSUNAMIGÉNICOS ASOCIADOS CON LA VARIACIÓN EXTREMA DEL NIVEL DE LA MAREA EN LA COSTA PACÍFICA COLOMBIANA.

IMPLEMENTATION OF A TELEMETRY SYSTEM OF LOW COST FOR EARLY DETECTION OF TSUNAMIGENIC EVENTS ASSOCIATED WITH THE EXTREME TIDE LEVEL VARIATION IN THE COLOMBIAN PACIFIC COAST



AUTOR

PEDRO ALEXANDER SOLARTE VARNEY
Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones
Ingeniero Físico
*Universidad del Cauca
Investigador Asociado GNTT y CCCP
Director SOLARTEC
psolarte@unicauca.edu.co
COLOMBIA

AUTOR

GUEFRY LEIDER AGREDO MENDEZ
Magister en Electrónica y Telecomunicaciones.
*Universidad del Cauca
Docente de Planta de TC
Departamento de Telecomunicaciones
gagredo@unicauca.edu.co
COLOMBIA

INSTITUCIÓN

*UNIVERSIDAD DEL CAUCA
UNICAUCA
Universidad Pública
Calle 5 # 4 – 70
Popayán, Cauca
COLOMBIA

INFORMACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN O DEL PROYECTO

Este trabajo fue financiado por el Centro Control Contaminación del Pacífico (CCCP), (actualmente Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico), entidad vinculada a la Armada Nacional de Colombia y a la Dirección General Marítima (DIMAR), en trabajo conjunto con la facultad de ingeniería electrónica y telecomunicaciones y el programa de ingeniería física, ambos pertenecientes a la Universidad del Cauca.

RECEPCIÓN: Enero 26 de 2011

ACEPTACIÓN: Marzo 25 de 2011

TEMÁTICA: Acceso y conectividad inalámbrica, sistemas inalámbricos y móviles, teleaplicaciones

TIPO DE ARTÍCULO: Artículo de investigación científica y tecnológica.

RESUMEN ANALITICO

El presente trabajo describe la implementación de un sistema de alerta temprana de tsunami teniendo en cuenta la variación extrema del nivel de la marea, para lo cual se utilizó un sensor oceanográfico de presión (SBE-50) que adquiere datos correspondientes al nivel del mar in situ; tales datos se transmiten punto a punto vía inalámbrica hacia una estación receptora para que finalmente los datos recibidos sean procesados y visualizados en tiempo cuasi 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, permitiendo 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 tsunamigénico. 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.

PALABRAS CLAVES: Nivel de Marea, Detectar Tsunami, Marea Astronomica.

ANALYTICAL SUMMARY

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 wirelessly 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. Initial tests and calculations show that the system is capable of transmitting sensor data to a distance of 3.78 km for point - to - point links with line - of - sight and operating in the UHF band using a low power consumption and ensuring a period of autonomy up to 3 days under conditions of low solar radiation.

KEYWORDS: Tide level, Tsunami Detect, Astronomical Tide.

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 [I], [II].

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 [III]. 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) [IV] en la Costa Pacífica de Colombia.

1. METODOLOGÍA

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

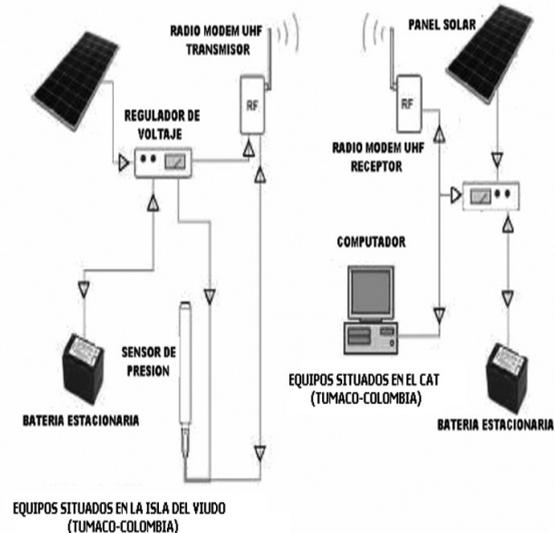
Etapas 1. Alimentación del sistema.

Etapas 2. Adquisición de datos.

Etapas 3. Transmisión de datos.

Etapas 4. Monitoreo y visualización de la variación del nivel de la marea.

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



1.1 ALIMENTACIÓN DEL SISTEMA

Teniendo en cuenta que el sistema de alerta debe funcionar de manera continua durante todo el 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 Kw/m2/año (menor a 3.5 Kw/m2/día) debido a la alta nubosidad [V]. 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 utilizados en la implementación del sistema de alerta temprana.

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 como:

$$I_{tx} = (51,6mA + 300mA) * 24 \text{ horas} = 8.43Ah \quad (1)$$

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

$$1,2 * 4,66 = 5,592 \text{ horas pico.} \quad (2)$$

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

$$187,66(W/h)/5,592(h) = 33,55W \quad (3)$$

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 12V DC 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 como:

$$187,66(W/h)/(12V*0,7) = 22,34 \text{ Ah} \quad (4)$$

Se considera un factor de 0.7 debido a que solo 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:

$$\text{Tautonomia} = \frac{26Ah}{\left(\frac{8,4384}{24}\right)A} = 73,947h \quad (5)$$

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 A o más, mientras que a la salida soporte una corriente máxima de 187,66W/12V=15,63 A.

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 el 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)	8.3	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

1.2 ADQUISICIÓN DE DATOS.

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

$$\text{Profundidad(m)} = [(((-1,82 \times 10^{-15} * p + 2,279 \times 10^{-10}) * p - 2,2512 \times 10^{-5}) * p + 9,72659) * p] / g \quad (6)$$

donde:

$$g \text{ (m/sec}^2\text{)} = 9,780318 * [1,0 + (5,2788 \times 10^{-3} + 2,36 \times 10^{-5} * x) * x] + 1,092 \times 10^{-6} * p$$

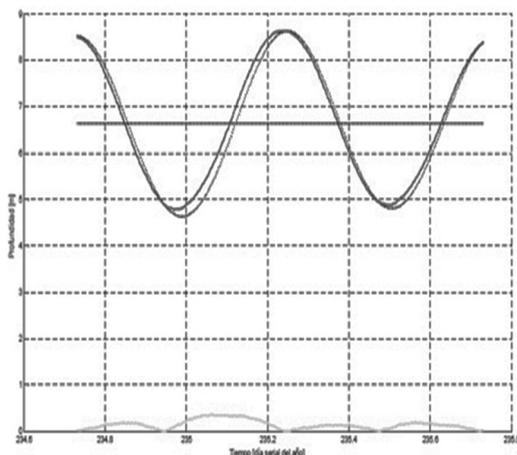
$$x = [\sin(\text{latitud} / 57,29578)]^2$$

p = presión (decibares).

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



FIGURA 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.

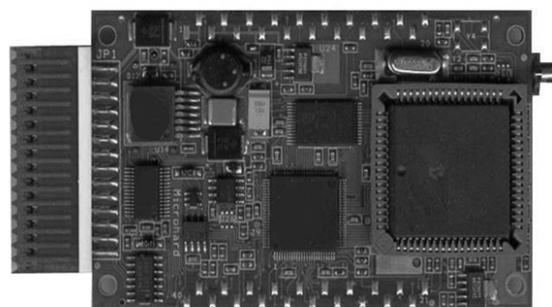
TABLA 4. Características técnicas del sensor oceanográfico de presión SEA-BIRD SBE-50

Característica	SEABIRD SBE-50
Marca	Sea-Bird
Sensor	Presión
Puerto	Serial (DB9)
Protocolo de transmisión	RS-232 (Full Duplex)
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

1.3 TRANSMISIÓN DE DATOS.

El sistema de transmisión de datos está compuesto por dos antenas directivas tipo Yagui funcionando en la banda libre de los 900 MHz y dos radio modem de espectro ensanchado en la misma banda de frecuencia [VII], tal como lo muestra la figura 4.

FIGURA 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 solución para establecer enlaces inalámbricos 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 [VIII]. 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-910A	
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	Punto - a - punto, punto - a - multipunto, Repetidor de espera y envío, TDMA, múltiple maestro
Conectores	Antena: RP-TNC hembra Datos: DB9 hembra

TABLA 6. Características técnicas de la 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 Ω
Terminal de entrada	Conector SMA hembra
Polarización	Horizontal
Numero de dipolos	12

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

$$Lfs(dB) = 32,45 + \text{Log}(3.78 \text{ km}) + 20\text{Log}(902\text{MHz}) \quad (7)$$

$$Lfs(dB) = 103,1$$

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 m de cable coaxial en la estación transmisora y 8 m 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.

$$Prx(dBm) = Ptx(dBm) - Ltx(dB) + Gtx(dB) - Lsf(dB) \quad (8)$$

$$+ Grx(dB) - Lrx(dB)$$

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

$$Prx(dBm) = - 60,636$$

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

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

$$GS(dB) = 20(dBm) - 0,512(dB) + 12(dB) + 105(dB)$$

$$GS(dB) = 147,464$$

$$MG(dB) = 147,464 - 103,1(dB)$$

$$MG(dB) = 44,364$$

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 [IX] 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 figura 5a muestra el mapa digital de la zona y la ubicación de las dos estaciones mientras que la figura 5b muestra los lóbulos de radiación de las antenas. Finalmente la Figura 6 simula el trazado del perfil para el enlace inalámbrico.

FIGURA 5a. Mapa digital del área de cobertura

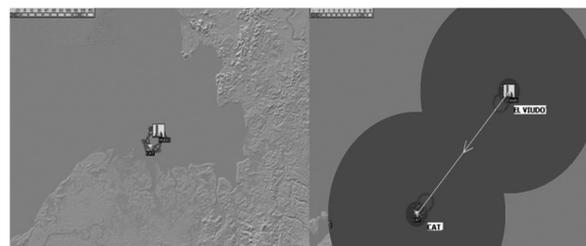


FIGURA 5b. Simulación del patrón de radiación de las antenas en la estación transmisora y la estación receptora

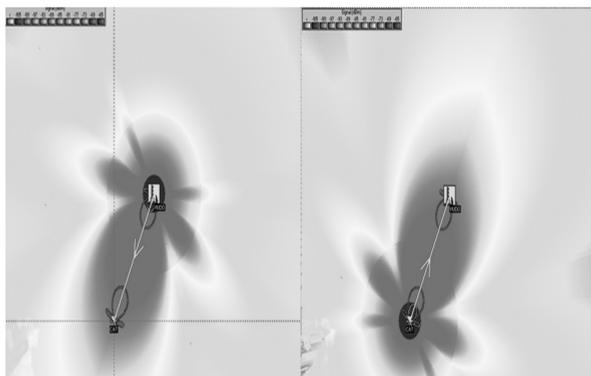
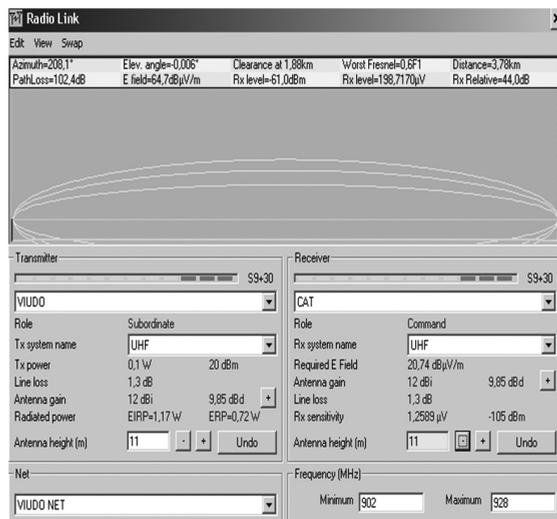


FIGURA 6. Simulación del trazado de perfil para evaluar la calidad del enlace inalámbrico



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 Fresnel.

Como se puede observar el simulador sugiere que las antenas deben tener una altura de 11 m, estar muy bien alineadas dada su condición de directividad y finalmente que éstas sean de polarización horizontal debido a que es necesario ganar cobertura.

Para la realización de las pruebas de transmisión de datos se configuro un radio modem maestro y un radio modem esclavo ya que se trata de un enlace punto a punto.

Cabe anotar además que para las pruebas realizadas se selecciono una tasa de 9600 baudios 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 sí 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.

2. RESULTADOS OBTENIDOS

2.1 MONITOREO Y VISUALIZACIÓN DE LA VARIACIÓN DEL NIVEL DE LA MAREA

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 [X] el cual consiste en descomponer los registros del nivel del mar en un número finito de componentes (ondas), cuyo periodo 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 según (11) utilizando el método de análisis de armónico por mínimos cuadrados (HAMELS) [XI], [XII], [XIII].

El método de mínimos cuadrados usado en el análisis de mareas puede ser interpretado como una forma de regresión lineal múltiple. Para observar como esto se aplica al análisis de mareas se considera inicialmente un ejemplo de regresión múltiple a la cual se le llamará ecuación de predicción la cual contiene tres incógnitas y dos variables independientes.

El análisis de la marea para m componentes requiere una ecuación lineal que represente el movimiento periódico en términos de las funciones seno y coseno, dada por:

$$Sma(t) = a_0 + \sum_{i=1}^n A_i \cos(\omega_i t) + \sum_{i=1}^n B_i \sin(\omega_i t) \quad (10)$$

Aquí las incógnitas son los coeficientes $A_0, A_1, B_1, \dots, A_m, B_m$ y t es la serie de tiempo y cuya solución utilizando mínimos cuadrados tiene la forma de la ecuación (8). Para demostrarlo se recurre una expresión matricial en la cual se consideran los tres primeros términos.

$$[X] = \begin{bmatrix} 1 & \cos\omega_1 t_1 & \sin\omega_1 t_1 \\ 1 & \cos\omega_1 t_1 & \sin\omega_1 t_1 \\ 1 & \cos\omega_1 t_1 & \sin\omega_1 t_1 \\ \dots & & \\ 1 & \cos\omega_1 t_1 & \sin\omega_1 t_1 \end{bmatrix}; [Y] = \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ h_3 \\ \dots \\ h_n \end{bmatrix}$$

Luego se multiplica nuevamente la matriz $[X]$ por la transpuesta $[X]'$ para obtener una primera matriz.

$$[SSX] = [X]'[X] = \begin{bmatrix} n & \sum_{i=1}^n \cos\omega_1 t_i & \sum_{i=1}^n \sin\omega_1 t_i \\ \sum_{i=1}^n \cos\omega_1 t_i & \sum_{i=1}^n \cos^2\omega_1 t_i & \sum_{i=1}^n \sin\omega_1 t_i \cos\omega_1 t_i \\ \sum_{i=1}^n \sin\omega_1 t_i & \sum_{i=1}^n \sin\omega_1 t_i \cos\omega_1 t_i & \sum_{i=1}^n \sin^2\omega_1 t_i \end{bmatrix}$$

Se obtiene la segunda matriz al multiplicar $[Y]$ por la transpuesta $[X]'$

$$[SXY] = [X]'[Y] = \begin{bmatrix} n & \sum_{i=1}^n h_i \\ \sum_{i=1}^n h_i \cos\omega_1 t_i \\ \sum_{i=1}^n h_i \sin\omega_1 t_i \end{bmatrix}$$

Para finalmente llegar a la ecuación

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

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 .
 ϕ_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 resume las componentes armónicas consideradas para la Bahía de Tumaco.

TABLA 7. Componentes armónicas de marea astronómica modelada punto mareógrafo Tumaco – Costa Pacifica Colombiana.

Componente	Frecuencia (grad/hora)	Amplitud(m)	Fase(°)
M2	28.984104	1.239991452	48.86627726
S2	30	0.403527436	172.0575402
K2	30.082137	0.162178699	349.6396397
N2	28.439730	0.296845972	304.4435731
Q1	13.398661	0.006003765	273.0827801
O1	13.943036	0.023683284	306.9195906
P1	14.958931	0.057917401	323.8889158
K1	15.041069	0.099498019	353.307154
M4	57.96821	0.01608095	121.9749351
MS4	58.984104	0.004474161	208.0235054
M6	86.952312	0.002855991	59.92008293

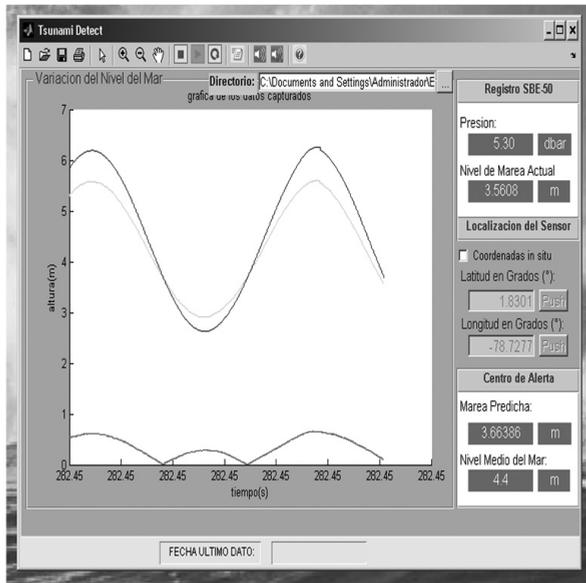
Teniendo en cuenta las anteriores se desarrollo el software Tsunami Detect, Figura 7, y cuyas características principales son:

- Permite el monitoreo y visualización de la información transmitida por el sensor tiempo cuasi real.
- El software permite controlar el proceso de adquisición de datos por medio de botones o iconos como son inicio, parada y actualización.
- Realiza una gráfica 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.
- El umbral de activación de las alertas puede ser automático o configurable por el usuario y permite ser silenciado hasta la llegada del próximo dato.
- 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 graficas generadas.

En el 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 se activa automáticamente la alarma.

FIGURA 7. Monitoreo de la marea real y la marea astronómica predicha utilizando el software Tsunami Detect



2.2 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 de la marea y el comportamiento 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.

FIGURA 8. Monitoreo de la marea en tiempo real desde el Centro de Alerta de Tsunami



3. CONCLUSIONES

El sensor oceanográfico de presión SEABIRD SBE-50 pese a sus limitaciones demostró ser un instrumento confiable y sensible al momento de capturar y transmitir datos a través de su interfaz serie.

El software de simulación Radio Mobile fue una herramienta fundamental para el desarrollo del proyecto ya que permitió predecir el comportamiento de la señal electromagnética, haciendo posible con ello elegir el mejor sitio de emplazamiento para los equipos de transmisión, el tipo y altura de las antenas.

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.

Los cálculos matemáticos realizados para diseñar la etapa de alimentación del sistema permitieron la elección apropiada de paneles solares, baterías y reguladores de carga.

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 resultó 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.

4. REFERENCIAS

- [I] STEWART, Robert. Introduction To Physical Oceanography. Department of Oceanography. Texas University, 2002.
- [II] MULLER, P. The Equations of Oceanic Motions. University of Hawaii: Cambridge University Press, 2006.
- [III] SATAKE, Kenji. Tsunamis. Case Studies and Recent Developments. Dordrecht, Holanda: Springer, 2005.
- [IV] Dirección General Marítima. Centro Control Contaminación del Pacífico. "Impacto del Tsunami sobre el litoral pacífico colombiano". Disponible en: <http://www.cccp.org.co/modules>
- [V] Mapa de Radiación Solar para el Territorio Colombiano. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/files/atlas/mapas%20jpg/radiacion.jpg>
- [VI] Manual técnico del sensor oceanográfico de presión SEABIRD SBE-50. Disponible en: http://www.seabird.com/pdf_documents/manuals/50_008.pdf
- [VII] Manual técnico del radio modem spread spectrum MHX 910A. Disponible en: <http://www.microhardcorp.com/brochures>
- [VIII] TSE, D. VISWANATH, P. Fundamentals of wireless Communication. New York: Cambridge University Press, 2005.
- [IX] Radio Mobile, Freeware by VE2DBE V7.6.9. Disponible en: <http://www.cplus.org/rmw/english1.html>

[X] BOON, J. Secrets of the tide. Chichester, UK: Horwood Publishing, 2004.

[XI] MIDDLETON, Gerard. Data analysis in the earth sciences using Matlab. Prentice Hall, 2000.

[XII] DEAN, Robert. DALRYMPLE Robert. Water wave mechanics for engineers and scientists. Prentice Hall, 1996.

[XIII] BLOOMFIELD, P. Fourier analysis of time series. An introduction. John Wiley & Sons, 2000.

AUTORES

- * Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones e Ingeniero Físico de la Universidad del Cauca. Actualmente se desempeña como director de la empresa SOLARTEC y como consultor asociado al Centro Control Contaminación del Pacífico como ingeniero encargado de la planeación e implementación de sistemas de seguridad, electrónicos. Investigador asociado al grupo I+D en Nuevas Tecnologías en Telecomunicaciones (GNTT) perteneciente al departamento de telecomunicaciones de la Universidad del Cauca. Áreas de interés: Wi-Fi, WIMAX, Gestión de redes de telecomunicaciones, instrumentación industrial y energías renovables.
e-mail: psolarte@unicauca.edu.co;
psolartec@gmail.com
- ** Docente de la facultad de Ingeniería Electrónica y de Telecomunicaciones de la Universidad del Cauca. Magister en electrónica y telecomunicaciones de la Universidad del Cauca. Investigador del Grupo I+D en Nuevas Tecnologías en Telecomunicaciones (GNTT) adscrito al departamento de telecomunicaciones. Áreas de interés: Comunicaciones inalámbricas, Voz sobre IP, Servicios de Internet.
e-mail: gagredo@unicauca.edu.co