

**IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE TELEMETRIA DE BAJO COSTO PARA LA
DETECCION TEMPRANA DE EVENTOS TSUNAMIGENICOS ASOCIADOS A LAS
VARIACIONES DEL NIVEL DE LA MAREA EN LA BAHIA DE TUMACO**



PEDRO ALEXANDER SOLARTE VARNEY

UNIVERSIDAD DEL CAUCA

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACION

PROGRAMA DE INGENIERIA FISICA

POPAYAN

2010

**IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE TELEMETRIA DE BAJO COSTO PARA LA
DETECCION TEMPRANA DE EVENTOS TSUNAMIGENICOS ASOCIADOS A LAS
VARIACIONES DEL NIVEL DE LA MAREA EN LA BAHIA DE TUMACO**

PEDRO ALEXANDER SOLARTE VARNEY

**Trabajo de Grado
Presentado como requisito parcial
para optar al título de Ingeniero Físico**

Director:

**Capitán de Corbeta. David Alejandro Escobar Mármol
Centro Control Contaminación del Pacífico**

Co-director:

**Msc. Luis Fernando Echeverri
Universidad del Cauca**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACION
PROGRAMA DE INGENIERIA FISICA
POPAYAN
2010**

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCION	1
1. MARCO TEORICO Y ESTADO DEL ARTE	2
1.1. TSUNAMI.....	8
1.2. MODELAMIENTO DE UNA ONDA TSUNAMI.....	5
1.3. SISTEMAS DE DETECCION DE TSUNAMI.....	9
1.4. ALGORITMOS DE PREDICCION DE TSUNAMI.....	11
1.5. TSUNAMIS EN COLOMBIA	14
2. DESCRIPCION DEL SISTEMA DE TELEMETRIA PROPUESTO PARA EL CENTRO DE ALERTA DE TSUNAMI	16
2.1. MONITOREO DEL NIVEL DE LA MAREA.....	17
2.2. TRANSMISION DE LOS DATOS.....	18
2.2.1. Energía de radio frecuencia.....	19
2.2.2. Línea de vista.....	19
2.2.3. Pérdidas del trayecto y cobertura del sistema.....	20
2.2.4. Modelo ITS Longley Rice.....	21
2.2.5. Radio modem <i>spread spectrum</i> o de espectro ensanchado.....	22
2.2.6. Antenas.....	23
2.2.7. Cables y conectores.....	24
2.2.8. Herramientas de simulación del enlace inalámbrico.....	25
2.3. SUMINISTRO DE ENERGIA.....	26
2.3.1. Páneles solares.....	26

2.3.2. Baterías.....	27
2.3.3. Reguladores de voltaje.....	27
2.4. PROCESAMIENTO Y PRESENTACION DE LA INFORMACION.....	28
3. IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE TELEMETRIA Y RESULTADOS	
OBTENIDOS.....	30
3.1. MONITOREO DEL NIVEL DE LA MAREA.....	31
3.1.1. Observaciones y recomendaciones.....	33
3.2. TRANSMISION DE LOS DATOS.....	33
3.2.1. Observaciones y recomendaciones.....	40
3.3. SUMINISTRO DE ENERGIA.....	41
3.3.1. Observaciones y recomendaciones.....	46
3.4. PROCESAMIENTO Y PRESENTACION DE LA INFORMACION.....	47
3.4.1. Descripción de rutinas software.....	47
3.4.2. Descripción y funcionamiento de la herramienta Tsunami Detect.....	48
3.5 COSTO DE IMPLEMENTACION DEL SISTEMA.....	53
CONCLUSIONES.....	54
BIBLIOGRAFIA.....	56
ANEXOS	
ANEXO A. LISTA DE COMANDOS DE CONFIGURACION PARA EL SENSOR OCEANOGRAFICO DE PRESION SEABIRD SBE-50	
ANEXO B. LISTA DE COMANDOS DE CONFIGURACION PARA EL RADIO MODEM SPREAD SPECTRUM MHX 910A	
ANEXO C. RUTINAS EN MATLAB PARA EL SOFTWARE TSUNAMI DETECT	

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Causas de tsunamis y su porcentaje de ocurrencia.....	3
Tabla 2. Tsunamis significativos en los últimos 30 años.....	5
Tabla 3. Componentes armónicas de marea astronómica para Tumaco.....	13
Tabla 4. Distribución geográfica de tsunamis ocurridos en el siglo pasado.....	15
Tabla 5. Características técnicas del sensor SEABIRD SBE-50	17
Tabla 6. Rangos de frecuencia para las bandas VHF y UHF.....	19
Tabla 7. Características técnicas del radio modem serial <i>spread spectrum</i> MHX-910a....	23
Tabla 8. Características técnicas de la antena directiva tipo Yagui.....	24
Tabla 9. Tabla de valores de atenuación para el cable coaxial LMR-200.....	25
Tabla 10. Características técnicas del panel solar Atersa.....	27
Tabla 11. Características eléctricas de los dispositivos empleados en la implementación del sistema de telemetría.....	45
Tabla 12. Presupuesto energético total para alimentar el sistema de telemetría.....	47
Tabla 13. Costo de equipos para implementar el sistema de telemetría.....	55

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Modelación del tsunami generado por desprendimiento de tierra	2
Figura 2. Simulación de un evento tsunamigénico.....	3
Figura 3. Condiciones geométricas para una onda larga.....	6
Figura 4. Diagrama de refracción de ondas con contornos de tiempo de arribo. Tsunami de Indonesia.	8
Figura 5. Sistema DART instalado en las costas de Chile para la detección temprana de tsunamis.....	10
Figura 6. Diagrama esquemático del sistema de telemetría a implementar para la detección temprana de eventos tsunamigénicos propuesto por el CAT-CCCP.....	11
Figura 7. Monitoreo de un evento tsunamigénico utilizando la boya DART.....	12
Figura 8. Efectos del tsunami de 1979 en Tumaco.....	15
Figura 9. Diagrama esquemático del sistema de telemetría a implementar para la detección temprana de eventos tsunamigénicos propuesto por el CAT-CCCP.....	16
Figura 10. Sensor oceánico de presión SEABIRD SBE-50.....	17
Figura 11. Interfaz grafica del software SEATERM para el sensor SBE50.....	18
Figura 12. Pérdidas con relación a la distancia y a la frecuencia.....	20
Figura 13. Tarjeta electrónica del radio modem serial spread spectrum MHX 910A.....	23
Figura 14. Interfaz grafica de la herramienta <i>Radio Mobile</i>	26
Figura 15. Interfaz grafica del software <i>Tsunami Detect</i>	29
Figura 16. Vista aérea de la zona de implementación del sistema de telemetría en la Bahía de Tumaco.	31
Figura 17. Interfaz de configuración del software SEATERM para el sensor de presión.....	32
Figura 18. Configuración y prueba realizada con el sensor de presión.....	32
Figura 19. Diagrama pictórico del sistema de comunicaciones.....	34
Figura 20. Ubicación y simulación del patrón de radiación para las antenas en la estación transmisora y la estación receptora.....	36

Figura 21. Simulación del trazado de perfil para evaluar la calidad del enlace inalámbrico.....	36
Figura 22. Parámetros de configuración del radio modem maestro.....	37
Figura 23. Parámetros de configuración del radio modem esclavo.....	37
Figura 24. Prueba de configuración del radio modem maestro y esclavo.....	38
Figura 25. Prueba inicial de transmisión de datos utilizando antenas directivas.....	39
Figura 26. Instalación final de antenas y dispositivos de comunicación.....	39
Figura 27. Cobertura del sistema de comunicaciones y simulación del patrón de radiación para las antenas en la estación transmisora y estación receptora.....	41
Figura 28. Simulación del trazado de perfil para evaluar la calidad del enlace	41
Figura 29. Manera correcta de instalar la tarjeta MHX 910 A.....	43
Figura 30. Distribución de la radiación global para Colombia.....	44
Figura 31. Pruebas realizadas con paneles solares y baterías para evaluar el rendimiento del sistema de alimentación autónomo.....	46
Figura 32. Instalación definitiva de los paneles solares, baterías y reguladores de voltaje en la estación transmisora.....	48
Figura 33. Presentación inicial y de configuración del software <i>Tsunami Detect</i>	50
Figura 34. Interfaz grafica principal del software <i>Tsunami Detect</i>	51
Figura 35. Adquisición y monitoreo de la marea real y la marea predicha utilizando el software <i>Tsunami Detect</i>	53
Figura 36. Instalación final del sistema de telemetría.....	54

LISTA DE ACRONIMOS

- CAT:** Centro de Alerta de Tsunami
- CCCP:** Centro Control Contaminación del Pacífico
- CICESE:** Centro de investigación Científica y de Educación Superior de Baja
Ensenada California
- COI:** Comisión Oceanográfica Intergubernamental
- DART:** *Deep Ocean Assessment and Reporting of Tsunamis*
- DIMAR:** Dirección Marítima Regional
- DSSS:** *Direct Sequence Spread Spectrum*
- FHSS:** *Frequency Hop Spread Spectrum*
- PTWC:** *Pacific Tsunami Warning Center*
- SOM:** *System Operative Margin*
- SHOA:** Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada
- TIME:** *Tsunami Inundation Modeling for Exchange*
- UIGG:** Unión internacional de Geofísica y Geodésica

INTRODUCCION

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. Durante el siglo pasado cuatro tsunamis afectaron el litoral Pacífico colombiano, destacándose el ocurrido en el año 1979 el cual fue aplacado en gran medida por los depósitos sedimentarios que conformaban la isla del Guano. Aunque estos depósitos absorbieron gran parte de la energía del tsunami los efectos fueron lamentables como es el caso de la población de San Juan de la Costa que fue borrada del mapa. Se estima que como consecuencia del sismo-tsunami, fallecieron cerca de 500 personas, 1000 resultaron heridas y más de 3000 viviendas resultaron afectadas. Pero fue a partir de la tragedia ocurrida en Indonesia (26 de diciembre de 2004) que varios países del mundo comenzaron a pensar en sistemas que permitieran la detección temprana de tsunamis mediante el uso de sensores de alta sensibilidad que transmitieran datos oceanográficos, especialmente los correspondientes a las variaciones del nivel del mar, haciendo uso de las diferentes tecnologías de comunicación. Entre los proyectos más representativos está el llamado "Establecimiento de la Red Nacional de Estaciones Oceanográficas y Meteorológicas (RENEOM)". Por otra parte el Sistema Radial del Tiempo de la NOAA, basado en un gran número de lugares de transmisión VHF, proporciona un envío directo de la información de tsunami al público.

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 2009 culmina la implementación del primer sistema de telemetría de bajo costo para alerta temprana de tsunami el cual sirve de soporte al Centro de Alerta de Tsunami (CAT-CCCP) en la Costa Pacífica de Colombia.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Implementar un sistema de telemetría de bajo costo y fácil configuración que permita detectar variaciones del nivel del mar asociado a un evento tsunamigénico en la bahía de Tumaco.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Configurar e interconectar el sistema de comunicaciones para la transmisión de las variaciones del nivel del mar provenientes de un sensor de presión.
- Visualizar los datos generados por un sensor de presión a través una interfaz gráfica.
- Comparar y visualizar el nivel de marea predicho y el nivel de marea actual.
- Presentar un plan de pruebas que permita conocer las capacidades del sistema de comunicaciones.

1. MARCO TEORICO Y ESTADO DEL ARTE

1.1 TSUNAMI

En 1964 la Unión internacional de Geofísica y Geodésica (IUGG) adoptó el término "tsunami" para referirse en forma más exacta a este fenómeno. TSU-NAMI es una palabra de origen japonés que proviene de las palabras TSU (grandes olas) y NAMI (puerto) y literalmente significa "grandes olas en puerto". Un tsunami puede ocurrir en cualquier zona hídrica de grandes dimensiones como ríos, mares y océanos. Un tsunami está compuesto por una serie continua de olas marinas con gran longitud, corto periodo y reducida amplitud en altamar; estas olas u ondas de tsunami se propagan en todas las direcciones a partir de un foco central siendo generalmente la dirección de propagación la que transporta la energía principal, ortogonal a la dirección del eje de perturbación. Dicha perturbación es generalmente provocada por movimientos fuertes de la tierra en el lecho marino, aunque no es esta la única fuente de tsunamis. Existen diversas causas que pueden generarlos, destacándose los sismos o terremotos; con menor frecuencia se producen por erupciones volcánicas, desprendimientos de grandes volúmenes de tierra costera (Figura 1) o fenómenos meteorológicos y con muy poca frecuencia por el impacto de un meteorito sobre la superficie oceánica.

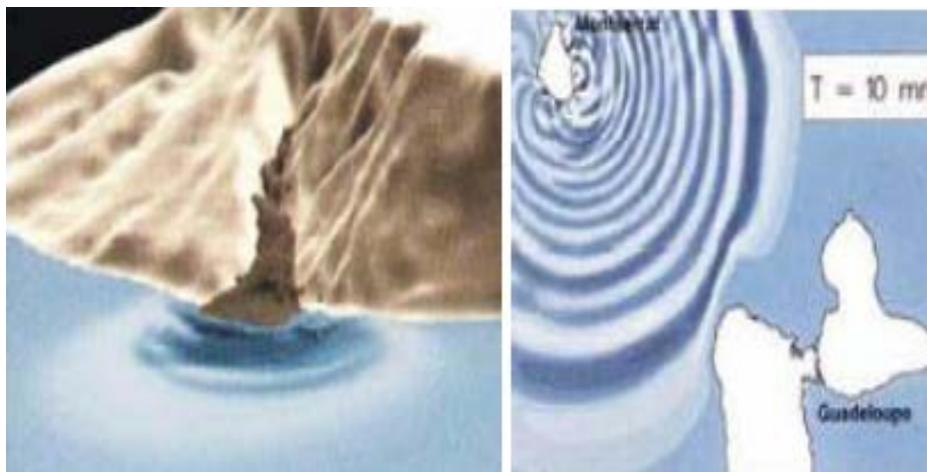


Figura 1. Modelación del tsunami generado por desprendimiento de tierra

La proporción de las diferentes causas generadoras de tsunami en el océano, según el instituto de Matemáticas Geofísica y Computacionales de Novosibirsk-Rusia [1], se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Causas de tsunamis y su porcentaje de ocurrencia

Causa	Proporción
Sismos-Terremotos	75%
Desprendimientos de tierra	8%
Volcanes	5%
Fenómenos meteorológicos	2%
Desconocida	10%

Durante la actividad sísmica el fenómeno denominado tectonismo de placas hace que la placa oceánica choque con la placa continental produciéndose un hundimiento o subducción. La liberación de la energía generada por la fricción acumulada como resultado del choque de las placas tectónicas en sentidos opuestos ocasiona el movimiento de la corteza terrestre y en consecuencia el sismo. En el momento en que el piso oceánico sufre la deformación de su superficie el agua en la superficie oceánica se eleva y se producen las ondas de tsunamis (Figura 2) [2].

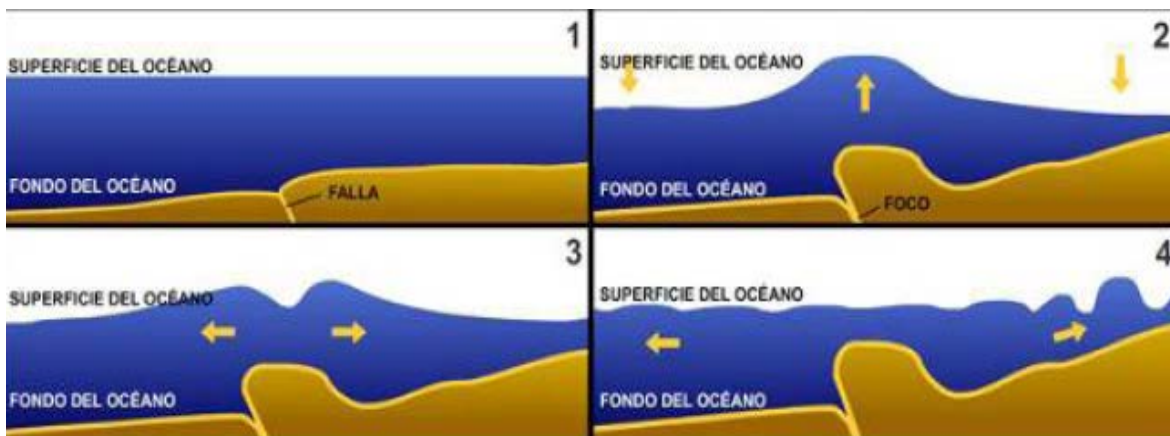


Figura 2. Simulación de un evento tsunamigénico

Existen dos principales categorías en las que se dividen los tsunamis, esta caracterización se da de acuerdo a su lugar de origen:

- Tsunami de origen cercano: es aquel cuya fuente de perturbación se presenta a distancias menores que 100 km de distancia de la zona de impacto. Pueden ser causados por flujos piroclásticos de erupciones volcánicas, deslizamientos de tierra o terremotos.
- Tsunami de origen lejano: es aquel cuya fuente de perturbación se presenta a distancias mayores a 100 km de distancia de la zona de impacto. Son

generados por terremotos de gran magnitud que logran liberar una gran cantidad de energía y transmitirla a la columna de agua oceánica.

Es de gran importancia identificar en caso de ocurrencia de un sismo u otro evento tsunamigénico la posición del mismo, para estimar el tiempo que tarda en llegar a la costa. En caso de ser un tsunami de origen cercano, generalmente se cuenta con tiempo para disparar alertas desde pocos minutos hasta algunas horas (2 horas máximo), mientras que para tsunamis de origen lejano se consideran tiempos de respuesta hasta 22 horas, como fue el caso del tsunami de 1960 generado en la costa de Chile que atravesó todo el Océano Pacífico hasta llegar a las costas de Japón [3]. En la actualidad existe una red mundial de sismógrafos en el océano, que permite ubicar el foco del sismo (lugar de origen). Es importante aclarar que no todos los sismos que se generan en el océano producen tsunamis, se calcula que en el mundo ocurren cerca de dos sismos por minuto. Por esta razón se presenta la necesidad de monitorear constantemente cada sismo que ocurre, y de esta manera establecer si presenta una amenaza importante.

Las olas tsunami se propagan a una velocidad que depende de la profundidad del agua, razón por la cual en el impacto de las olas en las costas influyen de manera importante los cambios de profundidad en el lecho marino. Las olas se pueden ver aumentadas o disminuidas según las irregularidades del lecho marino que generan un enfoque o desenfoque de la energía transmitida. En el océano profundo la velocidad de las olas pueden oscilar entre los 500 y 1000 km/h, con longitudes de onda de entre 500 y 650 km y altura entre 30 y 50 cm, de ahí que no son identificables a simple vista cuando se está en mar abierto. Cuando un tsunami inunda la costa hay cinco tipos de fuerzas que amenazan las estructuras físicas y ponen en peligro la vida de los seres que ahí habitan y son:

1. Las fuerzas boyantes generadas por inmersión parcial o total, que tienden a levantar las estructuras de sus cimientos.
2. Las fuerzas de arrastre debido a las altas velocidades del agua que inunda las zonas de tierra, capaces de destruir o arrastrar hacia la tierra o en dirección al mar estructuras o elementos con la ayuda de fuerzas boyantes y generar importantes procesos de socavación en las bases de las estructuras.
3. Las fuerzas de impacto debido a la onda principal del tsunami.

4. Las fuerzas de impacto que generan cantidad de movimiento que al sumarse con otras fuerzas desplazan las estructuras en la dirección de la corriente. Casos particulares se presentan con edificios, botes, vehículos, tanques de combustible, arboles o cualquier elemento arrastrado por el agua, que pueden destruir estructuras por impacto.
5. Las fuerzas hidrostáticas, capaces de hacer colapsar estructuras o muros.

Los tsunamis más destructivos de los últimos 30 años se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Tsunamis significativos en los últimos 30 años

Fecha	Localización	Pérdida de vidas (estimadas)
17/08/1976	Filipinas	8000
19/08/1977	Indonesia	189
18/07/1979	Indonesia	540
12/12/1979	Colombia	500
02/09/1992	Nicaragua	168
12/12/1992	Isla flores, indonesia	1000
12/07/1993	Japón	230
03/06/1994	Java, Indonesia	222
17/07/1998	Papua Nueva Guinea	2500
26/12/2004	Indonesia	250000

1.2 MODELAMIENTO DE UNA ONDA TSUNAMI

Con el fin de poder entender las condiciones bajo las cuales se produce un tsunami es necesario conocer las características físicas de la onda que este fenómeno oceánico genera [4], [5]. Para ello se considera un sistema de coordenadas con el origen a nivel de la superficie de agua en reposo. Las condiciones geométricas para una onda con velocidad de propagación \bar{V} (vector con componentes U y W en X y Z respectivamente) se presentan en la Figura 3. A este tipo de ondas se les conoce también como gravitacionales dado que la gravedad es la que controla el mecanismo de restauración del medio tal como lo indica (1).

$$\frac{D\bar{V}}{Dt} = -\mathbf{g} - \frac{1}{\rho} \nabla p \quad (1)$$

Donde

$$\frac{D\bar{V}}{Dt} = -\frac{\partial \bar{V}}{\partial t} + \bar{V} \cdot \nabla \bar{V}$$

$\nabla \bar{V}$ = Gradiente de velocidades

g = Vector en tres componentes de aceleración gravitacional

ρ = Densidad del medio de propagación

∇p = Gradiente de presión

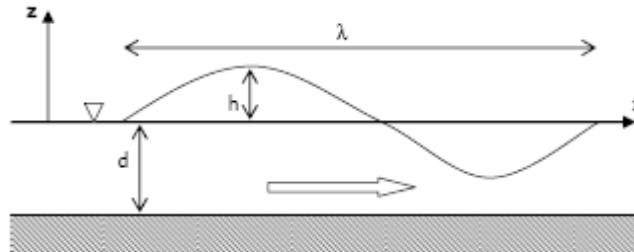


Figura 3. Condiciones geométricas para una onda larga

En el caso en que la longitud de onda (λ) sea mucho mayor que la profundidad del medio (d), es decir, $(\lambda \gg d)$, la aceleración vertical de las partículas es despreciable comparada con la aceleración gravitacional. Esto implica que el movimiento de la masa de agua en dirección horizontal es prácticamente constante desde el fondo hasta la superficie. A este tipo de ondas se les conoce como ondas largas, u ondas en aguas someras (*shallow-water waves*). Para el caso de los tsunamis, la profundidad de los océanos se encuentra alrededor de los 5 km, mientras que la longitud del frente de ondas puede ser de varios cientos de kilómetros. Por este motivo la aproximación de onda larga es suficientemente válida para caracterizar el desplazamiento de una onda tsunami en mar abierto. Al reemplazar el gradiente de presiones por la pendiente de la superficie del agua se tiene (2).

$$\frac{Du}{Dt} = -g \frac{\partial h}{\partial x} \quad (2)$$

El caso de una onda tsunami el termino no lineal es pequeño y por lo tanto puede ignorarse obteniendo (3)

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -g \frac{\partial h}{\partial x} \quad (3)$$

En el caso particular en que la amplitud vertical (h) del movimiento sea muy pequeña en comparación a la profundidad del agua ($d \gg h$), la ecuación de continuidad puede escribirse como (4)

$$\frac{\partial h}{\partial t} = -\frac{\partial(\mathbf{du})}{\partial \mathbf{x}} \quad (4)$$

Ondas de este tipo se conocen como ondas largas lineales de baja amplitud. Las suposiciones realizadas son validas para describir el movimiento de tsunamis, excepto en regiones aledañas a la costa. Empleando las ecuaciones 3 y 4, se deriva la ecuación de onda característica de este fenómeno (5), considerando la profundidad d como constante.

$$\frac{\partial^2 h}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} \quad (5)$$

Donde $c = \sqrt{gd}$, corresponde a la velocidad de propagación de la onda tsunami.

Al suponer que el comportamiento hidrodinámico de tsunamis se basa en la teoría de ondas largas, es posible emplear la geometría de rayos utilizada en óptica para determinar aproximadamente el tiempo que le tomara al frente de onda arribar a un destino específico. Esta información es crucial para el correcto funcionamiento de sistemas de alerta temprana, que sean capaces de predecir el tiempo de llegada de las ondas, y que permita la ejecución de los programas locales de evacuación y respuesta a la emergencia. Teniendo en cuenta este método se elaboran los mapas de refracción de ondas los cuales muestran contornos correspondientes al tiempo de arribo de la onda tsunami (Figura 4).

Realizando un análisis de conservación de energía a lo largo de uno de los rayos del mapa de refracción se obtiene (6).

$$b_{i-1} \frac{\sqrt{d_{i-1}}}{h_{i-1}^2} = b_i \frac{\sqrt{d_i}}{h_i^2} \quad (6)$$

Donde b es la distancia entre rayos, d es la profundidad del agua, y h es la amplitud del tsunami (amplitud del agua desde el nivel de reposo). Los subíndices i-1 e i, representan dos estados inmediatos del análisis. Si se conoce la amplitud del tsunami en un estado inicial determinado, junto con las características oceánicas y de

propagación de la onda, es posible estimar la amplitud en el estado siguiente por medio de la ecuación (7)

$$h_i = h_{i-1} \left(\frac{b_{i-1}}{b_i} \right)^{1/2} \left(\frac{d_{i-1}}{d_i} \right)^{1/4} \quad (7)$$

Esta relación se conoce como ley de Green. Es una relación general de propagación de ondas en medios someros que puede ser aplicada para el caso de tsunamis. La relación b_i / b_{i-1} representa la dispersión de los rayos a medida que se propaga la onda. Los rayos se distribuyen de manera perpendicular a los contornos del frente de onda con origen común en el epicentro sísmico o la fuente generadora.

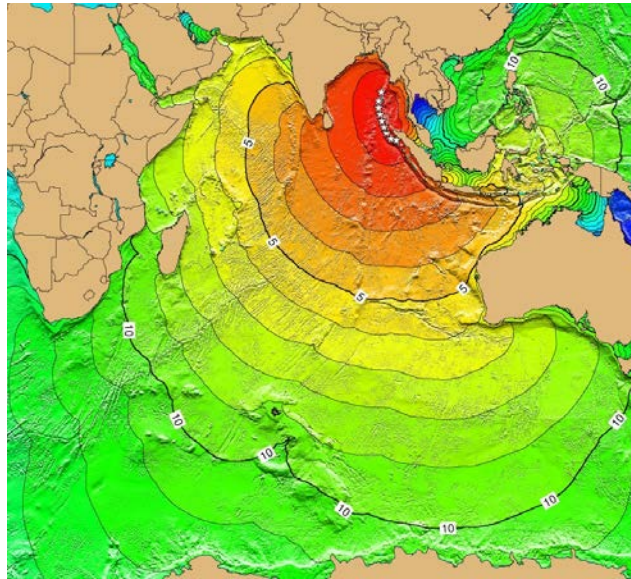


Figura 4. Diagrama de refracción de ondas con contornos de tiempo de arribo. Tsunami de Indonesia.

Para simular adecuadamente la altura de una onda tsunami en la costa y su penetración tierra adentro es necesario incluir los términos no lineales. La inclusión de estos términos requiere de una batimetría de alta resolución costera. Alternativamente es posible emplear la ley de Green para aproximar la altura del tsunami en la costa, n_2 , a partir de la altura del tsunami para una isobara conocida, aplicando (8).

$$n_2 = n_1 \left(\frac{h_1}{h_2} \right)^{1/4} \quad (8)$$

Donde n_1 es la altura del tsunami aguas adentro sobre la isobara conocida, h_1 es la profundidad aguas adentro y h_2 es la profundidad cerca de la costa.

1.3 SISTEMAS DE DETECCIÓN DE TSUNAMI

Tradicionalmente la detección de tsunamis se ha hecho con base en la magnitud y ubicación de los sismos, que se determinan a partir de una red de sensores de movimiento que han sido instalados en el fondo del océano. A partir de la información proporcionada por esta red, y de la información conocida de la geografía marina y costera, entre otras variables, se procede a ejecutar rutinas software que modelan el comportamiento de la superficie del océano para determinar el impacto del sismo en las costas. En los últimos años se ha venido trabajando en sistemas de bajo costo para la detección de tsunamis basados en el monitoreo en tiempo real de las mareas, y en la actualidad en conjunto con la red de sismógrafos hacen parte de un solo sistema de alerta. Esto supone un gran avance para los centros de alerta de Tsunami, ya que aporta una herramienta que facilita la identificación y ratificación de la llegada de un tsunami a la costa. Una de las principales preocupaciones de los gobiernos es la emisión de falsas alarmas que generan grandes pérdidas económicas e incluso vidas, sumado a las grandes inversiones económicas que traen consigo la implementación de estaciones mareográficas y sismológicas.

El Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada Baja California (CICESE) trabajo en un observatorio de tsunamis en tiempo real y actualmente cuenta con tres estaciones. El centro trabajo en el diseño del sistema de observación de tsunamis en tiempo real durante los años 2002-2004 en el marco del proyecto "Respuesta de la Costa del Pacífico Oriental al impacto de tsunamis", proyecto interno del departamento de oceanografía física del CICESE. [6]

Otro sistema de interés se ha instalado en la costa de Chile, el cual consiste de una boya de alerta temprana para tsunamis "DART" (*Deep Ocean Assessment and Reporting of Tsunamis*) [7],[8], Figura 5, que permite confirmar rápidamente la existencia de un tsunami potencialmente destructivo.

El sistema se compone de dos unidades principales: un sensor de presión y una boya transmisora de datos. El sensor registrador de presión está instalado en el piso oceánico a una profundidad de 4.890 metros y es capaz de detectar oscilaciones del mar de 1 cm de altura. La boya instalada en la superficie del mar recibe la señal del

sensor y la retransmite, mediante el sistema satelital GOES, al SHOA (Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada) y al PTWC (*Pacific Tsunami Warning Center*) en tiempo real.

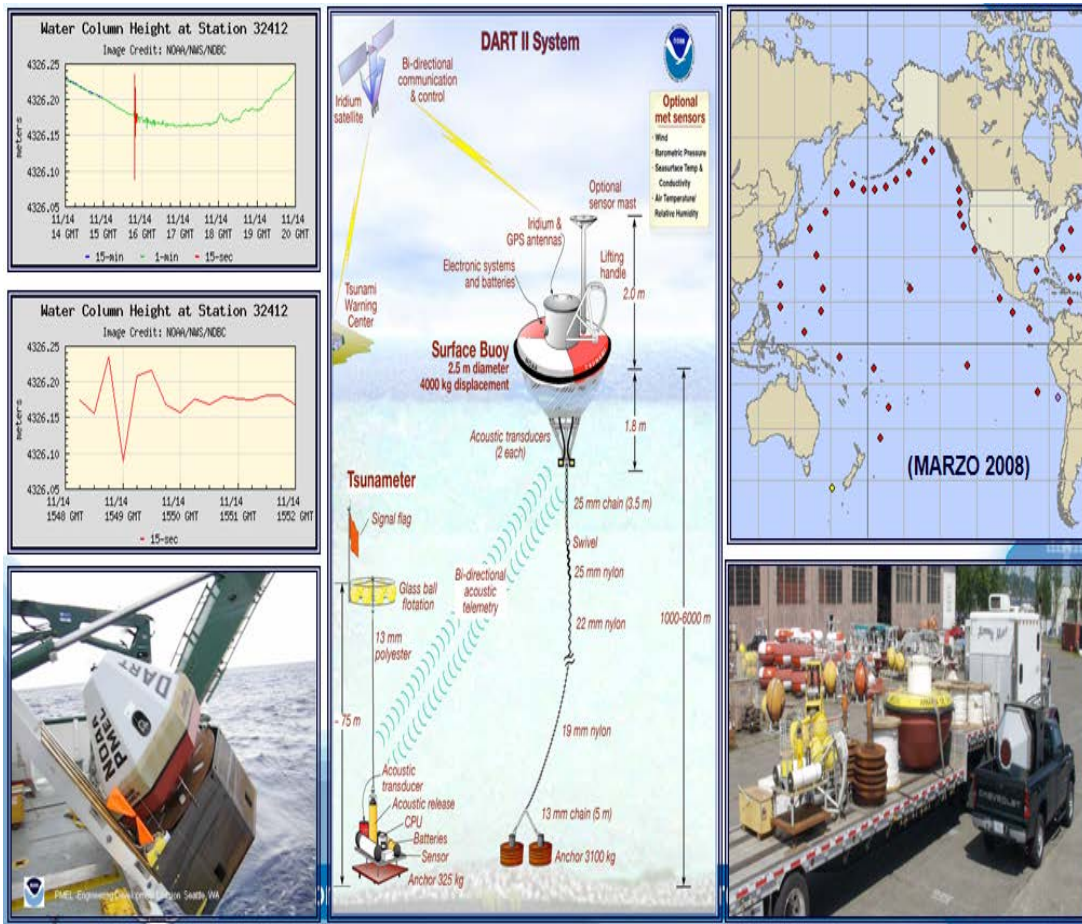


Figura 5. Sistema DART instalado en las costas de Chile para la detección temprana de tsunamis.

En Colombia el Centro Control Contaminación del Pacífico (CCCP) en su intento por prevenir a la población de la Costa Pacífica ante la posible llegada de un tsunami ha comenzado la primera etapa en el desarrollo de un sistema de telemetría de alerta temprana y de bajo costo. Para su implementación se cuenta con un sensor oceanográfico de presión el cual adquiere datos correspondientes a las variaciones del nivel de la marea in situ, tales datos serán transmitidos vía inalámbrica a través de un sistema de comunicaciones hacia una estación receptora para que finalmente puedan ser visualizados en las instalaciones del Centro de Alerta de Tsunami (CAT) ubicada en el Centro Control Contaminación del Pacífico de la Dirección Marítima Regional (DIMAR-CCCP) en la ciudad de Tumaco. Es importante destacar que el sistema a implementar

presenta una alta autonomía ya que el suministro de energía se logra a través de baterías y paneles solares tal como lo muestra la Figura 6.

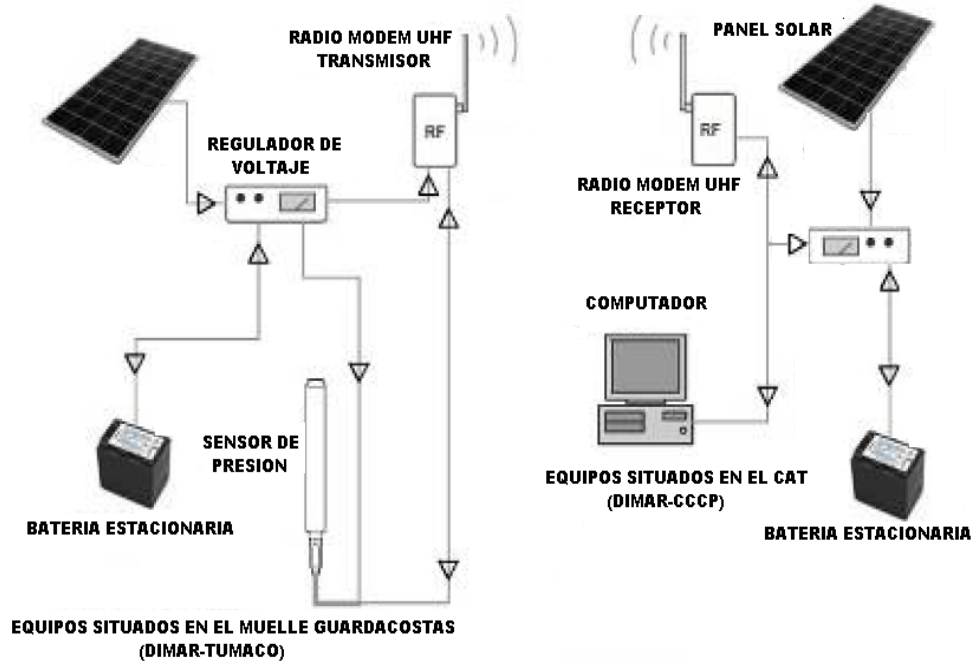


Figura 6. Diagrama esquemático del sistema de telemetría a implementar para la detección temprana de eventos tsunamigénicos propuesto por el CAT-CCCP.

1.4 ALGORITMOS DE PREDICCIÓN DE TSUNAMI

El algoritmo de detección de tsunami implementado en las boyas DART predice las variaciones del nivel de la marea en función de la presión cada 15 segundos, este nivel es comparado con un umbral de marea fijo y restado del nivel de marea observado tal como lo muestra la Figura 7, [9]. Si la amplitud excede el umbral la boya entra en modo de reporte rápido para dar información detallada acerca del evento tsunamigénico y permanece así durante un periodo de al menos 4 horas. La figura 7 también muestra que al momento de exceder el umbral se activa una bandera de valor de -1 indicando nuevamente que la boya se encuentra en modo de reporte rápido. Se debe tener en cuenta que este algoritmo se aplica en el caso de aguas profundas y muy alejadas de la zona costera por lo cual debe ser implementado en boyas especiales y equipadas con instrumentos electrónicos y de comunicaciones de alta tecnología. Por otra parte no hay documentación detallada acerca de la manera de implementar este algoritmo.

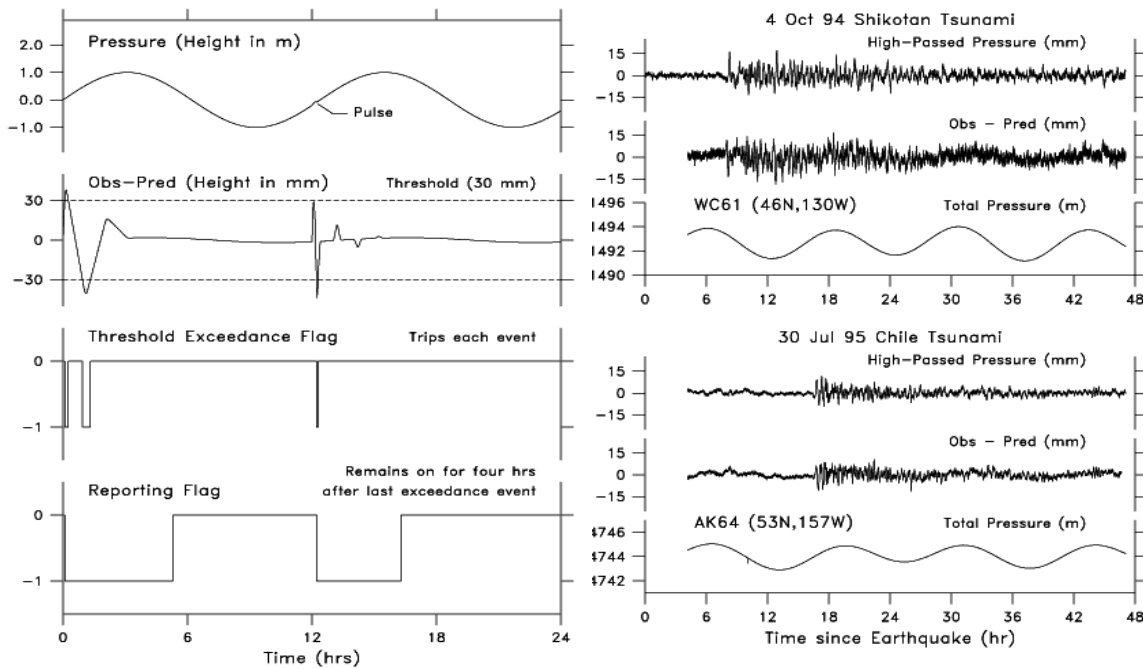


Figura 7. Monitoreo de un evento tsunamigénico utilizando la boya DART.

Otra forma aunque más simple de detectar las variaciones del nivel de la marea asociadas a un evento tsunamigénico tanto en aguas profundas como en aguas someras es a través de la implementación de un algoritmo software para predecir la marea astronómica, el cual se considero en el desarrollo de este proyecto. La marea astronómica se define como la variación regular (ascensos y descensos) del nivel del mar cada 12 o 24 horas debido a los efectos gravitacionales del sol y la luna. 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 numero finito de 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 formula de predicción de mareas [11], [12] tal como lo indica (9).

$$\mathbf{Sma}(t) = \mathbf{a}_0 + \sum_{i=1}^n \mathbf{a}_i \cos(\omega_i t + \varphi_i) \quad (9)$$

Donde

\mathbf{a}_0 = Es la amplitud del nivel medio de referencia.

\mathbf{a}_i = Es la amplitud de la onda

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 que se calcula la marea.

n= Es el número de componentes consideradas.

La tabla 3 muestra las componentes armónicas consideradas para la Bahía de Tumaco.

Tabla 3. Componentes armónicas de marea astronómica modelada punto mareógrafo Tumaco

Componente	Frecuencia (grad/hora)	Amplitud	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

S2= Constituyente solar semidiurna

M2= Efecto de la rotación de la Luna con respecto a la Tierra

N2= Constituyente elíptico lunar grande

K1= Constituyente diurno lunisolar

K2= Constituyente lunisolar semidiurno

O1= Constituyente lunar declinacional diurna

Q1= Constituyente lunar declinacional diurna

P1= Constituyente solar declinacional diurna

MS4= Constituyente de agua poco profundas cuartidiurnos

M6= Constituyente de agua poco profundas sextidiurnos

M4= Constituyente de agua poco profundas cuartidiurnos

1.5 TSUNAMIS EN COLOMBIA

El desarrollo geológico del territorio colombiano se ha generado, en términos generales, en dirección del Océano Pacífico a partir del Escudo Precámbrico de la Guayana; su emplazamiento tectónico es complejo pues en su territorio convergen las placas Suramericana, Caribe y Nazca, cuya interacción entre ellas y con el bloque de Norteamérica, ha dado origen a numerosos fenómenos sísmicos y volcánicos en el país, lo que cataloga a Colombia como un territorio de amenaza sísmica. La convergencia de las placas se ubica en la zona del Darién y parece ser uno de los pocos sitios del mundo donde se produce una unión triple. El movimiento de tipo convergente entre las placas ha generado un contexto tectónico comprensivo caracterizado por grandes fallas de cabalgamiento y fallas de rumbo. Los movimientos a lo largo de estas fallas son responsables de la actividad sísmica de Colombia y están íntimamente relacionados con la aparición de relieves que en algunos casos superan los 5000 metros de altura [13].

Sistemas de fallas de dirección Nor Noreste (NNE) como los sistemas Cauca- Romeral, han generado eventos tsunamigénicos superficiales con destrucción de poblaciones en el sur del país. El borde de subducción frente a las costas colombo-ecuatorianas genera eventos tsunamigénicos de magnitudes extremas como el ocurrido en el año 1906 (Magnitud >8.6) y los ocurridos en los años 1842, 1958 y 1979, los cuales produjeron cerca de 3000 víctimas fatales.

Las costas del Océano Pacífico colombiano son las que se encuentran con un grado significativo de exposición frente a un fenómeno natural de tsunami, dada su cercanía al litoral de la zona de subducción del pacífico, donde colisionan las placas tectónicas de Nazca y Suramericana (ver Tabla 4). Esta zona hace parte del cinturón de fuego del Pacífico considerada la zona sísmica más activa del planeta . La actividad sísmica del Caribe colombiano es menor que en el Pacífico, debido principalmente a un movimiento entre placas más lento sin existir subducción, lo cual conlleva a que no se genere la energía suficiente que permita originar un sismo de gran escala que ocasione una ola tsunami. Lo anterior no quiere decir que en la cuenca del mar Caribe no se produzcan tsunamis, pues las Antillas menores tienen una amenaza considerable al fenómeno, sin embargo, ante un posible tsunami generado en el arco de las Antillas, la ubicación geográfica de Colombia hace que la propagación de la ola no afecte gravemente el litoral Caribe colombiano.

Tabla 4. Distribución geográfica de tsunamis ocurridos en el siglo pasado

Zona geográfica	Proporción
Océano Pacífico	76%
Océano Atlántico	9%
Océano Indico	5%
Mar Mediterráneo	10%

Municipios del litoral pacífico, correspondientes a los departamentos de Nariño, Cauca y Valle del Cauca, son los que se encuentran en mayor grado de amenaza por tsunami, siendo el municipio de Tumaco el de mayor vulnerabilidad, 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.

Durante el siglo pasado cuatro tsunamis afectaron el litoral pacífico colombiano, destacándose los ocurridos en los años 1906 y 1979 por su devastador efecto. El primero borro del mapa a la población de Tumaco y el segundo fue aplacado en gran medida por depósitos sedimentarios cercanos a la isla de Tumaco, que conformaban la isla El Guano. Estos depósitos absorbieron gran parte de la energía del tsunami; sin embargo, los efectos fueron palpables y en algunos casos lamentables como es el caso de la población de San Juan de la Costa que fue borrada del mapa. Se estima que como consecuencia del sismo-tsunami, en el departamento de Nariño fallecieron cerca de 500 personas, 1000 resultaron heridas y más de 3000 viviendas fueron afectadas. Figura 8.



Figura 8. Efectos del tsunami de 1979 en Tumaco

2. DESCRIPCION DEL SISTEMA DE TELEMETRIA PROPUESTO PARA EL CENTRO DE ALERTA DE TSUNAMI

El riesgo por tsunami en la Costa Nariñense ha sido tema de estudio por parte de la DIMAR-CCCP desde 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 del casco urbano de San Andrés de Tumaco, los cuales permiten identificar y localizar los efectos de inundación por tsunami, con diferentes características de generación (ubicación del epicentro del sismo y su intensidad) y niveles de marea. En este mismo sentido la DIMAR –CCCP en su intento por prevenir a la población de la Costa Pacífica ante la posible llegada de un tsunami ha iniciado desde el año 2008 la primera etapa del desarrollo de un proyecto que busca implementar un sistema de telemetría de alerta temprana y de bajo costo para la Costa Pacífica Colombiana. La Figura 9 presenta el diagrama esquemático propuesto para el Centro de Alerta de Tsunami en la Bahía de Tumaco.

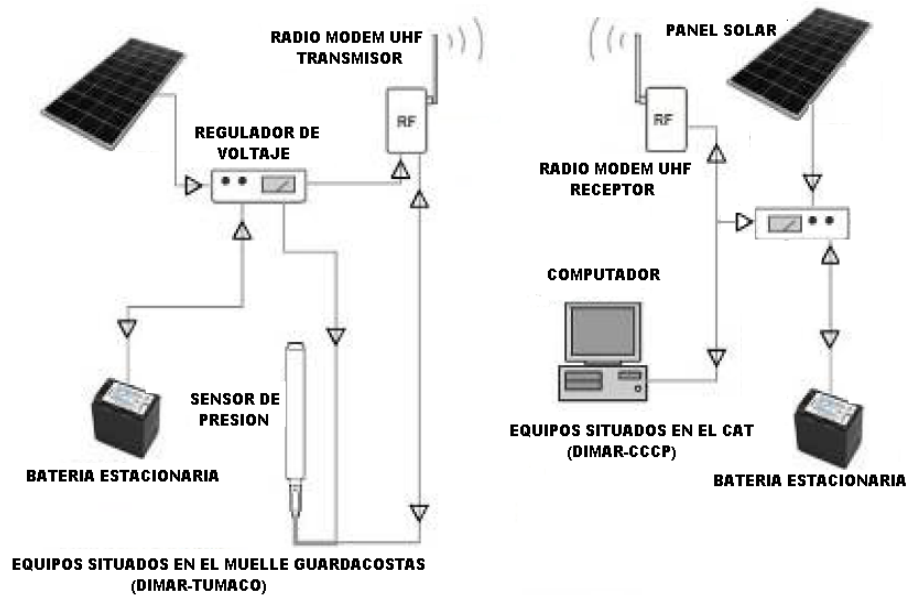


Figura 9. Diagrama esquemático del sistema de telemetría a implementar para la detección temprana de eventos tsunamigénicos propuesto por el CAT-CCCP.

2.1 MONITOREO DEL NIVEL DE LA MAREA

Para el desarrollo de esta etapa se utilizó el sensor oceanográfico de presión *SEABIRD* SBE-50 [14], Figura 10, el cual permite obtener información acerca del comportamiento del nivel de la marea hasta una profundidad de 7000 metros y se caracteriza por su alta resolución, precisión y tasa de muestreo. Este dispositivo puede ser configurado para tomar muestras en modo continuo o en modo pausado utilizándose para ello una interfaz grafica, *SEATERM* , a través de la cual el usuario puede escribir los comandos o instrucciones de configuración del sensor, ver Figura 11. Es importante tener en cuenta que el sensor permite alimentación eléctrica externa por lo que puede ser energizado a través de paneles solares y baterías. La Tabla 5 presenta una descripción más detallada correspondiente a las características del sensor a utilizar.



Figura 10. Sensor oceánico de presión SEABIRD SBE-50

Tabla 5. Características técnicas del sensor SEABIRD SBE-50

Característica	SEABIRD SBE-50
Sensor	Presión
Puerto	Serial (DB9)
Protocolo de transmisión	RS-232 (<i>Full Duplex</i>)
Velocidad de transmisión	Configurable desde 600 hasta 38400 baudios por segundo
Rango (m)	0 a 20
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

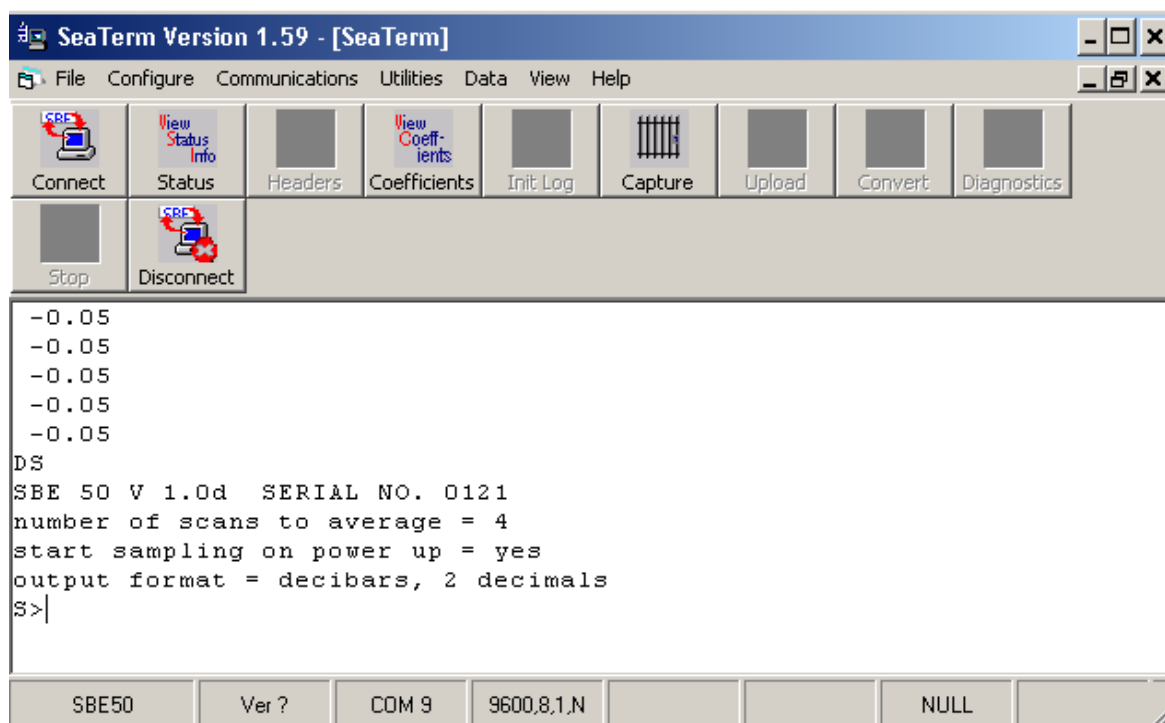


Figura 11. Interfaz grafica del software SEATERM para el sensor SBE50

Finalmente, para expresar la profundidad en función de presión el fabricante del sensor recomienda hacer uso de la expresión matemática (10).

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

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).

2.2 TRANSMISIÓN DE LOS DATOS

Antes de describir los dispositivos que hacen parte de esta etapa es necesario definir algunos conceptos básicos de comunicaciones para poder tener claridad acerca del funcionamiento de los mismos.

2.2.1 Energía de radio frecuencia

La energía de Radio Frecuencia (*RF*) se puede definir como una señal de corriente alterna (*AC*) que forma un campo eléctrico y un campo magnético. Estos campos son perpendiculares a la dirección de propagación. El campo *RF* es definido por las características de la frecuencia f y de la longitud de onda λ (11). Estas dos características son inversamente proporcionales la una de la otra. La longitud de onda es medida comúnmente en metros y es definida como la longitud de la onda seno, en la atmósfera o en el espacio.

$$\lambda \text{ [m]} = c/f \quad c = 3 \times 10^8 \text{ m/s} \quad , f[\text{Hz}] \quad (11)$$

Donde f es la frecuencia en hertz y λ es la longitud de la onda en metros. El espectro de Radio Frecuencia de interés se muestra en la Tabla 6 [15], cada uno de estos rangos ofrece diferentes atributos a las redes en diferentes aplicaciones.

Tabla 6. Rangos de frecuencia para las bandas VHF y UHF

Designación	Abreviatura	Rango de Frecuencia	Longitud de onda
<i>Ultra High Frequency</i>	<i>UHF</i>	300 MHz – 3 GHz	1m – 10 mm
<i>Super Hight Frequency</i>	<i>SHF</i>	3 GHz -30 GHz	100 – 10 mm

2.2.2 Línea de vista

Hace referencia a un enlace de radio con línea de vista entre las dos estaciones comunicadas, permitiendo viajar la señal directamente sin obstrucciones desde el transmisor al receptor. En este caso se hace necesario liberar el 60% de la primera zona de *Fresnel* de cualquier obstrucción. Es importante al realizar un enlace punto a punto, o punto multipunto con LOS, conocer las alturas de los obstáculos así como también la distancia entre los dos puntos extremos. Las ondas de radio se debilitan con la distancia. La atenuación asociada con la distancia en un camino sin obstrucciones es denominado (L_{fs} , *Free Space Loss*) y es calculado matemáticamente por la fórmula matemática (12)

$$L_{FS} = 32.45 + 20\log(f_{MHz}) + 20\log(d_{Kms}) \quad (12)$$

Donde

L_{FS} : pérdidas de espacio libre dBs.

f : Frecuencia de operación MHz.

d : Distancia entre los puntos Kms.

Un factor importante que determina el rango de propagación de las ondas electromagnéticas es su potencia. Esta sufre de atenuación y es dependiente de la frecuencia debido a que a mayor frecuencia se presenta mayor atenuación en una distancia dada, como se puede observar en la Figura 12 [16]; estos cambios en la propagación en el espacio libre sigue una pendiente de 6 dB por octava (al duplicar la frecuencia o distancia) o de 20 dB por década (cambios de 10 en la frecuencia o la distancia). En un ambiente LOS la potencia Varía inversamente con el cuadrado de la distancia entre dos puntos.

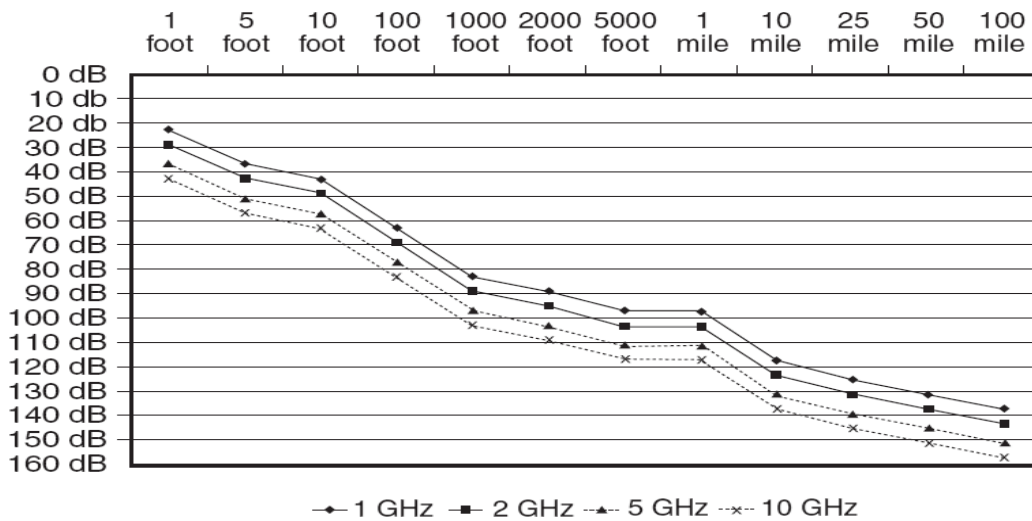


Figura 12. Pérdidas con relación a la distancia y a la frecuencia

Se puede decir que L_{FS} se puede describir como 20 dB de pérdida por década, esto significa que la señal a una distancia de 1.6 Km del transmisor es de -104 dBm, y esta será de -124 dBm a 16 Kilómetros de distancia.

2.2.3 Pérdidas del trayecto y cobertura del sistema

Permite determinar cómo afectan las variables en la cobertura ofrecida en el sistema de radio, la ecuación (13) [17]. Contiene los factores más importantes que afectan el desempeño de un radio enlace.

$$L(dB) = P_{tx}(dBm) + G_{tx}(dBi) - L_{ltx} + P_{rx}(dBm) + G_{rx}(dBi) - L_{lrx} - M(dB) \quad (13)$$

Donde L (dB) representa el presupuesto del enlace "las pérdidas que el enlace puede soportar", P_{tx} es la potencia de transmisión, P_{rx} es la sensibilidad del receptor, M es el margen mínimo sobre la sensibilidad necesario para asegurar la estabilidad del enlace, G_{tx} y G_{rx} son las ganancias del transmisor y el receptor en el sistema, y L_{ltx} y L_{lrx} son las pérdidas en las líneas de transmisión y recepción.

También se hace necesario tener en cuenta el valor del (SOM, *System Operative Margin*), este es el umbral de sensibilidad mínima permitida para realizar una transmisión, y de este modo garantizar una tasa de transmisión, este se expresa en niveles negativos (-dB), denotando el nivel más bajo que una señal puede aceptar para una modulación específica asociada a la velocidad. Con este cálculo nos aseguramos que el enlace tiene un margen de potencia suficiente para alcanzar dicha velocidad, es recomendable tomar valores de SOM positivos superiores a los 10 dB. El SOM se calcula matemáticamente mediante la ecuación (14)

$$SOM = P_{rx} - S_{rx} \quad (14)$$

Donde:

S_{rx} : Sensibilidad del receptor en dBm.

P_{rx} : Potencia de recepción en dBm.

La fórmula de pérdidas en el espacio libre (12), balance de carga (13) y SOM (14) son usadas para determinar el rango de cobertura de la señal relacionado con la distancia.

2.2.4 Modelo ITS Longley Rice

El propósito del modelo [18] es el de estimar algunas características de la señal recibida del enlace de radio, cuyo rango de operación de frecuencia va desde los 20 MHz hasta 20 GHz permitiendo ser aplicado a gran variedad de simulación de enlaces. El modelo se basa en la teoría electromagnética, en análisis estadísticos de las características del terreno y mediciones del canal de radio. El modelo permite operar en modo punto a punto, ideales para los requerimientos de nuestro trabajo. Este modo permite predecir las pérdidas de propagación sobre un trayecto de propagación a partir de la información de RF y del entorno. Para la evaluación de los enlaces propuestos se utilizó la herramienta *Radio Mobile* y de la cual se ampliará más adelante.

2.2.5 Radio modem *spread spectrum* o de espectro ensanchado

Los sistemas de Espectro Ensanchado (*spread spectrum*) son usados como soluciones inalámbricas punto a punto y punto-multipunto, debido al bajo costo de los equipos y a sus características de protección frente al bloqueo y las perturbaciones y el enmascaramiento de la señal. Dependiendo de la aplicación del enlace y de las condiciones existentes en el entorno se selecciona una de las modalidades: Secuencia Directa (DSSS) [12], Salto de Frecuencia (FHSS) [13] o Híbrido. Elegir la modalidad correcta es muy importante porque permite determinar el comportamiento de nuestro sistema de telemetría frente al ruido y la interferencia.

Estudios basados en simulaciones e implementaciones demuestran que FHSS se aplica más en ambientes de trayectorias múltiples, puesto que se obtiene un mejor desempeño; por el contrario, DSSS se emplea en entornos con línea de vista y de gran alcance. En DSSS para incrementar la Tasa de Baudios (*Baud rate*), se aumenta la tasa de reloj, pero en FHSS se necesitaría un mayor ancho de banda para no disminuir el número de canales. Desde el punto de vista económico, ambas modalidades resultan viables y rápidas de instalar [19].

Otros aspectos importantes de esta técnica de transmisión de datos son:

- Mejora el desempeño del sistema en cuanto a pérdida de datos e interferencias, ya que la señal ensanchada puede convivir con otras señales de banda estrecha, sin que interfieran de manera importante.
- Aumenta la relación señal a ruido (S/N)¹.
- Uso eficiente de la potencia.
- Maximiza el uso del canal esto hace que al momento de transmisión de datos de un dispositivo el ancho de banda no sea una limitante.

En este punto es importante tener en cuenta que para el proceso de selección de los radio módems se tuvo en cuenta la eficiencia en el consumo de potencia, ya que este es un factor de mucha importancia al momento de garantizar suministro eléctrico a todos los equipos en la estación transmisora y receptora. Las características técnicas de los radio módems seleccionados, MHX910A [20] se observan en la Tabla 7.

¹ Indica que tan alto es el nivel de potencia de la señal con respecto al nivel de potencia del ruido.

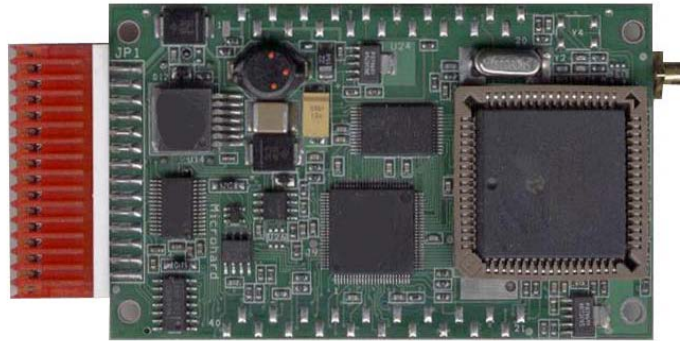


Figura 13. Tarjeta electronica del radio modem serial spread spectrum MHX 910A

Tabla 7. Características técnicas del radio modem serial *spread spectrum* MHX-910A

Radio modem serial <i>Spread Spectrum</i> MHX-910A	
Frecuencia de operación	902 MHz a 928 MHz
Método de ensanchamiento	Salto en frecuencia (<i>Frequency Hopping</i>)
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	<i>Point to point, point to multipoint, store and forward repeater, peer to peer, TDMA, multimaster</i>
Conectores	Antena: RP-TNC hembra Datos: DB9 hembra
Condiciones ambientales	Temperatura -40°C a +85°C Humedad 5% a 95 %

2.2.6 Antenas

En general la selección de la antena es uno de los aspectos importantes al momento de implementar un sistema de telemetría. Al momento de seleccionarlás se deben tener en cuenta la ganancia de la antena (dBi o dBd). Las antenas omnidireccionales son conocidas como radiadores isotrópicos, caracterizadas por generar una radiación esférica, radiando con la misma intensidad en todas las direcciones, es decir, que generan un campo de 360° a su alrededor. Un segundo tipo de antena es la antena direccional, la cual se utiliza en el desarrollo de este proyecto, esta antena se comporta de tal manera que el patrón de radiación se enfoca hacia una dirección específica. Se debe tener en cuenta que si en el emisor se utiliza una antena con polarización horizontal, es lógico, que en la recepción se utilice una antena con la

misma polarización, ya que en caso contrario no se recuperaría la señal debido al desfase que hay entre las dos antenas (90°). Si ignoramos la polarización, se puede tener muy poca señal aun con las mejores antenas, a esto se le denomina desadaptación de polarización. En general la selección de la antena es una de las consideraciones más importantes para garantizar un enlace confiable y una adecuada cobertura en un área designada sin generar cantidades significativas de interferencia en áreas no deseadas.

En este punto es importante tener en cuenta que para el proceso de selección de las antenas de transmisión se tuvieron en cuenta las condiciones geográficas de los sitios de emplazamiento y la distancia a transmitir. Las características técnicas de las antenas seleccionadas se observan en la Tabla 8.

Tabla 8. Características técnicas de la antena directiva tipo 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

2.2.7 Cables y conectores

Las antenas son normalmente conectadas al transmisor o receptor por medio de un cable coaxial y son las encargadas de realizar la recepción y transmisión de las ondas de radio en el ambiente. Las líneas de transmisión tienen asociadas una impedancia determinada por el diámetro del conductor central, la composición del dieléctrico, el conductor externo y la cubierta. Los cables coaxiales más usados tienen impedancias de 50 y 75 *ohmios*. La selección del cable es importante a la hora de implementar una solución pues con este cable se logra la máxima transferencia de potencia entre el equipo y la antena. Además se debe asegurar el uso de un cable con las menores pérdidas. Para el caso de este proyecto se utilizó el cable LMR-200 teniendo en cuenta características importantes como la flexibilidad, resistencia al ambiente, blindaje de RF, disponibilidad de conectores y ensamblajes y finalmente bajas pérdidas tal como se muestra en la tabla 9.

Tabla 9. Tabla de valores de atenuación para el cable coaxial LMR-200

Radio modem serial <i>Spread Spectrum</i> MHX-910A		
Frecuencia (MHz)	Atenuación (dB/100 m)	Potencia promedio kW
30	2.2	3.3
50	2.9	2.6
150	5.0	1.5
220	6.1	1.2
450	8.9	0.83
900	12.8	0.58
1500	16.8	0.44
1800	18.6	0.40
2000	19.6	0.37

Al igual que los cables los conectores poseen pérdidas que representan una degradación en la capacidad de señal. Entre los conectores más usados en las comunicaciones tenemos: BNC (conector miniatura de conexión y desconexión rápida), TNC (versión con rosca de los BNC), N (proveen un arreglo efectivo entre las uniones macho o hembra), RP-TNC (es un conector TNC con el género invertido). Para nuestro caso se utilizó el conector SMA macho el cual se conecta a la entrada de la antena yagui.

2.2.8 Herramientas de simulación del enlace inalámbrico

Con el propósito de comparar los resultados teóricos con los resultados obtenidos además de poder predecir el comportamiento del enlace inalámbrico a medida que nos alejamos de la zona costera se decidió utilizar la herramienta software de libre distribución llamada *Radio Mobile* [21] que permite simular las condiciones de un enlace inalámbrico mediante el manejo de los parámetros más sobresalientes de éste, ver Figura 14. La herramienta escogida incluye la ayuda de cartografía digital que permite establecer la topografía y las condiciones del radio enlace más cercanos a la realidad, lo cual se presenta a través de una interfaz gráfica; su manejo implica descargar un mapa digital de la región o área en estudio, así como ingresar las posiciones de los puntos que se desean ubicar y algunas especificaciones típicas de los equipos (como potencia del transmisor, pérdidas de línea, ganancia de las antenas, sensibilidad del receptor y altura de las antenas) que se aspiran utilizar. Después de configurar todos estos parámetros es posible revisar algunas condiciones que se presentan en cada uno de los enlaces como LOS, presencia de obstáculos, distancia entre los puntos, cálculo de interferencias, pérdidas de propagación, entre otras.

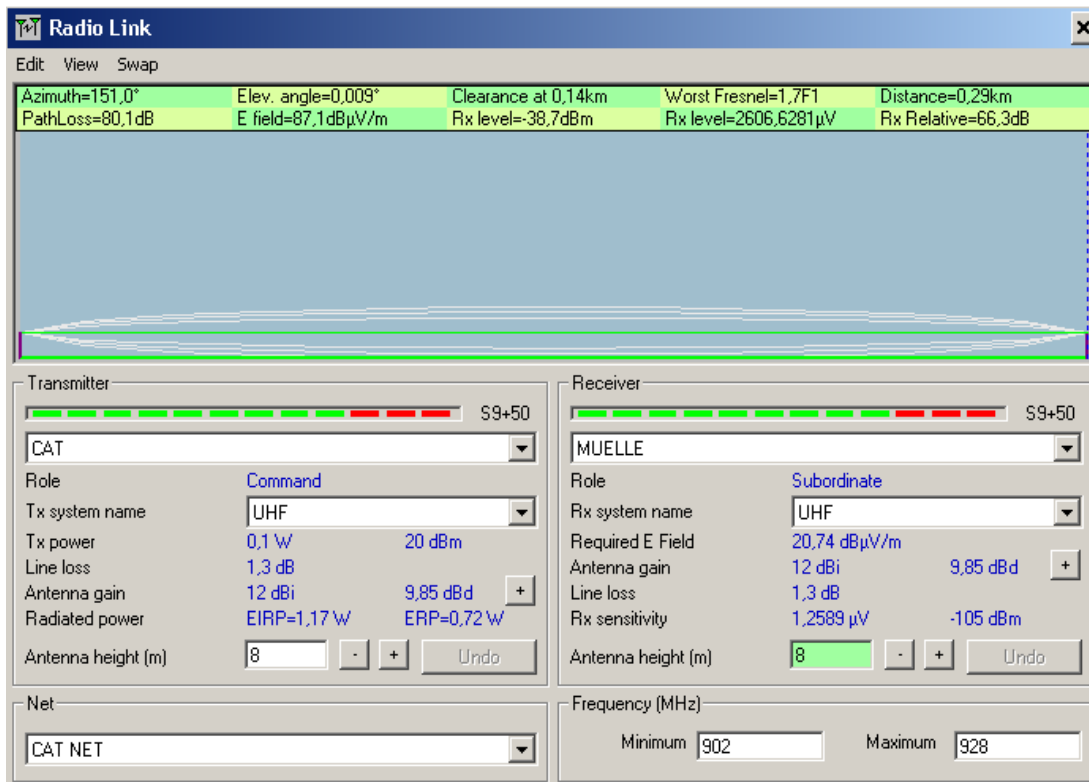


Figura 14. Interfaz grafica de la herramienta *Radio Mobile*

2.3 SUMINISTRO DE ENERGÍA

Teniendo en cuenta la limitación que presenta el sensor oceanográfico en cuanto a suministro eléctrico autónomo (baterías internas) y que además será ubicado en un sitio alejado de las instalaciones del CCCP fue necesario diseñar una etapa encargada de energizar todos los dispositivos ubicados tanto en la estación transmisora como en la estación receptora. En esta etapa se describen las características de los equipos empleados para este fin.

2.3.1 PANELES SOLARES

Un panel solar es un modulo que aprovecha la energía de la radiación solar los cuales se utilizan para generar energía eléctrica. Esto paneles están formados por numerosas celdas que convierten la luz en electricidad y dependen del efecto fotovoltaico para transformar la energía del sol y hacer que una corriente pase entre dos placas con cargas eléctricas opuestas [22].

Tabla 10. Características técnicas del panel solar Atersa

Panel solar Atersa de 35 vatios	
Material de fabricación	Silicio monocristalino
Potencia nominal	35 Wp
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

2.3.2 BATERÍAS

La utilización de baterías en un sistema fotovoltaico cumple con varias funciones, además de proveer energía a las cargas durante las noches, entre las que se pueden mencionar:

- Asegurar el suministro de energía en días nublados, particularmente en días nublados con poca insolación.
- Mantener el voltaje de operación casi constante.
- Proporcionar altas potencias durante tiempos cortos. Esto significa que el arreglo fotovoltaico no necesariamente debe proporcionar la potencia demandada por la carga, sino más bien asegurar que la energía total generada sea igual a la consumida.

2.3.3 REGULADORES DE VOLTAJE

Es importante evitar que una batería reciba una sobrecarga o que se descargue en exceso. En ambos casos la batería puede dañarse o reducir su tiempo de vida útil. Por ello se requiere que exista un medio para controlar automáticamente el flujo de carga desde y hacia las baterías que forma parte del sistema fotovoltaico. Los reguladores de carga en realidad están constituidos por dos bloques, aunque en algunos casos, dependiendo de la aplicación, se utiliza solo uno de ellos. El primer bloque, que propiamente se llama controlador de carga, es el que regula el flujo de corriente desde los módulos hacia las baterías y el segundo es el que evita la descarga excesiva de estas.

2.4 PROCESAMIENTO Y PRESENTACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Con el propósito de automatizar la presentación gráfica de la información transmitida y la generación de alertas sonoras para el CAT-CCCP, en esta etapa se desarrolló una herramienta software conformada por un conjunto de rutinas elaboradas en Matlab. Las características de esta herramienta a la cual se le dio el nombre de "*Tsunami Detect*" se mencionan a continuación.

- Permite la adquisición y procesamiento de los datos del sensor en tiempo cuasi real a través del puerto serial de un computador instalado en el CAT-CCCP.
- El software permite el control de ejecución del proceso de adquisición de datos mediante botones o iconos de inicio, parada y actualización.
- Realiza una grafica comparativa del nivel de marea predicho y el nivel de marea observado en tiempo cuasi real.
- 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 que contiene el registro de los datos capturados por el sensor y la fecha de captura. Finalmente el software permite imprimir y almacenar las graficas generadas.
- Finalmente ofrece al usuario un breve manual de usuario de la herramienta software.

La figura 15 muestra la interfaz gráfica del software "*Tsunami Detect*" instalado en el CAT-CCCP.

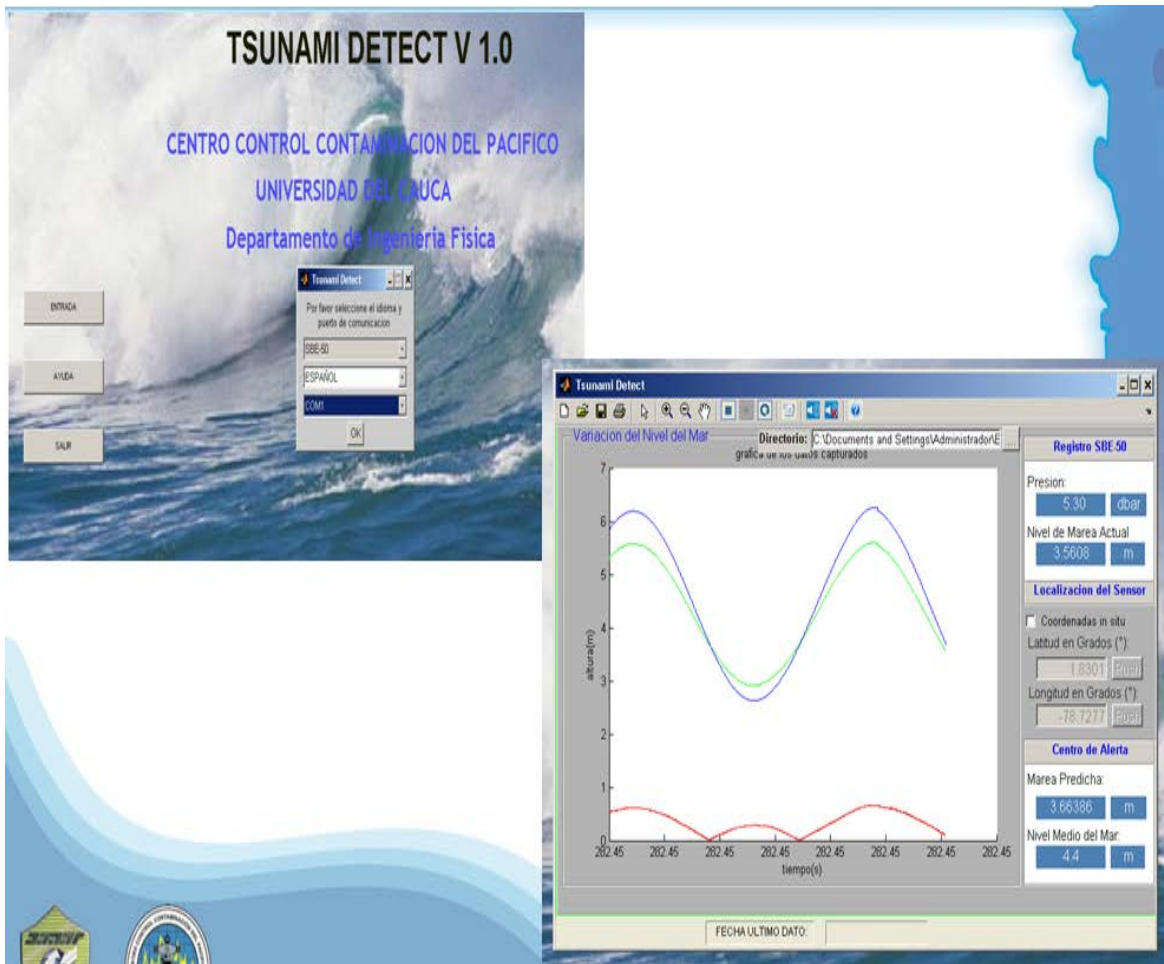


Figura 15. Interfaz gráfica del software *Tsunami Detect*

3. IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE TELEMETRIA Y RESULTADOS

OBTENIDOS

El sitio de emplazamiento elegido para sumergir el sensor fue el muelle de guardacostas localizado dentro de las instalaciones de la Capitanía de Puerto de Tumaco. Aunque el propósito inicial del proyecto consistía en sumergir el sensor a una distancia de 3 kilómetros no fue posible durante el desarrollo de la primera fase de este proyecto piloto por las siguientes razones:

- Ausencia de una plataforma necesaria para instalar los dispositivos correspondientes a la estación transmisora a la distancia mencionada.
- Limitaciones en cuanto a la equipos especiales que permitan monitorear el comportamiento real bien sea de la señal electromagnética en el caso de la transmisión o del rendimiento de los paneles solares y baterías en el caso del sistema de alimentación autónomo.
- Limitaciones en cuanto a recursos humanos y de transporte (lancha o bote) al momento de realizar las respectivas pruebas de campo.
- Limitaciones en cuanto horarios de trabajo dado que al tratarse de una zona restringida es necesario solicitar permisos especiales lo cual no permite llevar a cabo pruebas de campo de manera continua.

Teniendo en cuenta las razones expuestas anteriormente la estación transmisora debió ser ubicada a una distancia de aproximadamente 300 metros, desde las instalaciones del CAT-CCCP hasta el muelle de guardacostas tal como lo indica el pequeño círculo oscuro en la Figura 16. A continuación se desarrollan los procedimientos experimentales, cálculos matemáticos y simulaciones correspondientes en cada una de las etapas mencionadas en el capítulo anterior para finalmente presentar los resultados obtenidos y las conclusiones de este trabajo.



Figura 16. Vista aérea de la zona de implementación del sistema de telemetría en la bahía de Tumaco.

3.1. MONITOREO DEL NIVEL DE LA MAREA

Conocidas las características técnicas del sensor de presión SEABIRD SBE-50 se hace necesario configurar los parámetros bajo los cuales el sensor será sumergido, para ello y como se menciona en la sección 2.1 este dispositivo cuenta con una interfaz gráfica SEATERM a través de la cual el usuario puede ingresar los diferentes comandos de configuración presentados en el anexo A. Para configurar el sensor es necesario conectarlo a un computador a través del puerto serial o también puede utilizarse el puerto USB para lo cual se debe tener un cable conversor serial a USB, además de esto el sensor deberá ser energizado por medio de una batería que no sobrepase el rango de voltaje permitido. A continuación el *prompt* (S>) solicita al usuario la entrada de instrucciones para lo cual deberán digitarse los siguientes comandos:

S>DS; Permite visualizar la configuración inicial y la configuración final del sensor.

S>BAUD= 9600; significa que la adquisición se realizara a 9600 baudios.

S>OUTPUTFORMAT= 2; significa que el sensor muestra el dato de presión en decibares.

S>DECIMALS= 2; significa que el valor de presión se muestra con dos cifras decimales.

S>NAVG= 160; permite al sensor tomar una muestra cada 10 segundos.

S>AUTORUN=Y; Permite adquirir datos continuamente una vez el sensor sea energizado.

S>STOP; Permite detener la adquisición cuando el sensor esta en modo continuo.

Finalmente hacemos *click* en el icono *Capture* para comenzar la adquisición tal como lo muestra la Figura 17 y la Figura 18.

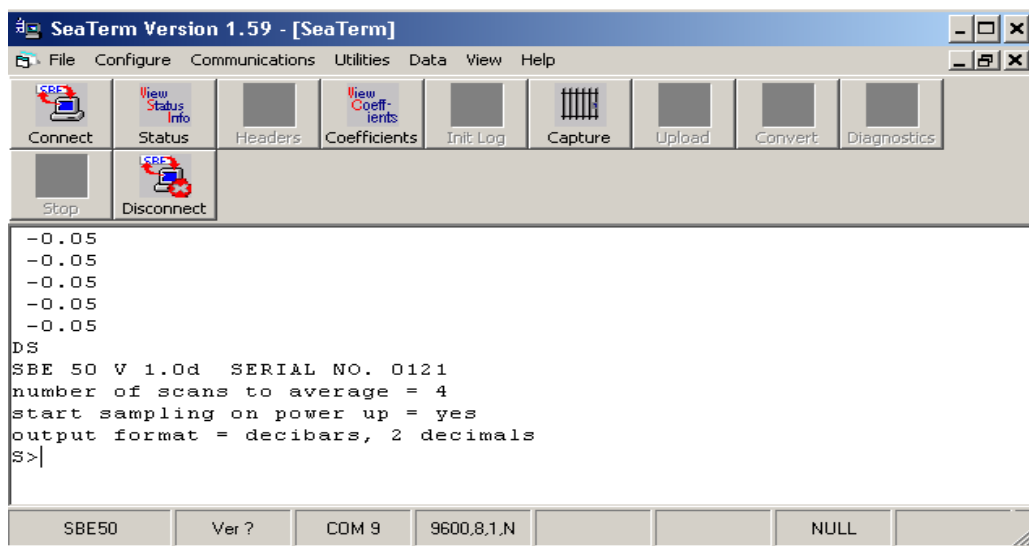


Figura 17. Interfaz de configuración del software SEATERM para el sensor de presión



Figura 18. Configuración y prueba realizada con el sensor de presión

3.1.1 Observaciones y recomendaciones

- El sensor oceanográfico de presión posee una interfaz de configuración a través de la cual pueden ser configurados por medio de comandos todos los parámetros consignados en el manual de usuario del SBE-50. Si en la interfaz aparece el *prompt S>* significa que la comunicación entre el SBE-50 y la computadora se ha establecido. Si la comunicación no se ha establecido verifique el cable de comunicación entre el sensor y la computadora. Revise si hay continuidad en los pines, lo más seguro es que uno o varios hilos estén rotos.
- Verifique que la configuración se haga con respecto al sensor con el cual cuenta en ese momento. Generalmente se puede observar en la barra inferior de la interfaz de configuración. Los parámetros de configuración del sensor pueden ser observados digitando el comando DCALL o DS. Finalmente para que el sensor comience a adquirir datos digite el comando START.
- Evite golpear el sensor ya que esto podría desconectar o romper alguno de sus componentes electrónicos internos.
- Una vez que el sensor sea retirado del sitio de monitoreo (mar, océano) deberá ser lavado cuidadosamente y guardado en un sitio fresco con lo cual se evitaría que partículas extrañas obstruyan el sensor.
- Nunca desensamble el sensor si no es un técnico calificado o no tiene conocimiento del mismo.
- Cada vez que el sensor vaya a ser fondeado (sumergido en el mar u océano) deberá solicitar un permiso u orden de aseguramiento.

3.2 TRANSMISIÓN DE LOS DATOS

Configurado el sensor de presión el siguiente paso consiste en instalar el sistema de comunicaciones a través del cual se enviara el dato desde la estación trasmisora (muelle de guardacostas) hasta la estación receptora (CAT-CCCP) pero antes de esto es necesario realizar algunos cálculos con el fin de determinar el presupuesto del enlace para predecir el comportamiento de la señal electromagnética además de estimar la altura y ubicación de las antenas para garantizar una buena transmisión.

Teniendo en cuenta la Figura 19 además de las características técnicas del radio modem, la antena yagi y la atenuación en el cable se procede a realizar el cálculo del presupuesto del enlace.

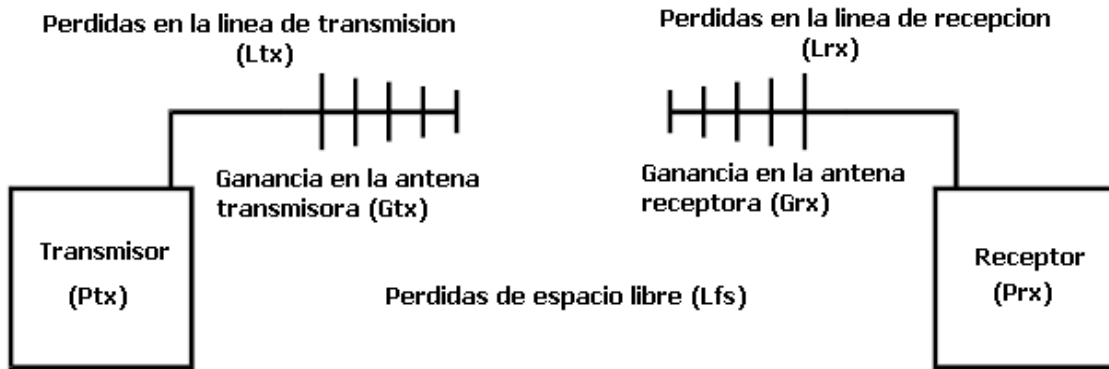


Figura 19. Diagrama pictórico del sistema de comunicaciones

En primer lugar calculamos las pérdidas de espacio libre correspondientes al enlace inalámbrico utilizando la fórmula de Fritz.

$$Lfs[dB] = 32.45 + 20 \log(0.290) + 20 \log(902)$$

$$Lfs[dB] = 80.80$$

A continuación calculamos el nivel de sensibilidad o la potencia a la entrada del receptor (estación receptora). Se debe tener presente 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 el radio modem se configuro para transmitir a 100 mW es decir a 20dBm.

$$Prx(dBm) = Ptx(dBm) - Ltx(dB) + Gtx(dB) - Lfs(dB) + Grx(dB) - Lrx(dB)$$

$$Prx(dBm) = 20(dBm) - 0.512(dB) + 12(dB) - 80.80(dB) + 12(dB) - 1.024(dB)$$

$$Prx(dBm) = -38.336$$

Con el fin de garantizar una transmisión confiable el margen de ganancia (*gain margin*) debería ser superior a 10 dB, este margen depende de la ganancia del sistema de comunicaciones (G_s) y de las pérdidas de espacio libre (Lfs). Es importante además saber que la sensibilidad del radio modem receptor (S_{rx}) tiene un valor de -105 dbm por lo tanto

$$MG(dB) = G_s(dB) - L_{fs}(dB)$$

$$G_s(dB) = 20(dBm) - 0.512(dB) + 12(dB) + 12(dB) - 1.024(dB) + 105(dBm)$$

$$G_s(dB) = 147.464$$

$$MG(dB) = 147.464(dB) - 80.80(dB)$$

$$MG(dB) = 66.664(dB)$$

Teniendo en cuenta que 66.664(dB) es mayor que 10 (dB) garantizamos con ello una transmisión confiable.

Habiendo realizado los cálculos para el enlace inalámbrico utilizamos la herramienta software *Radio Mobile* para poder visualizar y comparar los resultados obtenidos. Para ello es necesario tener las coordenadas de las estaciones transmisora y receptora para 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 (muelle de guardacostas) se tiene que la latitud es 1° 51' 8.11" (N) y longitud 78° 42' 50.40" (W). La Figura 20 muestra el mapa digital de la zona y la localización de las dos estaciones además los lóbulos de radiación de las antenas seleccionadas.

Ahora ingresamos los parámetros del radio modem, antenas y cables coaxiales mencionados en las Tablas 7, 8 y 9 respectivamente con el fin de simular el trazado del perfil el cual nos permitirá además de visualizar de manera grafica el comportamiento de la señal también tener la posibilidad de elegir la altura a la cual deben ubicarse las antenas tal como lo muestra la Figura 21. Como puede observarse los resultados teóricos concuerdan con 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 *Fressnell*. Como podemos observar el simulador sugiere que las antenas deben tener una altura de 8 metros, estar muy bien alineadas dada su condición de directividad y finalmente que estas sean de polarización horizontal debido a que necesitamos ganar cobertura y por lo tanto es necesario contar con un lóbulo de radiación amplio.

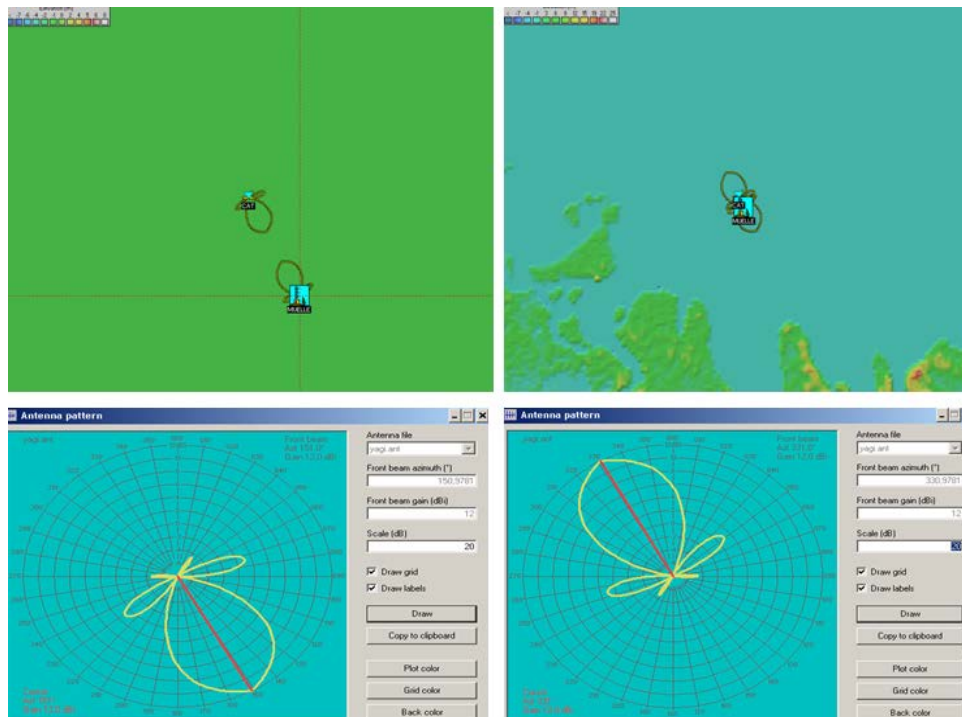


Figura 20. Ubicación y simulación del patrón de radiación para las antenas en la estación transmisora y la estación receptora

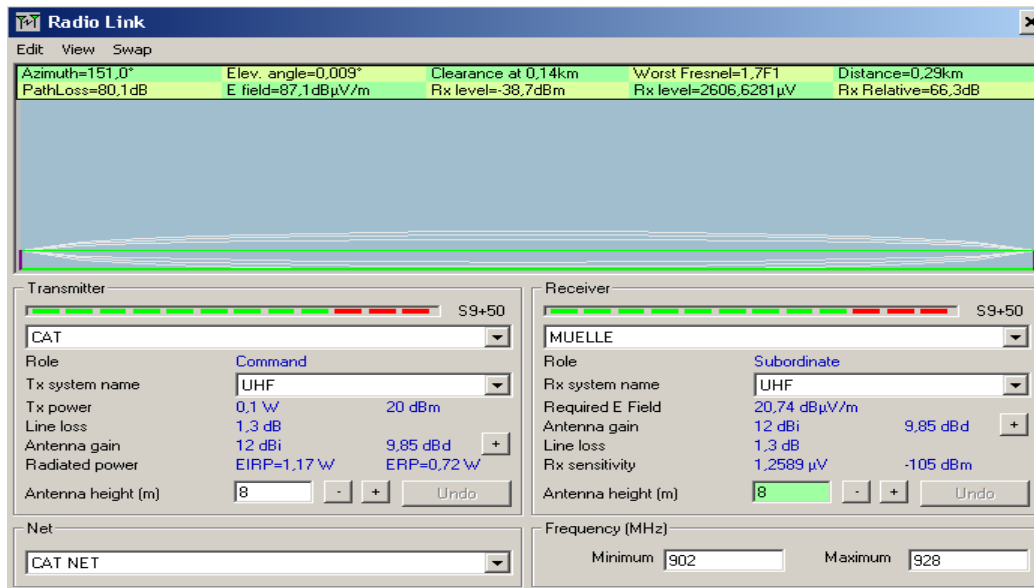


Figura 21. Simulación del trazado de perfil para evaluar la calidad del enlace inalámbrico

Habiendo garantizado una eficiencia en el enlace inalámbrico se procede a realizar la configuración de los radio modem maestro (estación transmisora) y esclavo (estación receptora) de acuerdo a los parámetros mostrados en la Figura 22 y la Figura 23. En el

anexo 2 se presenta una descripción detallada del significado de los códigos mostrados.

```

AT&V
E1 Q0 V1 W0
DCD &C1 DTR &D0 Framing &E0 Handshaking &K0 DSR &S1
S0=1 S2=43('+') S3=13 S4=10 S5=8
Operating Mode          S101=1          Serial Baud Rate      S102=7
Wireless Link Rate     S103=2          Network Address      S104=1
Unit Address           S105=2          Hop Pattern           S106=0
Encryption Key         S107=1          Output Power         S108=2
Hop Interval           S109=4          Data Format           S110=1
Packet Min Size        S111=1          Packet Max Size      S112=43
Packet Retransmissions S113=1          Packet Size Control  S114=0
Packet Repeat Interval S115=1          Character Timeout, ms S116=8
Modbus Mode            S117=0          Roaming              S118=0
Quick enter to command S119=1          RTS/DCD Framing, ms S120=0
DCD Timeout, ms        S121=0          Remote Control       S122=0
Average RSSI value     S123=-255 dBm  TDMA duty cycle      S124=0
TDMA max address       S125=200        Data protocol         S126=0
Address filtering      S127=0          Multicast group      S128=0
Secondary Master       S129=0          No sync data intake  S130=0
Secondary Hop Pattern  S206=2          Packet Retry Limit   S213=2
Serial Channel Mode    S135=0
OK
-

```

Figura 22. Parámetros de configuración del radio modem maestro

```

AT&V
E1 Q0 V1 W0
DCD &C1 DTR &D0 Framing &E0 Handshaking &K0 DSR &S1
S0=1 S2=43('+') S3=13 S4=10 S5=8
Operating Mode          S101=3          Serial Baud Rate      S102=7
Wireless Link Rate     S103=2          Network Address      S104=1
Unit Address           S105=2          Hop Pattern           S106=0
Encryption Key         S107=1          Output Power         S108=2
Hop Interval           S109=4          Data Format           S110=1
Packet Min Size        S111=1          Packet Max Size      S112=43
Packet Retransmissions S113=1          Packet Size Control  S114=0
Packet Repeat Interval S115=1          Character Timeout, ms S116=8
Modbus Mode            S117=0          Roaming              S118=0
Quick enter to command S119=1          RTS/DCD Framing, ms S120=0
DCD Timeout, ms        S121=0          Remote Control       S122=1
Average RSSI value     S123=-255 dBm  TDMA duty cycle      S124=0
TDMA max address       S125=200        Data protocol         S126=0
Address filtering      S127=0          Multicast group      S128=0
Secondary Master       S129=0          No sync data intake  S130=0
Secondary Hop Pattern  S206=2          Packet Retry Limit   S213=2
Serial Channel Mode    S135=0
OK
-

```

Figura 23. Parámetros de configuración del radio modem esclavo

Durante el proceso de configuración es necesario alimentar el radio modem utilizando una batería que este dentro del rango de voltaje permitido por el dispositivo. Para entrar a la configuración es necesario tener un cable serial (DB9 hembra a DB9 macho)

o un cable serial a USB para poder conectarlo al PC tal como se puede ver en la Figura 24.



Figura 24. Prueba de configuración del radio modem maestro y esclavo

Finalizada la configuración se procede a conectar las antenas a los radio módems y comenzar las primeras pruebas de transmisión, al momento de realizarlas se sugiere comenzar por distancias cortas o por tramos con el fin de detectar los sectores por los cuales la señal presente bajas pérdidas. Para monitorear la señal es necesario conectar el sensor al modem transmisor a través del puerto serial y el modem receptor conectarlo al PC en el cual se ha abierto una sesión utilizando el hiperterminal. Debido a que el sensor quedo configurado en *AUTORUN=Y* comenzara a transmitir datos al momento de ser energizado, si el enlace no presenta fallas el PC comenzará a recibir los datos del sensor. La Figura 25 muestra el desarrollo de la prueba.



Figura 25. Prueba inicial de transmisión de datos utilizando antenas directivas

Finalmente, se realiza la instalación de las antenas y los equipos de comunicaciones en los sitios escogidos tal como lo muestra la Figura 26



Figura 26. Instalación final de antenas y dispositivos de comunicación

Con relación a las pruebas realizadas cabe anotar que la tasa de baudios a la cual se trabajó fue de 9600 ya que fué la que mejor desempeño mostró al conectar el 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* 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.

Una de las limitaciones que presento el proyecto fue el de llevar la etapa de transmisión al sitio de monitoreo inicial, La Isla del Viudo, localizada aproximadamente a 4 kilómetros del CAT-CCCP. Tales limitaciones se debieron a la falta de una plataforma física para instalar los equipos además de contar con escasos recursos económicos. Sin embargo y teniendo en cuenta las pruebas realizadas a 300 metros del CAT-CCCP y los buenos resultados obtenidos con el simulador Radio Mobile se procedió a realizar la simulación para una distancia de 3.78 kilómetros y así determinar el comportamiento y alcance del sistema de telemetría.

Nuevamente se calculan las pérdidas de espacio libre para la nueva posición.

$$Lfs[dB] = 32.45 + 20\log(3.78km) + 20\log(902)$$

$$Lfs[dB] = 103.1$$

A continuación calculamos el nivel de sensibilidad o la potencia a la entrada del receptor (estación receptora).

$$Pr_x(dBm) = Ptx(dBm) - Ltx(dB) + Gtx(dB) - Lfs(dB) + Grx(dB) - Lrx(dB)$$

$$Pr_x(dBm) = 20(dBm) - 0.512(dB) + 12(dB) - 103.1(dB) + 12(dB) - 1.024(dB)$$

$$Pr_x(dBm) = -60.636$$

Con el fin de garantizar una transmisión confiable el margen de ganancia (*gain margin*) debería ser superior a 10 dB.

$$MG(dB) = Gs(dB) - Lfs(dB)$$

$$Gs(dB) = 20(dBm) - 0.512(dB) + 12(dB) + 12(dB) - 1.024(dB) + 105(dBm)$$

$$Gs(dB) = 147.464$$

$$MG(dB) = 147.464(dB) - 103.1(dB)$$

$$MG(dB) = 44.364$$

Teniendo en cuenta que 44.364(dB) es mayor que 10 (dB) garantizamos con ello nuevamente una transmisión confiable. Para este escenario las coordenadas de la estación receptora (CAT-CCCP) son: latitud es 1° 49' 20.14" (N) y longitud 78° 43' 47.96" (W). En la estación transmisora (Isla del Viudo) son: latitud es 1° 51' 8.11" (N) y longitud 78° 42' 50.40" (W). La figura 27 muestra el mapa digital de la zona y la localización de las dos estaciones además los lóbulos de radiación de las antenas, mientras que la figura 28 muestra el trazado del perfil para el enlace inalámbrico.

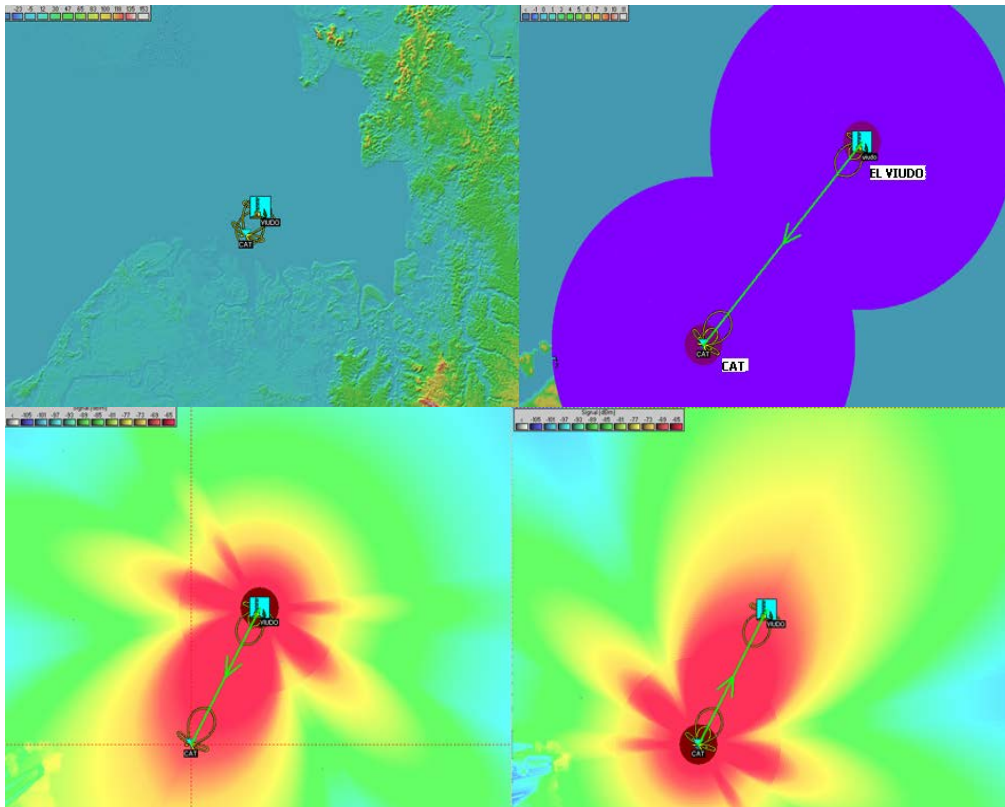


Figura 27. Cobertura del sistema de comunicaciones y simulación del patrón de radiación para las antenas en la estación transmisora y la estación receptora

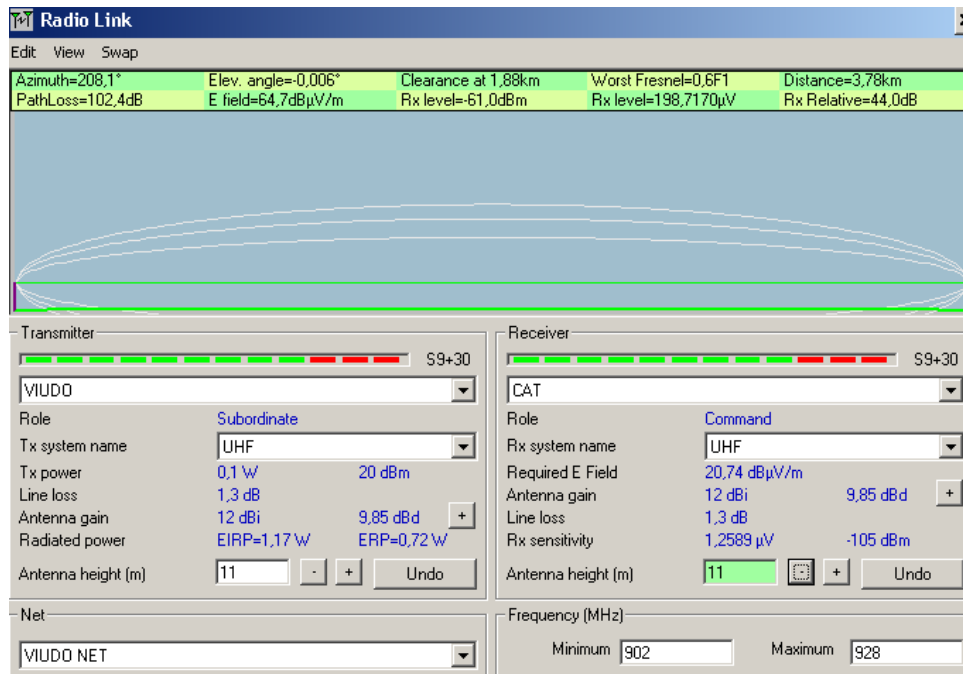


Figura 28. Simulación del trazado de perfil para evaluar la calidad del enlace inalámbrico

3.2.1 Observaciones y recomendaciones

Con respecto a las antenas directivas se recomienda poner atención a las siguientes sugerencias:

- Este tipo de antenas deben ser ubicadas en sitios altos y con excelente línea de vista ya que de no ser así lo más seguro es que la señal electromagnética se atenúe muy significativamente o definitivamente se pierda a lo largo del trayecto.
- Al momento de realizar un enlace punto a punto se sugiere que las antenas transmisora y receptora se encuentre bien alineadas debido a su directividad. Para el caso de enlaces punto a multipunto es necesario contar con una o varias antenas omnidireccionales que funcionen en la misma banda de frecuencia.
- Si se desea realizar enlaces largos y de amplia cobertura se sugiere utilizar antenas con polarización horizontal (lóbulos de radiación amplia) pero si la zona presenta varios obstáculos se sugiere utilizar antenas con polarización vertical (lóbulos de radiación agudo).
- El conector SMA deberá ser cubierto con algún material aislante a fin de protegerlo de la oxidación lo cual provocaría un mal funcionamiento de la antena en general.

Con respecto a los radios modem se recomienda poner atención a las siguientes sugerencias:

- El radio modem deberá ubicarse en un sitio fresco y libre de interperie y en lo posible posicionarlo de manera vertical evitando así la fractura de conector MCX.
- En lo posible se debe colocar una extensión (preferiblemente cable RG-58 flexible) a la salida del conector MCX para evitar tener un contacto directo con el conector MCX evitando con ello nuevamente la fractura del mismo.

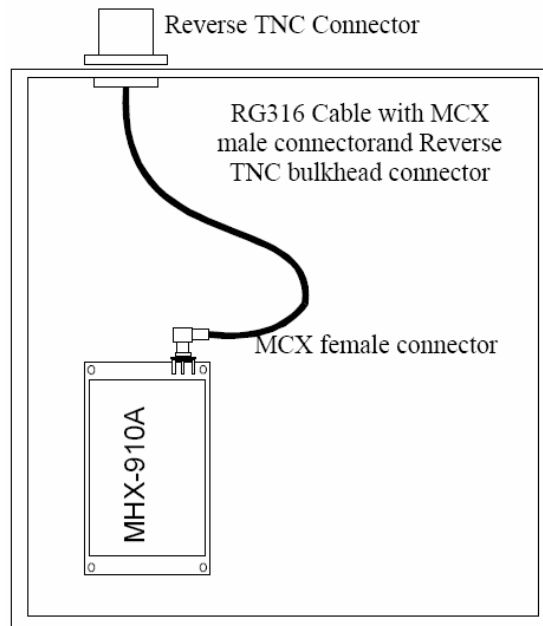


Figura 29. Manera correcta de instalar la tarjeta MHX 910 A

- Siempre energizar el radio modem a través de un regulador de carga para evitar así sobrecargas de tensión.
- Al momento de reconfigurar el radio modem siempre asegúrese de tomar nota de la configuración inicial.

3.3 SUMINISTRO DE ENERGÍA

Es un requerimiento fundamental proporcionar fluido eléctrico constante a los módems y al sensor de presión para garantizar la disponibilidad del sistema en todo momento. El hecho de que la estación transmisora este ubicada en un sitio en el cual no hay fluido eléctrico hace obligatorio el diseño y la instalación un sistema fotovoltaico para suministro de energía. Para ello se partió del conocimiento que la Costa Pacífica nariñense se caracteriza por estar expuesta a una baja radiación solar tal como lo muestra el mapa de la Figura 28 [23]. Regiones como la Guajira presenta en promedio una radiación solar de 2.190 KWh/m²/año (hasta 6.0 KWh/m²/dia) mientras en la Costa Pacífica es de apenas 1.278 KWh/m²/año (menor a 3.5 KWh/m²/dia).

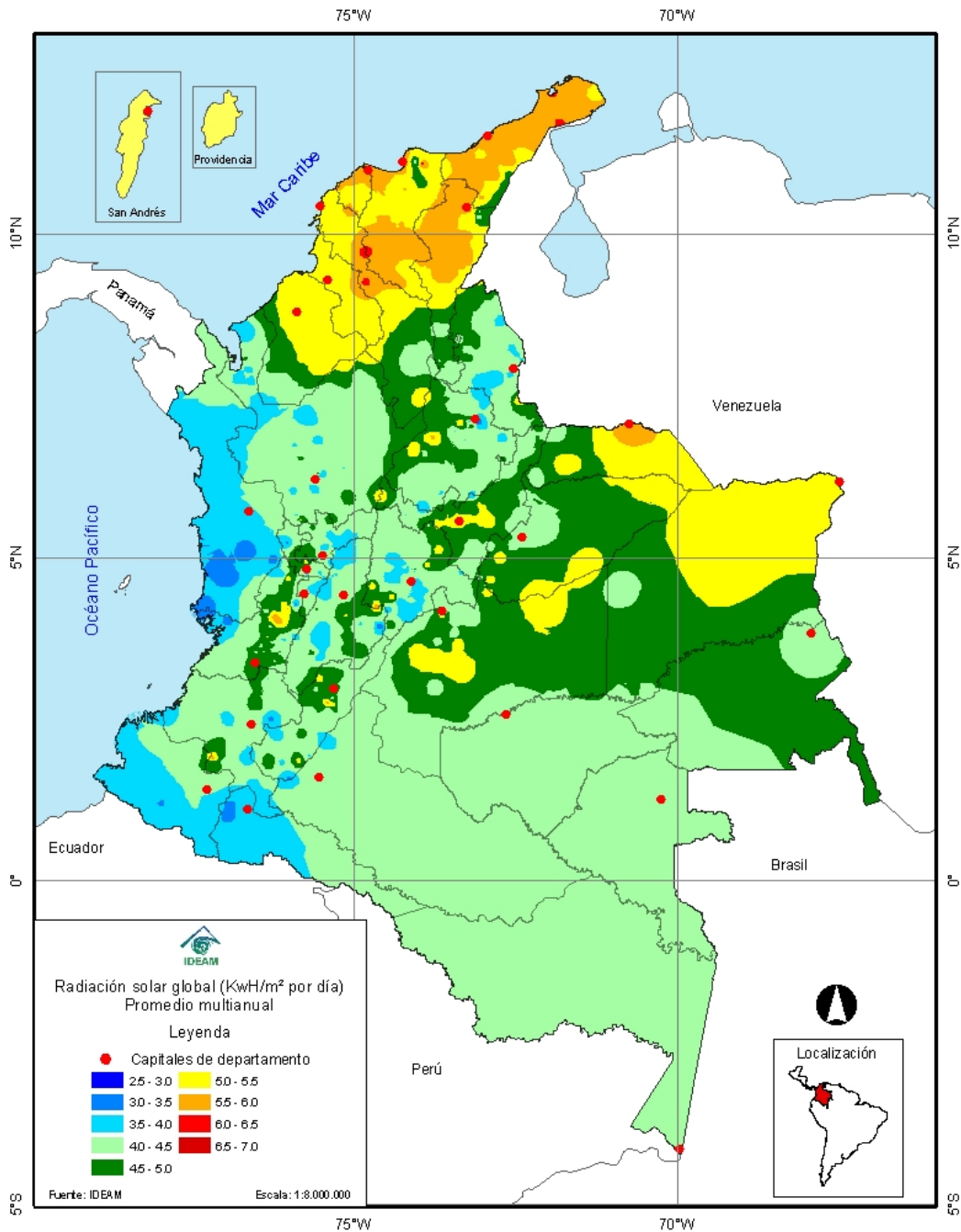


Figura 30. Distribución de la radiación global para Colombia

El primer paso para determinar las capacidades del sistema es realizar el cálculo del consumo promedio para cada uno de los equipos que serán alimentados según lo indica la Tabla 11.

Tabla 11. Características eléctricas de los dispositivos empleados en la implementación del sistema de telemetría

Dispositivo	Sea-Bird SBE-50	Radio-Modem MHX 910A
Voltaje de alimentación	12V	12V
consumo de corriente	43 mA	450mA máx. *250 mA typ
1.2*consumo de corriente	51.6 mA	540 mA máx. *300 mA typ
horas promedio de trabajo	24	24
potencia consumida (w)	0,6192	6,48 *3,6
potencia (w-h)	14,8608	311,04 *172,80
potencia total (w-h)		325,90 *187,66

Considerando que un sensor de presión y dos radio módem estarán funcionando con el sistema autónomo (panel y baterías) y que además trabajara durante las 24 horas se tiene que el consumo total es (15):

$$I_{sistema} = (51,6mA + 300mA) * 24 \text{ horas} = 8.43Ah \quad (15)$$

- Cantidad y capacidad de los módulos solares

Con base en los mapas y reportes generados por el IDEAM tanto de la radiación solar como también del brillo solar en la región de Tumaco podemos darnos cuenta que la radiación promedio es de 140 horas mensuales o 4,66 horas diarias. Con estos valores podemos afirmar que la radiación promedio incidente sobre el modulo solar es de (16):

$$1,2 * 4,66 = 5,592 \text{ horas pico.} \quad (16)$$

Si se considera un factor de 20% para compensar las pérdidas de energía (en las conexiones, en el regulador y en las baterías), la energía demandada será de 395,5392 W-h. Por lo tanto la potencia del módulo requerido es de (17):

$$187,66W-h / 5,592h = 33,55 W. \quad (17)$$

Es decir sea que para alimentar el sistema de telemetría se requiere un modulo de 35 W para cada estación. La Figura 29 muestra las pruebas iniciales para determinar el rendimiento del sistema fotovoltaico.



Figura 31. Pruebas realizadas con paneles solares y baterías para evaluar el rendimiento del sistema de alimentación autónomo

- Capacidad de las baterías

El siguiente paso es calcular la capacidad de las baterías requeridas. Para garantizar que la batería de 12 V tenga un buen periodo de vida útil y no sufra daños por descarga total, se debe prever que la batería solo use el 70% de su capacidad. Por lo tanto, la carga diaria nominal demandada es igual a (18):

$$187,66W-h/(12V*0,7) = 22,34 \text{ Amperios-hora.} \quad (18)$$

Nuevamente, un factor de 0,7 se debe a que solo se permitirá un 70% de descarga máxima en las baterías. Un sistema con una sola de estas baterías no sería confiable porque la carga almacenada serviría para proporcionar la energía demandada solo en días en que la radiación solar fuera suficiente para satisfacerla. Sin embargo, a lo largo del año habrá varios días nublados consecutivamente. En este caso, la energía generada no será la suficiente para alimentar nuestros dispositivos durante la noche. Por ello es necesario tener carga extra almacenada para prevenir esos periodos con bajos niveles de radiación. El tiempo de operación autónoma de la batería puede calcularse así (19)

$$T_{autonomia} = \frac{26Ah}{\left(\frac{8,4384}{24}\right)A} = 73,947h \quad (19)$$

El resultado indica que el sistema puede funcionar en condiciones de baja radiación solar por casi 3 días sin que la batería se deteriore, lo cual es muy bueno teniendo en cuenta la baja radiación solar de la región.

- Capacidad del regulador de carga

Teniendo en cuenta los parámetros de los módulos solares, se puede ver que la corriente generada por el modulo de 12V es del orden de 3 Amperios, por lo que bastará tener un controlador que a la entrada pueda soportar 5 Amperios o más. Ahora si el regulador debe proteger la descarga de las baterías, se puede observar que a la salida manejara una corriente máxima de $187,66W/12V=15,63$ Amperios. Es decir, se seleccionara un regulador que permita manejar corrientes de 20 a 30 Amperios de descarga. Finalmente la Tabla 12 muestra el presupuesto energético requerido para alimentar el sistema de telemetría.

- Consideraciones del Cableado

Hay que calcular la longitud y la sección del cable que se va a usar para conectar los diferentes elementos del sistema fotovoltaico. La longitud del cable depende mucho del emplazamiento de la instalación. En cualquier caso, conviene instalar lo más cerca posible entre si los paneles fotovoltaicos, el sistema de regulación y el sistema de acumulación (baterías). De esta forma, las caídas de tensión en los cables son menores, las secciones necesarias también, así como la longitud del cable y su coste. La sección del cable se elige en función de la longitud de los cables y de la corriente que circula por ellos con el fin de minimizar las caídas de tensión.

Tabla 12. Presupuesto energético total para alimentar el sistema de telemetría

Parámetro	Estación Transmisora	Estación Receptora
Consumo de Corriente(Ah)	8.43	7.20
Radiación Promedio* día	5.592	5.592
Capacidad de los módulos solares (w)	33.55	30.9
Capacidad de las baterías (A-h)	22.34	20.57
Tiempo de Autonomía de las baterías (h)	73.947	86.66
Capacidad del regulador de carga (A).	15.63	14.4

La Figura 30 muestra la instalación final de los paneles solares, batería y regulador de voltaje en la estación transmisora.



Figura 32. Instalación definitiva de los paneles solares, baterías y reguladores de voltaje en la estación transmisora

3.3.1 Observaciones y recomendaciones

Con respecto a los paneles solares se recomienda poner atención a las siguientes sugerencias:

- Ponga siempre la batería sobre una superficie. Nunca la coloque en el suelo ya que esto podría descargarla rápidamente.
- Sea cuidadoso al momento de conectar un dispositivo a la batería. El terminal rojo es el polo positivo mientras que el terminal negro es el polo negativo.
- En caso de no contar con un sistema autónomo de carga (panel solar) es necesario recargar la batería cada 15 días a fin de extender su vida útil.
- Jamás exponga la batería a calor excesivo, esto podría a largo plazo provocar una explosión de la misma. Manténgala en un sitio fresco.

Con respecto a las baterías se recomienda poner atención a las siguientes sugerencias:

- Ponga siempre la batería sobre una superficie. Nunca la coloque en el suelo ya que esto podría descargarla rápidamente.
- Sea cuidadoso al momento de conectar un dispositivo a la batería. El terminal rojo es el polo positivo mientras que el terminal negro es el polo negativo.
- En caso de no contar con un sistema autónomo de carga (panel solar) es necesario recargar la batería cada 15 días a fin de extender su vida útil.
- Jamás exponga la batería a calor excesivo, esto podría a largo plazo provocar una explosión de la misma. Manténgala en un sitio fresco.

3.4 PROCESAMIENTO Y PRESENTACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Como se menciona en la sección 2.4 para la presentación de la información se desarrolló una herramienta software llamada "*Tsunami Detect*" la cual está conformada por un conjunto de rutinas elaboradas en Matlab las cuales se nombran y se describen brevemente a continuación. El anexo C presenta el código fuente.

3.4.1 Descripción de rutinas software

presentacionprincipal.m: Rutina encargada de cargar la presentación inicial de la aplicación la cual presenta tres opciones: entrar, manual de usuario y salir.

presentación.m: iniciar el programa en donde se solicita al usuario el tipo de sensor a utilizar, el idioma y el puerto de comunicación.

Interfaz.m: Rutina encargada de cargar la interfaz grafica además de realizar la configuración inicial del sistemas y finalmente administrar los llamados a funciones través de los iconos que contiene la interfaz.

adquisición.m: Rutina encargada de leer el puerto serial para adquirir los datos transmitidos por el sensor para luego graficar y comparar el nivel de marea real con el nivel de marea predicho utilizando el algoritmo de predicción de mareas. Finalmente invoca la alerta sonora cuando el umbral permitido sea sobrepasado.

Basededatos.m: Rutina que permite al usuario acceder al contenido del archivo de texto dentro del cual se almacenan los datos registrados por el sensor como son la presión, el nivel de marea y la fecha en la cual se adquiere el dato.

sonido.m: Rutina encargada de generar las alertas sonoras del sistema.

mensajes.m: Rutina encargada de mostrar mensajes de error y notificaciones del sistema.

3.4.2 Descripción y funcionamiento de la herramienta software *tsunami detect*

A continuación Abra Matlab, seleccione la ruta en la cual guardo la carpeta Tsunami Detect y en ventana de comandos digite PRESENTACIONPRINCIPAL <enter> esto lo llevara a la presentación inicial del software Tsunami Detect, Figura 31. Presione el botón SALIR para abandonar el software. Presione el botón AYUDA para acceder al manual de usuario. Presione el botón ENTRAR para acceder a las interfaz de configuración y posteriormente acceder a la interfaz principal tal como lo muestra la Figura 32.



Figura 33. Presentación inicial y de configuración del software *Tsunami Detect*

Si presiona el botón ENTRAR lo primero que aparecerá será una ventana que le permite seleccionar el tipo de sensor, configurar el idioma y finalmente seleccionar el puerto de comunicación tal como lo muestra la Figura 33. Finalmente presione OK.

A continuación aparece la interfaz principal la cual contiene un grupo de iconos los cuales se describen a continuación

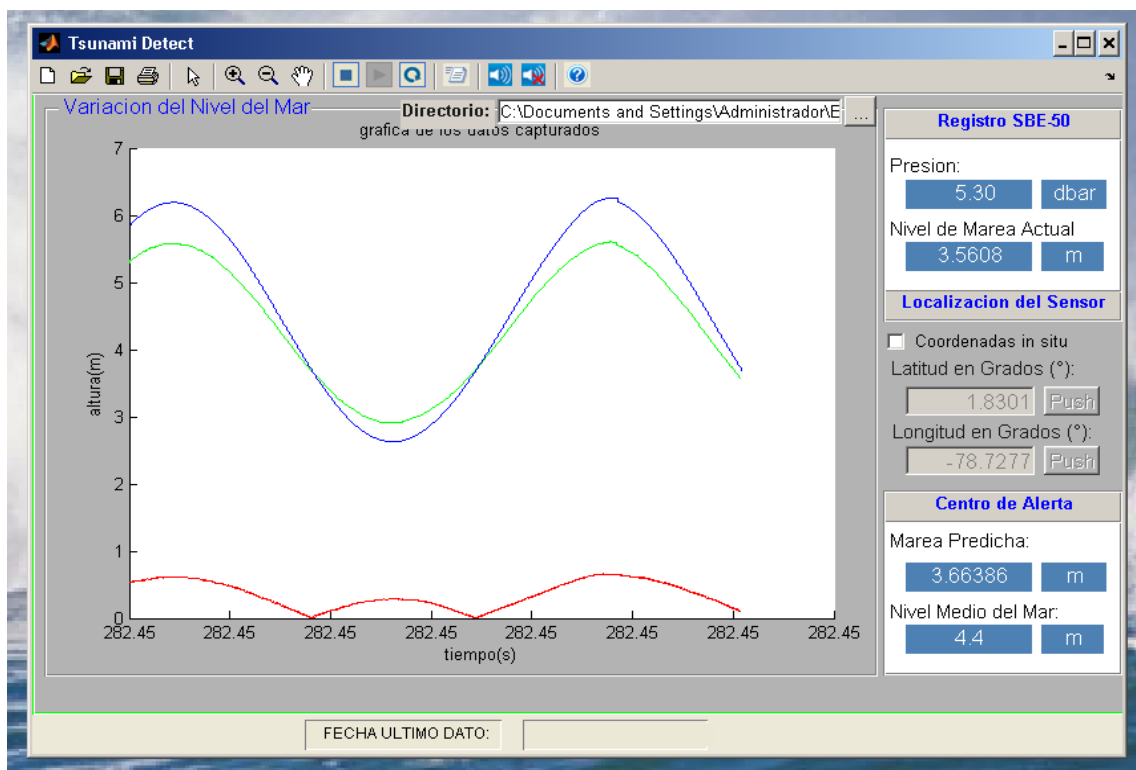







Figura 34. Monitoreo de la marea real y la marea predicha utilizando el software *Tsunami Detect*

-  **DETENER:** Detiene la adquisición y monitoreo de datos sin perder la información adquirida anteriormente.
-  **INICIAR:** Da comienzo a la adquisición de datos y graficación de la marea.
-  **ACTUALIZAR:** Actualiza el sistema
-  **ACCEDER:** Accede al contenido del archivo dentro del cual se almacenan los datos registrados por el sensor.
-  **ALERTAR:** Activa manualmente la alerta sonora al momento de detectar anomalías en el nivel de la marea.



SILENCIAR: Apaga manualmente la alerta sonora al momento de registrar un nivel normal de la marea.



SALIR: Lleva al usuario a la interfaz inicial



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 se encuentren dentro de los límites de los ejes coordenados.

REGISTRO SBE 50: Muestra la información que registra el sensor en tiempo real y la altura de la marea teniendo en cuenta de los datos de presión y las coordenadas en las que está ubicado el sensor.

LOCALIZACIÓN DEL SENSOR: Muestra y actualiza las coordenadas del sensor.

CENTRO DE ALERTA: Muestra la información de la marea predicha y el valor medio de la marea en tiempo real

FECHA DEL ÚLTIMO DATO: Permite visualizar la fecha y hora del último dato capturado por el sensor.

CUADRO DE GRAFICAS: Muestra de forma grafica el comportamiento de la marea observada y la marea predicha en tiempo cuasi real.

Al momento de establecer comunicación, el software guarda en un archivo.txt la fecha y el valor del nivel de la marea observado. Posteriormente grafica en tiempo cuasi real la curva de marea observada, la curva de marea predicha y la curva correspondiente a


la diferencia de mareas. Si la diferencia supera un umbral se activa automáticamente una alarma sonora y las curvas inmediatamente cambian de color. En este momento usted puede presionar el botón **ALERTAR**. Si el programa por algún motivo se bloquea presione primero el botón **DETENER** y luego el botón **ACTUALIZAR** o también **INICIAR**. Si desea tener acceso al archivo .txt generado primero debe parar el programa presionando el botón **DETENER**. De manera similar si desea salir definitivamente del software presione el botón **SALIR** . Se debe tener en cuenta que el sensor de presión fue calibrado para que las muestras sean tomadas cada 10 segundos.



Figura 35. Adquisición y monitoreo de la marea real y la marea predicha desde el Centro de Alerta de Tsunami

Finalmente y durante un periodo de muestreo que supero más de 72 horas continuas de operación se observo lo siguiente:

- Independiente de cada uno de los procesos que se ejecutan simultáneamente como adquisición, procesamiento y almacenamiento de los datos en tiempo cuasi real, el software responde rápidamente ante las peticiones o manipulación de sus iconos y funciones por parte del usuario.

- El nivel de marea pronosticada y el nivel de marea real resultaron ser consistentes. La grafica de marea pronosticada se realizo mediante la implementación de un algoritmo matemático basado en la formula de predicción de mareas. Es importante mencionar que la consistencia de los dos niveles de la marea puede mejorarse con la ayuda de algoritmos más elaborados como el utilizado en las boyas DART.
- El sistema acciono las alertas sonoras de manera eficiente ante los cambios del nivel de la marea.
- Se observo que el software no exige grandes capacidades de procesamiento al equipo de cómputo (siempre que no esté realizando otras tareas importantes continuamente); aunque siempre es recomendable disponer de equipos con buen desempeño. En este caso se recomienda dotar al PC con una memoria RAM igual o superior a 512 MB y que este dedicado únicamente a este proceso.



Figura 36. Instalación final del sistema de telemetría

3.5 COSTO DE IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

En la Tabla 13 se presenta la lista de los equipos que hacen parte del sistema de telemetría además del estimativo de la inversión que se debe realizar para su implementación.

Tabla 13. Costo de equipos para implementar el sistema de telemetría

Dispositivo	Cantidad	Valor unitario (pesos)	Valor total (pesos)
Sensor de presión oceanográfico. Marca (SeaBird SBE-50)	1	6'083.000	6'083.000
Radio Modem Serial Spread Spectrum. Referencia TIL 910A	2	2'200.000	4'400.000
Antena yagui marca UNITEL. Referencia UAN-900	2	138.380	276.760
Modulo Solar de 35W marca ATERSA. Referencia A-35M	2	900.000	1'800.000
Regulador de voltaje 12V/24V. Marca SUCONEL	2	95.000	190.000
Batería estacionaria 12V/26Ah Marca CGB	2	115.000	230.000
Cables, conectores, otros.	2	160.000	320.000
		Total	13'299.760

De la estimación de costos para la instalación del sistema de telemetría puede concluirse que la solución es económica y por lo tanto viable su implementación.

CONCLUSIONES

- El desarrollo de sistemas de bajo costo para el monitoreo de variables físicas en tiempo cuasi se real comienzan a ser herramientas fundamentales para la prevención de desastres, de ahí la importancia del centro de investigación como el CCCP que ha dado impulso a este tipo de proyectos de tal forma que sean un soporte tecnológico importante al momento de presentarse una emergencia, en este caso, por tsunamis.
- Queda abierto el camino para la continuación del proyecto piloto el cual busca en este momento lograr mejoras en los procesos relacionados 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 de la onda tsunami y el análisis de la frecuencia la onda, además de realizar estudios previos que permitan llevar el sistema de telemetría mar adentro teniendo así la posibilidad de detectar y generar alertas hardware (bocinas, sirenas, etc) ante la presencia de tsunamis de origen cercano y de origen lejano.
- El sensor oceanográfico de presión SEABIRD SBE-50 pese a sus limitaciones técnicas demostró ser un instrumento confiable y sensible al momento de capturar y transmitir datos a través de su interfaz serial.
- El software de simulación *Radio Mobile* se convirtió en una herramienta fundamental para el desarrollo del proyecto ya que permitió estimar el comportamiento que tendría la señal electromagnética, haciendo posible con ello elegir el mejor sitio de emplazamiento para los equipos de transmisión, el tipo de antenas y la altura a la cual deben ubicarse.
- Hasta el momento 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 resulto ser muy económico en comparación con otros sistemas que presentan una funcionalidad similar como son las boyas DART, mareógrafos y las estaciones mareográficas.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Satake, Kenji. *"Tsunamis. Case Studies and Recent Developments"*, Ed. Springer, 2005. ISBN: 13978-1-4020-3326-1. Dordrecht, Berlin.
- [2] Centro Internacional de Información sobre Tsunamis (ITIC). "Glosario de Tsunamis". Disponible en: <http://www.ineter.gob.ni/geofisica/tsunami/glossary>
- [3] Comisión Colombiana de océano. Disponible en: <http://www.cco.gov.co/anterior/tsunami1.htm>
- [4] Stewart, Robert. *"Introduction To Physical Oceanography"*. Department of Oceanography. Texas A & M University. 2002.
- [5] Muller, Peter. *"The Equations of Oceanic Motions"*. University of Hawaii. Ed. Cambridge University Press, 2006. ISBN: 0-521-85513-6.
- [6] Departamento de Comunicación del CICESE. "Prevén Tsunamis CICESE". Disponible en: http://www.gacetacyt.org/index.php?option=com_content&task=view&id=71&Itemid=66
- [7] Sistema Nacional de Alarma de Maremotos de Chile (SNAM). Disponible en: <http://www.shoa.cl/servicios/tsunami/chile2004.pdf>
- [8] National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). *"NOAA Launches Final Two Buoys to Complete U.S. Tsunami Warning System"*. Marzo 10 de 2008. Disponible en: http://www.noaaneews.noaa.gov/stories2008/20080310_buoy.html
- [9] Mofjeld, H.O. *"Tsunami detection algorithm"*. Disponible en: http://nctr.pmel.noaa.gov/tda_documentation.html
- [10] Orozco Cardona, Yuley. Fernández Jaramillo, José. "Análisis de mareas por el método de la descomposición en armónicos". Universidad Nacional de Colombia. Medellín, 2001.
- [11] Boon, J. D. *"SECRETS OF THE TIDE"*. Ed. Horwood Publishing, Chichester, UK, 2004, p. 210.
- [12] Middleton, G.V. *"DATA ANALYSIS IN THE EARTH SCIENCES USING MATLAB"*, Ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 2000, pp 260.
- [13] PREDECAN. Sistematización de la información existente sobre aspectos institucionales, legales y técnicos de gestión del riesgo en Colombia, Bogotá, diciembre de 2006.
- [14] Manual técnico del sensor oceanográfico de presión SEABIRD SBE-50 Disponible en: http://www.seabird.com/pdf_documents/manuals/50_008.pdf
- [15] R. Olexa. *"Implementing 802.11, 802.16, and 802.20 Wireless Networks Planning, troubleshooting and operations"*, Ed. Newnes: Elsevier, 2005. ISBN: 0-7506-7808-9.

- [16] Alexander, Tom. "*Optimizing and Testing Wlans, proven Techniques form maximun performance*", Ed. Newnes: Elsevier, 2007. ISBN 978-0-7506-7986-2.
- [17] Romo, Harold. "Fundamentos de Radio Propagación por onda terrestre y Línea de Vista". Universidad del Cauca, FIET. 2000.
- [18] Modelo de Propagación ITS, Longley Rice.
Disponible en: <http://www.flattop.its.bldrdoc.gov/itm.html>
- [19] Córdoba .H, Chávez ,P."Modelamiento y Simulación de Sistemas de Espectro Ensanchado Secuencia Directa y Salto De Frecuencia". Revista Tecnológica ESPOL,vol 18,N.1, 1-8, Octubre de 2005.
Disponible en: http://www.rte.espol.edu.ec/archivos/Revista_2005/46.pdf
- [20] Manual técnico del radio modem *spread spectrum* MHX 910A
Disponible en: <http://www.microhardcorp.com/brochures>
- [21] Software Radio Mobile
Disponible en: http://www.rte.espol.edu.ec/archivos/Revista_2005/46.pdf
- [22] Mapa de distribución de la radiación solar para el territorio colombiano
Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/files/atlas/mapas%20jpg/radiacion.jpg>
- [23] Mapa de distribución de la radiación solar para el territorio colombiano
Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/files/atlas/mapas%20jpg/radiacion.jpg>
- [24] Intergovernmental Oceanographic Commission."Manual on Sea Level: Measurements and Interpretacion". Volume IV: An update 2006. Paris, Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO 78 PP

**ANEXO A. LISTA DE COMANDOS DE CONFIGURACION PARA EL SENSOR
OCEANOGRAFICO DE PRESION SEABIRD SBE-50**

CATEGORY	COMMAND	DESCRIPTION
Status	DS	Display status and setup parameters.
Setup	BAUD=x	x= baud rate (600, 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400). Default 9600.
	OUTPUTFORMAT=x	x=0: raw pressure and pressure temperature. x=1: pressure in psia. x=2: pressure in decibars. x=3: depth in meters for salt water. x=4: depth in feet for salt water. x=5: depth in meters for fresh water. x=6: depth in feet for fresh water. x=7: pressure (decibars) and scan number in hex.
	DECIMALS=x	x = number of digits to output to right of decimal point (for OUTPUTFORMAT=1 through 6).
	LATITUDE=x	x = latitude (degrees) to use in depth calculation (for OUTPUTFORMAT=3 and 4).
Optional 0-5 VDC Voltage Output	OUTPUTVOLT=x	x=Y: Optional voltage output enabled. x=N: Optional voltage output not enabled.
	VRANGE=x	x= Voltage output scale factor. Output voltage = 0.1 + (4.8 * P / VRANGE) where P = computed pressure or depth in units set with OUTPUTFORMAT= command. If computed voltage < 0.05, it is set to 0.05. If > 4.95, it is set to 4.95.
	VCAL	Test used to internally calculate SBE 50's D/A converter offset and scale factor. When VCAL is sent: 1. SBE 50 outputs 0.2 volts. Enter voltmeter reading (in volts) at prompt and press Enter. 2. SBE 50 outputs 4.8 volts. Enter voltmeter reading (in volts) at prompt and press Enter.
	VOLT=x	Set output voltage to x (volts). Use this command, and a voltmeter, to verify that D/A converter offset and scale factor calculated with VCAL are correct. If VCAL was performed properly, voltmeter reading should equal x.
Sampling	AUTORUN=x	x=N: Wait for a command when power is applied. Default. x=Y: Start autonomous sampling automatically when power is applied.
	NAVG=x	x= number of samples to average for autonomous sampling. SBE 50 samples at 16 Hz, averages NAVG samples, and transmits averaged data. Default=1.
	START	Start autonomous sampling now.
	STOP	Stop autonomous sampling. Press Enter key to get S> before entering command.
	TS	Take one sample and transmit data.
Coefficients (F=floating point number; S=string with no spaces) Date shown is when calibration was performed. Calibration coefficients are initially factory- set and should agree with Calibration Certificate shipped with SBE 50.	DCAL	Display calibration coefficients.
	PSN=S	F= Pressure sensor serial number.
	PRANGE=F	F= Full scale pressure range in psia.
	PCALDATE=S	S= Pressure calibration date.
	PA0=F	F= Pressure A0.
	PA1=F	F= Pressure A1.
	PA2=F	F= Pressure A2.
	PTCA0=F	F= Pressure ptca0.
	PTCA1=F	F= Pressure ptca1.
	PTCA2=F	F= Pressure ptca2.
	PTCB0=F	F= Pressure ptcb0.
	PTCB1=F	F= Pressure ptcb1.
	PTCB2=F	F= Pressure ptcb2.
PTEMPA0=F	F= Pressure ptempa0.	
PTEMPA1=F	F= Pressure ptempa1.	
PTEMPA2=F	F= Pressure ptempa2.	
POFFSET=F	F= Pressure offset.	

**ANEXO B. LISTA DE COMANDOS DE CONFIGURACION PARA EL RADIO MODEM
SPREAD SPECTRUM MHX 910A**

AT Commands			S Registers	
A	Answer		S0	Auto Answer
E	Command Echo			0 = power up in Command Mode, *1 = power up in Data Mode
	E0 No Echo		S2	Escape code [0..255] default '+' (43)
	* E1 Command Echo		S3	CR character [0..255] default <cr> (13)
g	Spectrum Analyzer		S4	Line Feed [0..255] default <lf> (10)
I	Identification		S5	Backspace [0..255] default <bs> (8)
	I0 Custom		S101	Operating Mode
	I1 Product Code			1 - Master Point to Multipoint
	I2 ROM Checksum test			2 - Master Point to Point
	I3 Firmware Version			3 - Slave
	I4 Firmware Date			4 - Repeater
	I5 Copyright			5 - Master Diagnostics
	I6 Firmware Time			6 - Master - One Way Polling
	I7 Serial Number			Serial Bond Rate
O	On-line Mode		S102	1 = 115200, 2 = 57600, 3 = 38400
P	Statistics			4 = 28800, 5 = 19200, 6 = 14400
Q	Quiet Mode			*7 = 9600, 8 = 7200, 9 = 4800,
	* Q0 Enables Result Codes			10 = 3600, 11 = 2400, 12 = 1200
	Q1 Disables Result Codes		S103	Wireless Link Rate
V	Result Codes Display			*2 = Fast w/o FEC
	V0 Display as Numbers			4 = Fast with FEC
	* V1 Display as Words		S104	Network Address [0..65535]
W	Connection Result		S105	Unit Address [1..65535]
	* W0 Reports DTE as CONNECT xxxxx		S106	Primary Hopping Pattern [0..63]
	W1 DTE) rate as CARRIER xxxxx		S206	Secondary Hopping Pattern [0..63]
	W2 Reports DCE as CONNECT xxxxx		S107	Encryption Key [0..65535]
Z	Reset and load stored configuration		S108	Output Power Level
&C	DCD (Data Carrier Detect)			0 = 1 mW, 1 = 10 mW, *2 = 100 mW, 3 = 1000 mW
	* &C0 DCD is always on		S109	Hopping Interval
	&C1 DCD is on when modems are synchronized			1 = 8 msec, 2 = 12 msec, 3 = 16 msec,
	&C2 DCD used for output data framing			*4 = 20 msec, 5 = 30 msec, 6 = 45 msec,
	&C3 DCD sync pulse			7 = 80 msec, 8 = 120 msec, 9 = 100 msec
&D	DTR (Data Terminal Ready)		S110	Data Format
	* &D0 DTR ignored			* 1 = 8N1, 2 = 8N2, 3 = 8E1, 4 = 8O1
	&D2 DTR disconnects and switches to command			5 = 7N1, 6 = 7N2, 7 = 7E1, 8 = 7O1
	&D3 DTR disconnects and resets modem			9 = 7E2, 10 = 7O2, 11 = 9N1
&F	Load Factory Default		S111	Packet Minimum Size [1..Maximum Size]
	&F1 Master		S112	Packet Maximum Size [2..255]
	&F2 Slave		S113	Packet Retransmissions [0..255]
	&F3 Repeater		S213	Packet Retry Limit [0..255]
	&F4 Slave through Repeater		S114	Packet Size Control
&K	Handshaking			*0=Disabled, 1=Enabled
	&K0 Disable Handshaking		S115	Packet Repeat Interval [1..255]
	&K2 RTS/CTS Input Framing			Default = 1
&K3	Enable Handshaking		S116	Packet Character Timeout [0..254 ms]
&H	Hop Pattern Editor		S117	Modbus Mode
&S	DSR (Data Set Ready)			*0 = Disabled, 1 = Enabled
	&S0 DSR is always on		S118	Roaming
	* &S1 DSR on in data, off in command mode			*0 = Disabled, 1 = Enabled
	&S2 DSR/DTR signaling		S119	Quick Enter to Command
&V	View Configuration			0 = Disabled, *1 = Enabled
&W	Write configuration to memory		S120	RTS/DCD Framing Interval [0..254 ms]
Sxx?	Read S register value		S121	DCD Timeout [0..254 ms]
Sxxyy	Set S register value		S122	Remote Control
Result Codes				*0 = Disabled, 1 = Enabled
0	OK	18	S123	RSSI (dBm)
	CONNECT 9600		S124	TDMA Duty Cycle *0
3	NO CARRIER	CONNECT 14400	S125	TDMA Max Address *200
4	ERROR	16	S126	Data Protocol *0
	CONNECT 19200		S127	Address Filtering *0
22	CONNECT 2400	CONNECT 28800	S128	Multicast Group *0
21	CONNECT 3600	CONNECT 38400	S129	Secondary Master *0
20	CONNECT 4800	CONNECT 57600	S135	Serial Channel Mode
19	CONNECT 7200	CONNECT 115200		*0 = RS232, 1 = 4-wire RS485, 2 = 2-wire RS485
8	CARRIER 430006	CARRIER 84000		