
2

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE ALERTA
TEMPRANA DE TSUNAMIS PARA EL
CANTÓN GENERAL VILLAMIL, PLAYAS,
PROVINCIA DEL GUAYAS**

*Leonardo Muñoz Montesdeoca, Josué Pérez Moncayo,
Freddy Villao Quezada.*

*Recibido: septiembre de 2016
Aprobado: noviembre de 2016*

DISEÑO DE UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA DE TSUNAMIS PARA EL CANTÓN GENERAL VILLAMIL, PLAYAS, PROVINCIA DEL GUAYAS

DESIGN OF AN EARLY TSUNAMIS WARNING SYSTEM FOR THE GENERAL CANTON VILLAMIL, PLAYAS, PROVINCE OF GUAYAS

Leonardo Muñoz Montesdeoca¹, Josué Pérez Moncayo¹, Freddy Villao Quezada¹

¹ Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones, Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL).
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 Vía Perimetral. Guayaquil – Guayas – Ecuador.
leodemun@espol.edu.ec

Resumen

El presente estudio se refiere al diseño de un sistema de alerta temprana de tsunamis en el cantón General Villamil, Playas, monitorizado y controlado desde el Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR), ubicado en la Base Naval Sur de la ciudad de Guayaquil. En el mismo se detalla el diseño del sistema, la tecnología de transmisión seleccionada con los terminales más idóneos que serán necesarios instalar, la determinación de los lugares en el cantón General Villamil Playas, provincia del Guayas, donde se colocarán las sirenas electrónicas, así como el tipo de red que se usará para activar los dispositivos acústicos. Adicionalmente, se describen las características principales de las sirenas requeridas para el sistema, se detalla el diseño del software que administra remotamente los terminales acústicos así como la comunicación GSM entre sirenas mediante la utilización de arduino, y se calcula la cobertura de cada una de las sirenas del sistema de alerta temprana.

Palabras Clave: Arduino, GSM, GPRS, satélites, tsunamis.

Abstract

This study refersto the tsunami early warning system in canton General Villamil Playas, monitored and controlled by the Navy Oceanographic Institute, located in the Southern Naval Base in Guayaquil city. It details the design of the system, the transmission technology selected with the most suitable terminals that will be necessary to install, the determination of the places in the canton General Villamil Playas, Guayas province, where the electronic horns will be located, as well as the type of network that will be used to activate the acoustic devices. Additionally, the main features of the horns required for the system are described, the software design that remotely manages the acoustic terminals as well as the GSM communication between horns through the use of arduino are detailed, and the coverage of each horn of the tsunami early warning system is calculated.

Keywords: Arduino, GSM, GPRS, satellites, tsunamis.

*Recibido: septiembre de 2016
Aprobado: noviembre de 2016*

1. Introducción

Ecuador se encuentra ubicado en el Cinturón de Fuego del Pacífico, zona muy conocida por sus volcanes y gran actividad sísmica, constituyéndose como la principal fuente originadora de sismos del país.

Aproximadamente a 50 Km del Litoral ecuatoriano, se encuentra una subducción oceánica denominada “fosa” oceánica, lugar en el que convergen las placas de Nazca y Sudamérica, 2 de las 16 placas tectónicas que se encuentran en el mundo. Los sismos cuya magnitud sea mayor a 6.7 grados en la escala de Richter son considerados tsunami génicos. [1]

El 31 de Enero de 1906 ocurrió un sismo de magnitud 8.8 en la escala de Richter en la provincia de Esmeraldas, sismo de igual magnitud al ocurrido en Chile el 27 de Febrero de 2010. El National Earthquake Information Center, NEIC-USGS por sus siglas en inglés, es la Agencia Federal responsable de llevar registro y notificar la actividad sísmica de los Estados Unidos y del Pacífico, que cree probable, que la altura de las olas del tsunami producido por el sismo en las costas de Esmeraldas, fue sobre los 5 metros en la zona de Tumaco y afectó las costas cercanas al epicentro en menos de treinta minutos de ocurrido el sismo. [2]

1.1. Planteamiento del problema

Cuando el Instituto Oceanográfico de la Armada, entidad encargada del monitoreo y alerta de tsunami en Ecuador, recibe un correo electrónico o llamada telefónica de alerta de amenaza de tsunami por parte del Centro de Alerta de Tsunami del Pacífico (PTWC, por sus siglas en inglés) que se encuentra en HAWAI, el personal del INOCAR se encarga de llenar un formulario en el programa Microsoft Word que después será enviado en formato .PDF a la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos, entidad pública encargada de la prevención de riesgos y catástrofes del Ecuador, para proceder con el protocolo de contingencia.

El intervalo de tiempo que se toma en llenar dicho formulario es de 5 – 8 minutos, esto sin contar que se reciben nuevas amenazas con magnitudes de sismos actualizadas. La obligación del Instituto Oceanográfico de la Armada termina con informar mediante correo electrónico o por medio de una llamada a la Secretaría de Gestión de Riesgos sobre la amenaza de tsunami. La Secretaría de Gestión de Riesgos elabora el respectivo plan de contingencia, notificando a los COE cantonales, cuerpo de bomberos y policía nacional, para la respectiva evacuación del lugar en riesgo.

El protocolo que existe, actualmente, en el sistema de alerta temprana de tsunamis, integra a varias entidades gubernamentales y excesiva documentación, por lo que surge la necesidad de instaurar mejoras con el fin de agilizar la gestión. La propuesta a continuación sugiere

reemplazar las notificaciones generadas desde el INOCAR hacia las entidades gubernamentales, por alertas electrónicas directas hacia las poblaciones en riesgo para salvaguardar sus vidas.

Esto implicaría desarrollar el diseño propuesto, donde, la estación INOCAR, luego de recibir la alerta por parte del PTWC y adicionalmente, del resultado del monitoreo de sus boyas de tsunami, active inmediatamente la red de dispositivos acústicos, estratégicamente ubicados en la zona en riesgo, de modo que la población evacúe o tome las medidas respectivas para el caso. La comunicación entre la central INOCAR y los dispositivos de alerta es satelital, mientras que, la comunicación entre los dispositivos sonoros es GSM.

1.2. Ubicación del problema

La Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos tiene a disposición en su sitio web varios mapas, los cuales presentan el caso de una ola con una altura determinada impactando la costa ecuatoriana, dicha ilustración muestra la inundación que se ocasionaría en las zonas de las ciudades costeras del país, siendo posible así, clasificarlas según el riesgo y el nivel de afectación al que están expuestas en caso de un evento tsunamigénico.

En la Figura 1 se detalla el mapa de inundación del cantón General Villamil, Playas, elaborado por la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos, donde se muestra lo que ocasionaría una ola de una altura de 3.5 metros y la probabilidad de que ciertas zonas se inunden más que otras. Las zonas señaladas de color amarillo más oscuro son las que tienen mayor probabilidad de inundación ante una ola de esas características, y las zonas de color amarillo más claro, tienen bajas probabilidades de inundación.

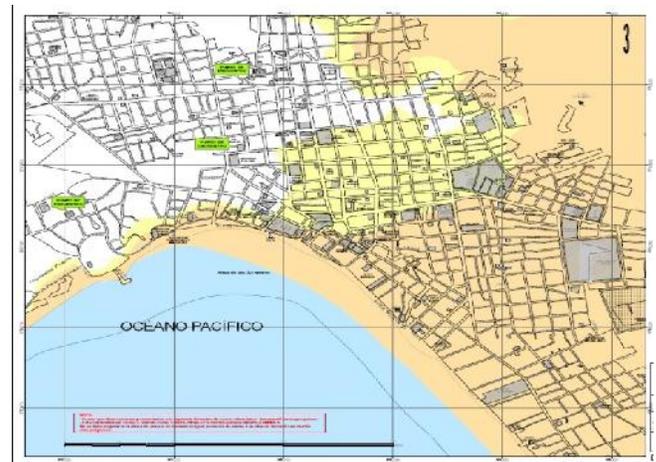


Figura 1. Mapa de Inundación del cantón Playas. [3]

En comparación con las ciudades costeras de Manta y La Libertad, se estableció que si una ola de tsunami de altura de 3.5 metros llegase a las costas de General Villamil, Playas, ocasionaría grandes daños a un importante sector de la población y a la infraestructura de la ciudad como se

puede apreciar en la figura anterior. Los asentamientos que se encuentran contruidos a orillas del mar no poseen la infraestructura suficiente para el soporte de los eventos de tsunami y la altura máxima en que se encuentran es de 2.5 metros sobre el nivel del mar.

Considerando las vulnerabilidades que presenta el cantón General Villamil Playas, y en base a los análisis elaborados, en comparación con las demás provincias, con información obtenida de la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos, además de la información proporcionada por el Instituto Oceanográfico de la Armada, se concluye prioritariamente, la implementación de un Sistema de Alerta Temprana de Tsunami que se active de manera automática y directa a través del Instituto Oceanográfico de la Armada, razón por la cual se selecciona al cantón costero de General Villamil, Playas como el lugar indicado para diseñar la propuesta. La Tabla 1 muestra la localización de las Boyas de Tsunami con su latitud y longitud correspondiente, y en la figura 2 están representadas esas mismas Boyas en el mapa de Ecuador.

PROVINCIA	LATITUD	LONGITUD
ESMERALDAS	01.0000	080.0000
MANTA	01.2724	081.0000

Tabla 1: Lista de Boyas de Tsunami del Ecuador[4]

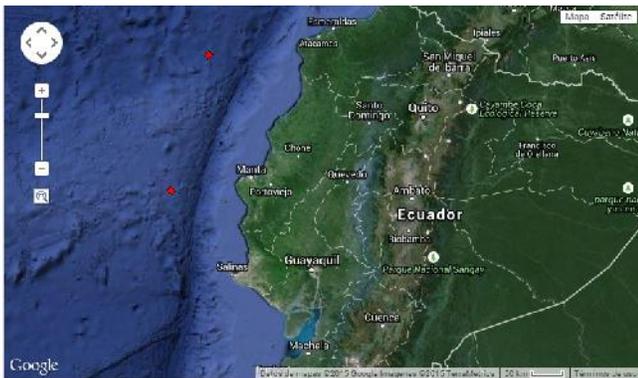


Figura 2. Boyas de Tsunami de Ecuador[4]

2. Descripción del sistema

Wang et al. (2003) consideran que los sistemas de alerta temprana son un medio importante para reducir las pérdidas por desastres. Agregan que las redes de los sistemas de alerta temprana consisten de las siguientes partes: la red para la observación de los peligros naturales, elementos relevantes y fenómenos; el sistema de telecomunicación para recolección en tiempo real, transmisión e intercambio de los datos observados; el sistema para el procesamiento de datos, análisis y diagnóstico, modelaje y formulación de predicciones, incluyendo la diseminación y transmisión de las predicciones y alertas. Actualmente, expresan los autores, la mayoría de las redes de transmisión de datos en tiempo real de los sistemas de alerta temprana están principalmente conectadas por medio de enlaces de

transmisión de velocidad media como satélites y microondas, y algunos están recolectando datos de estaciones de observación por medio de transmisiones y recepciones satelitales. [5]

Lauterjung (2005) manifiesta, que el sistema de alerta temprana de tsunamis es una parte de un sistema de alerta temprana que también es capaz de registrar otros desastres naturales tales como: terremotos y erupciones volcánicas. El sistema integra redes de observaciones terrestres de sismología y geodesia, con técnicas de mediciones marítimas y observaciones satelitales. [6]

Musa et al. (2012) estiman que los mecanismos de alerta pueden predecir la posibilidad de la generación de tsunami dentro de los tres minutos después de ocurrido un terremoto [7]. En este sentido, el medio de transmisión de los datos en tiempo real a ser utilizado juega un rol vital en los sistemas de alerta temprana.

Kanamori (2015) sostiene, que para una alerta de tsunami, el tiempo de alerta requerido es bastante largo (por lo general 5 minutos o más). En contraste, indica, los sistemas de alerta temprana de terremotos requieren tiempos de alerta más cortos (tan cortos como 3 segundos). [8]

El diseño propuesto del sistema de alerta temprana de tsunamis se muestra en la figura 3, el mismo que debe ser implementado en su totalidad.

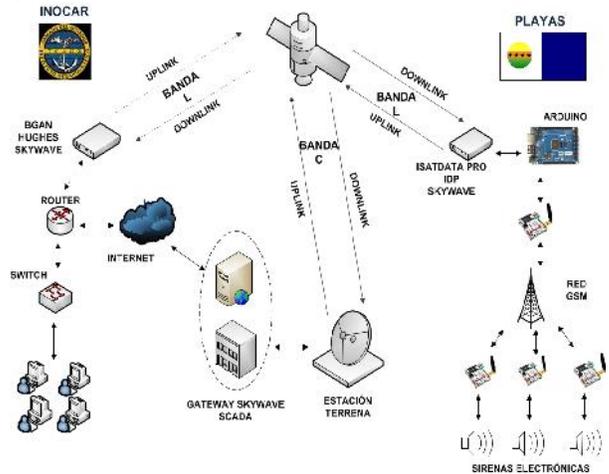


Figura 3. Arquitectura de la Red de Alerta Temprana para Tsunamis.

La constelación satelital con la que se va a elaborar el diseño de esta red satelital será INMARSAT, que por operar satélites geoestacionarios brinda la mejor cobertura para el país, por su condición de ser ecuatorial, en comparación con IRIDIUM y Globalstar cuya constelación está integrada por satélites de órbitas bajas. INMARSAT cuenta con servicios de la generación de satélites de dos vías Inmarsat-4 para la región de América, y en particular el satélite ubicado en la posición 98° Oeste.

La compañía INMARSAT tiene un servicio llamado máquina-máquina (M2M, por sus siglas en inglés), que permite monitorizar y administrar bienes que se encuentren fijos o móviles de manera remota; entre estos servicios M2M se encuentran: BGAN M2M, ISATM2M, ISATDATA PRO. El servicio BGAN (INMARSAT Broadband Global Area Network) es para clientes con requisito de gran volumen de datos que van desde los megabytes a los gigabytes, como la vigilancia de gran cantidad de datos en tiempo real y la telemetría. Isatdata Pro es un servicio de baja tasa de datos para la gestión remota de activos fijos, incluyendo el seguimiento y telemetría; opera casi en tiempo real en cualquier parte del mundo. Con la comunicación en modo ráfaga y una puerta de entrada para el almacén y reenvío de mensajes. [9]

Isatdata Pro es un servicio desarrollado conjuntamente por INMARSAT y su socio estratégico la empresa Sky Wave Mobile Communications para ofrecer la transmisión de alta carga de datos y baja latencia, óptimo para una amplia gama de aplicaciones M2M incluyendo SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) para sistemas de monitoreo.

Tal como se observa en la figura 3, el servicio que usaría el INOCAR para conectarse con los servidores SCADA del sistema Isadata Pro, sería internet como enlace principal y BGAN como enlace secundario. En el cantón General Villamil, Playas se ubicaría un terminal Isatdata Pro de la serie IDP-600 cuyo proveedor es la compañía Skywave y utilizándose como sistema de transmisión, la red de INMARSAT (constelación satelital y estaciones terrenas). Arduino será el intermediario entre el dispositivo satelital y la red GSM, que mantendrá una comunicación óptima Punto – Multipunto, para intercambio de datos con las sirenas electrónicas.

El enlace satelital se lo realiza en cuatro secciones a través de la red de INMARSAT:

- Enlace de subida: Estación Terrena– Satélite a través de la banda C.
- Enlaces de bajada: Satélite – Módem Isatdata Pro (estación Playas) y Satélite - BGAN (estación INOCAR), a través de la banda L.
- Enlaces de subida: Módem Isat Data Pro (estación Playas) - Satélite y BGAN (estación INOCAR) – Satélite, a través de la banda L.
- Enlace de bajada: Satélite – Estación Terrena a través de la banda C.

El sistema se inicia con el desarrollo de una aplicación de escritorio, que sería instalada y operada por los usuarios del Centro de Monitoreo del INOCAR; la aplicación permitirá la comunicación entre los usuarios y la red de módulos GSM vía Internet, y de ser el caso, de no encontrarse disponible dicha conexión, se empleará la ruta de comunicación satelital planteada como respaldo (BGAN).

La información enviada por el satélite, es recogida por un

nodo central, administrado por una placa Arduino y ubicado en un punto estratégico de la zona, en este caso, la Municipalidad del cantón General Villamil, Playas. Inmediatamente, el nodo central comenzará la comunicación Punto a Multipunto, en la cual se accionarán los dispositivos acústicos instalados y distribuidos en la zona en riesgo.

De este modo se completa la trayectoria de la alarma, iniciada en el Centro de Monitoreo del INOCAR, finalizando de manera satisfactoria y oportuna en los habitantes de la zona en riesgo.

2.1. Software de aplicación

La aplicación de escritorio fue elaborada utilizando como lenguaje de programación Java, mediante la herramienta de software libre Netbeans. La aplicación consta de un menú con cuatro opciones: Consultar Datos de Sirenas Electrónicas, Dar Alerta de Tsunami, Mapa Geográfico de Sirenas Electrónicas y Acerca del Sistema de Alerta Temprana de Tsunamis.

En la opción Consultar Datos de Sirenas Electrónicas, el usuario podrá solicitar información de la latitud, longitud y nivel de batería de los respectivos terminales acústicos de alerta ubicados en el cantón General Villamil, Playas. De acuerdo con los datos obtenidos, el software será capaz de notificar al usuario si la sirena necesitará cambio de batería, o si la sirena electrónica se encuentra en mantenimiento o en estado de operación.

En la opción Dar Alerta de Tsunami, el usuario podrá activar remotamente los dispositivos acústicos, generando alerta en la población.

En la opción Mapa Geográfico de Sirenas Electrónicas, el usuario tendrá disponible la visualización de la ubicación de los dispositivos acústicos en el cantón General Villamil, Playas por medio de la aplicación Google Maps.

2.2. Módulos satelitales

El diseño propuesto incluye dos módulos satelitales: BGAN HUGHES 9202 ubicado en la central INOCAR, y el Isatdata Pro IDP-680 ubicado en el nodo central del cantón General Villamil Playas.

El dispositivo satelital HUGHES 9202, utilizado en el enlace de respaldo (secundario) en caso de que el enlace principal falle, opera sobre el BGAN, hasta los servidores de la compañía Sky Wave que ofrece conectividad de alta velocidad y fiabilidad de rendimiento para los usuarios más exigentes en condiciones extremas.

La serie de dispositivos IDP-600 utilizan el servicio Inmarsat Isat Data Pro bidireccional, para monitorear y gestionar de manera remota los activos fijos y móviles en

los lugares donde la conectividad y accesibilidad es muy baja; entre sus terminales cuenta con el IDP-680, que está diseñado para estaciones terrenas y es usado para el presente diseño.

2.3. Sistema de comunicación inalámbrica

El diseño del sistema de red inalámbrica comprende el uso de módulos GSM/GPRS y placas Arduino ubicados en configuración Punto–Multipunto. Los módulos GSM estarán ubicados en el nodo central, Municipalidad del cantón General Villamil, Playas, y junto a cada dispositivo acústico, distribuidos en la zona evaluada.

Inicialmente, al energizar los módulos GSM, se establecerá el inicio de sesión por medio de un proceso de tres vías (three way hand shake), después del cual, el módulo GSM del nodo central, almacenará el número que identifique a cada dispositivo acústico. Este proceso se realizará una sola vez y posteriormente permitirá la transmisión de información entre nodos. El nodo central podrá solicitar datos a los terminales acústicos, y enviar parámetros con el fin de que realicen acciones determinadas por los usuarios en la central INOCAR (Ejemplo: activar una alarma). Los datos se transmiten a través de mensajes de texto (SMS).

2.4. Parlantes electrónicos

En el cantón General Villamil, Playas se ha escogido usar Sirenas Electrónicas similares a las fabricadas por la compañía Telegrafía, empresa eslovaca que se dedica a la provisión de productos y soluciones de nueva generación en el ámbito de Aviso y Alerta, por cuanto ponen a disposición de los interesados en su página web, el software denominado Acusticus Professional, que permite modelar el rango de cobertura de cada uno de los tipos de sirenas que fabrica. Este software toma en consideración para hacer sus estimaciones de cobertura, parámetros tales como: arreglo de bocinas (en O, 8 o F), ángulo azimutal de las bocinas, potencia de salida de las bocinas en vatios, el volumen del sonido en porcentaje, la inteligibilidad medida en dB, la atenuación del entorno para la distribución del sonido influenciada por la altitud de las edificaciones medida en dB/m, la atenuación del entorno para la distribución del sonido influenciada por las condiciones climatológicas, la humedad y condiciones atmosféricas medida en dB/m. Las soluciones que oferta esta empresa son diversas y están aplicados en muchas áreas; los principales productos de sirenas electrónicas son los modelos: Pavian, Pavian Car, Gibon, Bono, Screamer y Screamer Car.

La Tabla 2 muestra una comparación de las características más importantes de las sirenas electrónicas de la compañía Telegrafía, para elaborar el diseño.

BONO	100 [W]	No	Si
SCREAMER	70 [W]	No	Si
SCREAMER CAR	70 Vatios	Si	No

Tabla 2. Características Principales de las Sirenas Electrónicas

De acuerdo a los tipos de sirenas electrónicas de la marca Telegrafía anteriormente mencionados, y observando las características de cada una de ellas, se concluye que sería conveniente la utilización de sirenas electrónicas modelo Pavian, por ser capaces de crear conjuntos de potencias muy altos, que son recomendables para ambientes metropolitanos, y también por tener la capacidad de ser activadas de manera remota a través de la comunicación GPRS. Las sirenas estarán distribuidas de la siguiente manera: 3 en la ciudad General Villamil y 2 a lo largo de los 14 km de playa, en la vía Playas – Data de Villamil.

Considerando la potencia de las sirenas modelo Pavian, se estimó tentativamente, que 5 unidades serían suficientes para cubrir la zona de mayor riesgo del cantón General Villamil, Playas, lo cual será verificado en la etapa de simulación.

2.4.1. Características de la sirena electrónica Pavian

El modelo Pavian corresponde a las sirenas electrónicas de última generación de la compañía Telegrafía. Es un equipo electrónico con diseño modular usado para crear extensos sistemas integrados de alerta que requieren control y supervisión eficiente del estado de la sirena. Una de las principales características de este tipo de sirena es que la comunicación se la puede realizar a través de GPRS o mediante mensajes de texto, trabajan con amplificadores de potencia clase D con eficiencia hasta del 90%, y tiene la capacidad de comunicación automática de mensajes sobre estados de emergencia. Este tipo de sirena son recomendables en ambientes metropolitanos debido a que son posibles de crear conjuntos de potencia de 300 hasta 4500 Vatios [10]. La Figura 4 muestra la sirena electrónica Pavian de la compañía Telegrafía.



Figura 4. Sirena Electrónica Pavian [6]

3. Simulación, implementación y pruebas

Para realizar la simulación del sistema de alerta sonora en el cantón General Villamil, Playas, se han tomado en cuenta los programas de libre distribución como Arduino y el programa web Acusticus Professional de la compañía Telegrafía. El software Arduino permitirá simular la comunicación GSM de los módulos SIM900, a través de

SIRENA ELECTRÓNICA	POTENCIA	PORTABILIDAD	GPRS
PAVIAN	300 – 4500 [W]	No	Si
PAVIAN CAR	300 o 600 [W]	Si	Si
GIBON	300 – 1200 [W]	No	No

sus puertos seriales, mientras que por medio del programa web Acusticus Professional, se podrá simular las características de cada sirena electrónica, y observar la cobertura que ofrece cada una de ellas en la zona establecida.

3.1. Software aplicativo

La aplicación de escritorio permitió diseñar una interfaz gráfica amigable con el usuario. En la Figura 5a se presenta la interfaz gráfica del menú de la aplicación, que consta de un menú con cuatro opciones: Consultar Datos de Sirenas Electrónicas (ver Figura 5b), Dar Alerta de Tsunami (ver Figura 5c), Mapa Geográfico de Sirenas Electrónicas (ver Figura 5d) y Acerca del Sistema de Alerta Temprana de Tsunamis.



Fig. 5a. Interfaz gráfica del menú principal de la aplicación



Fig. 5b. Interfaz gráfica del menú Consultar Datos de Sirenas Electrónicas



Fig. 5c. Interfaz gráfica del menú Dar Alerta de Tsunami

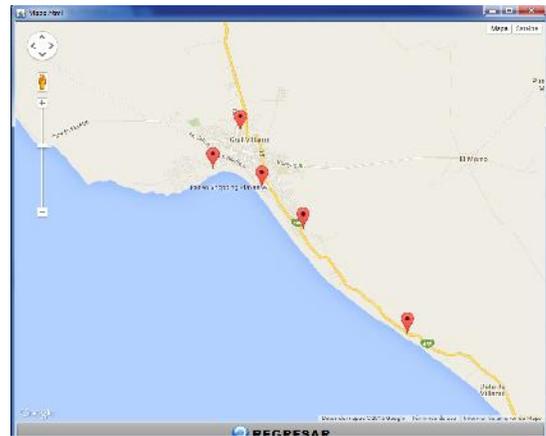


Fig. 5d. Interfaz gráfica del menú Mapa Geográfico de Sirenas Electrónicas

3.2. Comunicación GSM

En figura 6 se muestra el esquema de la comunicación GSM.

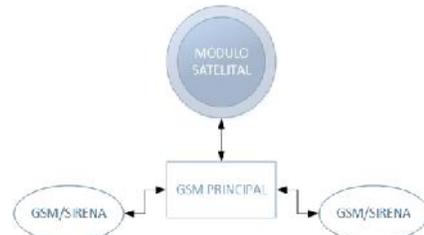


Figura 6. Esquema de comunicación GSM

Para el desarrollo de la etapa de comunicación basada en la tecnología GSM, se ha decidido crear 3 programas en el Arduino IDE, que consistirían en:

- Dos programas para el Arduino del nodo central, localizado en el municipio del cantón General Villamil, Playas, uno sería utilizado para registrar en su memoria EEPROM los números celulares correspondientes a los módulos GSM de los dispositivos acústicos, y el otro, cuando el sistema entre en funcionamiento procesando las solicitudes del IDP-680.

- El tercer programa será desarrollado para los Arduinos de los dispositivos acústicos.

La acción de registrar los números de celular que identifican a los dispositivos acústicos, requiere que cada Arduino se encuentre previamente configurado. Durante el desarrollo de los programas se creó distintas funciones, para simplificar la complejidad del código principal y hacer lo menos extenso posible. En la figura 7 se observa el resultado de la ejecución del código de uno de los módulos Arduino cuando ha establecido comunicación con el nodo central y recibe una orden de encendido.

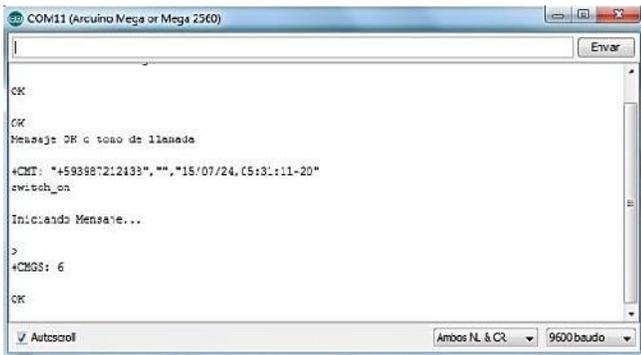


Figura7. Dispositivo acústico recibe mensaje desde el nodo central, para encender la alarma.

3.3.Sirenas Electrónicas

Las 5 sirenas electrónicas ubicadas en el cantón General Villamil, Playas, fueron simuladas en el programa Acusticus Professional de la compañía Telegrafía, con arreglos específicos de las bocinas, y en ángulos determinados con el fin de obtener la mejor distribución y propagación del sonido, demostrándose a continuación que sus ubicaciones tentativas son adecuadas.

La Tabla 3 muestra la latitud y longitud de cada una de las sirenas electrónicas.

SIRENA	LATITUD	LONGITUD
1	-2.626171	-80.392224
2	-2.637699	-80.400138
3	-2.643382	-80.386171
4	-2.656239	-80.374272
5	-2.688450	-80.344312

Tabla 3. Coordenadas de Sirenas Electrónicas

La Figura 8 muestra la ubicación sugerida de las 5 sirenas electrónicas en Google Maps.



Figura8. Ubicación sugerida de las sirenas en el cantón General Villamil Playas.

3.3.1.Sirena electrónica 1

La primera sirena electrónica tiene un radio de cobertura máximo de 0,954 kilómetros, cabe recalcar que en el sitio se midió un nivel de ruido de 60 dB, por lo que la propagación del sonido de la sirena se atenúa en algunos sectores. La sirena fue colocada a un ángulo azimuth de 170° grados, y las bocinas tienen un arreglo en “8”, para que el sonido se concentre en ambas direcciones opuestas. La Figura 9, muestra la primera sirena electrónica ubicada cerca del centro de la ciudad General Villamil, Playas.

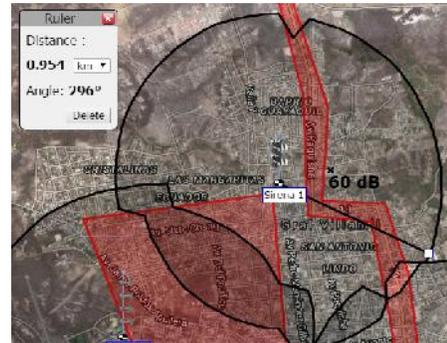


Figura 9.Ubicación de la primera Sirena Electrónica

3.3.2.Sirena electrónica 2

La segunda sirena electrónica tiene un radio de cobertura máximo de 0,887 kilómetros, cabe mencionar que en el sitio se midió un nivel de ruido de 60 dB, por lo que la propagación del sonido de la sirena se atenúa en algunos sectores. La sirena fue colocada a un ángulo azimuth de 80° grados, y las bocinas tienen un arreglo en “F” en dirección a la ciudad, para que la mayor cantidad del sonido esté presente en ese sentido. La Figura 10, muestra la segunda sirena electrónica ubicada cerca del Malecón de la ciudad General Villamil, Playas.

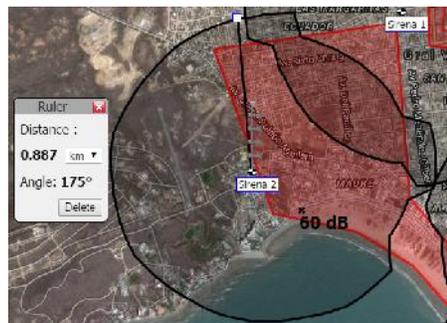


Figura10.Ubicación de la segunda Sirena Electrónica

3.3.3.Sirena electrónica 3

La tercera sirena electrónica tiene un radio de cobertura máximo de 0,935 kilómetros, es de importancia mencionar que el sitio presenta un nivel de ruido aproximado de 62 dB, por lo que la propagación del sonido de la sirena se atenúa en algunos sectores. La sirena fue colocada a un ángulo azimuth de 150° grados, y las bocinas tienen un arreglo en “8”, para que el sonido se concentre en ambas

direcciones opuestas. La Figura 11, muestra la tercera sirena electrónica ubicada en el centro comercial Paseo Shopping de la ciudad General Villamil, Playas.

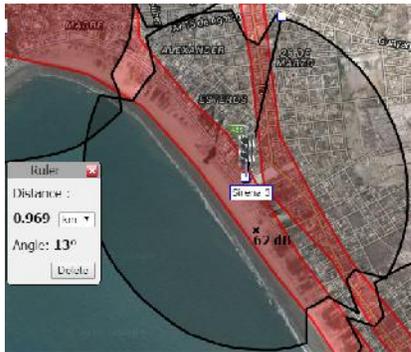


Figura 11. Ubicación de la tercera Sirena Electrónica

3.3.4. Sirena electrónica 4

La cuarta sirena electrónica tiene un radio de cobertura máximo de 0,929 kilómetros, cabe recalcar que en el sitio se midió un nivel de ruido de 60 dB, debido a la cercanía de la carretera vía Data de Villamil, por lo que la propagación del sonido de la sirena se atenúa en algunos sectores. La sirena fue colocada a un ángulo azimuth de 150° grados, y las bocinas tienen un arreglo en “8”, para que el sonido se concentre en ambas direcciones opuestas. La Figura 12, muestra la cuarta sirena electrónica ubicada cerca de la vía Playas – Data de Villamil.



Figura 12. Ubicación de la cuarta Sirena Electrónica

3.3.5. Sirena electrónica 5

La quinta sirena electrónica tiene un radio de cobertura máximo de 1,007 kilómetros, en el sitio se determinó un nivel de ruido entre 60 y 62 dB, por lo que la propagación del sonido de la sirena se atenúa más en algunos sectores que en otros. La sirena fue colocada a un ángulo azimuth de 120° grados, y las bocinas tienen un arreglo en “O”, para que el sonido se propague de manera casi omnidireccional a lo largo de la vía Playas – Data de Villamil. La Figura 13 muestra la quinta electrónica ubicada cerca de la carretera a orillas del océano.



Figura 13. Ubicación de la quinta Sirena Electrónica

4. Conclusiones

- El diseño del programa de sistema de alerta está capacitado para alertar a la población de General Villamil, Playas, por un medio sonoro, en caso de un evento tsunamigénico. Este sistema significará un ahorro importante de tiempo para alertar a la comunidad.
- Se determinó que los satélites de propiedad de la compañía Inmarsat son los que proveen el mejor servicio de comunicación satelital donde se encuentra localizado Ecuador, por lo cual, se estableció que conjuntamente con los servicios de la empresa Skywave, sería el sistema satelital más idóneo que se utilizaría para el enlace.
- El software de libre distribución Arduino cumplió con los requerimientos del sistema.
- La implementación del presente diseño contribuirá a salvaguardar la vida de la población que habita en ciudades costeras con alto riesgo de sufrir impactos de tsunamis.
- El diseño propuesto puede ser replicado en otros cantones costeros con riesgos de Tsunamis como La Libertad, Salinas, Manta, Esmeraldas.

5. Referencias bibliográficas

- [1] Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, «Riesgo por tsunamis en la costa ecuatoriana,» [En línea]. Disponible en: <http://www.ipgh.gob.ec/index.php/geofisica/publicaciones/67-riesgos-por-tsunami-en-la-costa-ecuatoriana>.
- [2] Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, «Terremoto de Esmeraldas de 1906 – Uno de los sismos más grandes de la historia reciente,» 30 Enero 2012. [En línea]. Disponible en: <http://www.igepn.edu.ec/servicios/noticias/575-terremoto-de-esmeraldas-de-1906-uno-de-los-sismos-m%C3%A1s-grandes-la-historia>.
- [3] Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos, «Mapa de Tsunami de Playas,» (Página 1, Figura 1). [En línea]. Disponible en: <http://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/04/General-Villamil-Playas.pdf>.
- [4] NOAA, «National Data Buoy Center,» [En línea]. Disponible en: <http://www.ndbc.noaa.gov/>.

- [5] Wang, Z-Y. Zheng Y-Ch. Li J-X., 2003, Early Warning Systems for the Reduction of Natural Disasters in China. China: Springer Berlin Heidelberg.
- [6] Lauterjung, 2005, Installation of a Tsunami Early Warning System in the Indian Ocean, Conference: 13th ACM International Workshop on Geographic Information Systems, ACM-GIS 2005, November 4-5, 2005, Bremen, Germany, Proceedings
- [7] Musa, A., Kuba, H., and Kamoshida, O., (2012), Earthquake and Tsunami Warning System for Natural Disaster Prevention. Japan: Springer Berlin Heidelberg
- [8] Kanamori, H., (2015), Earthquake Hazard Mitigation and Real-Time Warnings of Tsunamis and Earthquakes. Pure and Applied Geophysics, 172 (9), pp. 2335-2341
- [9] Inmarsat, «Servicios M2M» [En línea]. Disponible: <http://www.inmarsat.com/service-group/m2m/>.
- [10] Telegrafía, «Productos Pavian,» [En línea]. Disponible: http://www.telegrafia.eu/esp/Productos/sirenas_electronicas/pavian/Pages/sirena_electronica_pavian.aspx.