

# TOPOLOGIAS DE REDES EN EEWS (EARTHQUAKES EARLY WARNING SYSTEMS)

*Data de aceite: 03/07/2023*

**John Edisson Jimenez Orozco**

Fundación Universitaria San Mateo,  
Bogotá D.C., Colombia

**Jaime Andrés Lozano Portela**

Fundación Universitaria San Mateo,  
Bogotá D.C., Colombia

**Ricardo Ceballos Garzon**

Fundación Universitaria San Mateo,  
Bogotá D.C., Colombia

frecuencias y filtrado, se requiere un equipo robusto que centralice la información como un servidor pero si es viable manejar la red de las estaciones pero con un topología ad.hoc con geolocalización se tiene más eficiencia, integración con dispositivos inteligentes y precisión en la detección de terremotos.

**PALABRAS CLAVE:** Sistema de alerta temprana (SAT); sismos; espectrograma; redes ad hoc móviles; escala de Richter.

**RESUMEN—** El objetivo de este documento es el estudio de la viabilidad de redes adhoc para una alerta temprana descentralizada, con más anticipación de terremotos y poder asociar de manera más eficiente con dispositivos inteligentes. Para ello se hizo un análisis del comportamiento de las frecuencias en este fenómeno, el tratamiento de las señales recibidas por un sismógrafo y la correlación de los datos cuando se recibe de varias estaciones como ocurre con la catástrofe. Se evidencio una mejora en la comparación de señales las cuales describen un sismo en un área específica pero al tener una variedad de algoritmos tanto en la comparación, sincronización, análisis del espectro de las

**ABSTRACT-** The objective of this paper is to study the feasibility of adhoc networks for a decentralized early warning, with more anticipation of earthquakes and to be able to associate more efficiently with intelligent devices. For this purpose, an analysis of the behavior of the frequencies in this phenomenon, the treatment of the signals received by a seismograph and the correlation of the data when it is received from several stations as in the case of the catastrophe was made. An improvement was evidenced in the comparison of signals which describe an earthquake in a specific area but having a variety of algorithms in the comparison, synchronization, analysis of the spectrum of frequencies and filtering, requires a robust equipment that centralizes

the information as a server but it is feasible to manage the network of stations but with an ad-hoc topology with geolocation there is more efficiency, integration with intelligent devices and accuracy in the detection of earthquakes.

## 1 | INTRODUCCIÓN

El presente documento tiene como objetivo principal el estudio de la viabilidad de implementar redes ad hoc para la creación de un sistema de alerta temprana descentralizada, con el propósito de detectar y asociarse de manera más eficiente con dispositivos inteligentes, proporcionando una mayor anticipación ante la ocurrencia de terremotos.

En el análisis llevado a cabo se examinó el comportamiento de las frecuencias en este fenómeno natural, así como el procesamiento de las señales captadas por un sismógrafo y la correlación de los datos provenientes de múltiples estaciones, tal como ocurre en situaciones de catástrofe.

Se ha observado una mejora significativa en la comparación de señales que describen un sismo en una zona específica. Sin embargo, para lograr una mayor eficacia en términos de comparación, sincronización, análisis del espectro de frecuencias y filtrado, se requiere un equipo robusto capaz de centralizar la información, como un servidor. No obstante, también se ha demostrado que es factible manejar la red de estaciones de forma descentralizada mediante una topología ad hoc con geolocalización, lo cual ofrece ventajas en términos de eficiencia, integración con dispositivos inteligentes y precisión en la detección de terremotos.

En este documento se presentarán los resultados obtenidos durante el estudio, así como las conclusiones derivadas de ellos. Además, se discutirán las implicaciones prácticas y las posibles aplicaciones de este sistema de alerta temprana descentralizada, destacando su potencial para mejorar la seguridad y la capacidad de respuesta ante eventos sísmicos.

## 2 | PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACION

¿Cómo funciona el tratamiento de las señales de los sismos y de que manera es viable su implementación con una topología ad hoc?

El proyecto busca demostrar si la topología propuesta mejora el tiempo y la precisión de los sismos. Se enfoca con redes ad hoc ya que se integra con dispositivos con conexión inalámbrica como teléfonos móviles, computadores, entre otros de manera descentralizada y con la menor necesidad de la espera del reporte desde las estaciones sismográficas.

## 3 | OBJETIVOS (GENERAL Y ESPECIFICOS)

Evaluar la viabilidad de una red adhoc en los sistemas de alerta temprana de terremotos.

- A. Analizar el proceso de tratamiento de señales sísmicas.
- B. Identificar la manera de correlacionar las mediciones de terremotos desde varios dispositivos de telecomunicaciones y la forma de triangular la ubicación del fenómeno.
- C. Relacionar los sistemas actuales de alerta temprana basados de telefonía móvil , satelitales y radio con la posibilidad de asociarlos con dispositivos inteligentes usados por la comunidad.

## 4 | MARCO TEORICO

### 4.1 Conceptos clave

Sistema de transmisión de datos: de acuerdo a Enrique Herrera (2010) es un conjunto de técnicas empeladas para el “transporte de la información que se genera, procesos y alacena en sistemas de cómputo” [1]

Sistema de alerta temprana (SAT): su objetivo e sun pronostico temprano de una posible amenaza a una población vulnerable [2]

Transformada de Hilbert: es la convolucion con la función  $-1/(\pi \cdot t)$ , es decir una función de la forma [3]:

$$HT\{f(t)\} = f(t) * \frac{-1}{\pi t} = \frac{-1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{f(\tau)}{t - \tau} d\tau$$

Ilustración 1. Definición matemática de la transformada de Hilbert. Imagen tomada desde <http://carina.fcaglp.unlp.edu.ar/senales/teorias/Clase10.pdf>

Transformada de Fourier: es una trasformación matemática empleada en para analizar señales en función del tiempo y la frecuencia.

Transformada de Wavelets: es una trasformación matemática empleada en para analizar señales en función del tiempo y la escala.

Espectrograma: Grafica de la función correspondiente a la Transformada de Fourier de una señal.

Escalograma: Grafica de la función correspondiente a la Transformada de Fourier de una señal.

Escala de Richter : Es una escala logarítmica arbitraria la cual representa el valor e la energía liberada en un terremoto. Se desarrolló por el sismólogo estadounidense Charles Francis Richter y se calcula de acuerdo a la siguiente expresión:

$$M = \log_{10} A + 3 \log_{10} (8\Delta t) - 2.92 = \log_{10} \left( \frac{A \cdot \Delta t^3}{1.62} \right)$$

Donde:

A es la amplitud de la onda medida por el sismógrafo en milímetros

$\Delta t$  es el tiempo en segundos entre el inicio de la onda P y la onda S.

M es una magnitud arbitraria pero constante a sismos que liberan la misma cantidad de energía.

Onda Primaria (P): onda sísmica que se comprime y expande constantemente, tiene una onda longitudinal mayor a otras ondulaciones presentes en un terremoto. Alcanza velocidades de 4 a 7 Km/h.

Onda secundaria (S): onda sísmica transversal, toma velocidades de 2 a 5 km/h, aproximadamente la mitad de la onda P.

Onda superficial: son los que producen los efectos devastadores. Pueden ser de Raleigh, las cuales causan un movimiento similar a las ondas de mar y las partículas se mueven de forma elipsoidal en un plano vertical y se tiene las ondas Love

En la siguiente imagen se describe la diferencia entre el movimiento de estos tipos de onda sísmicas [5]:

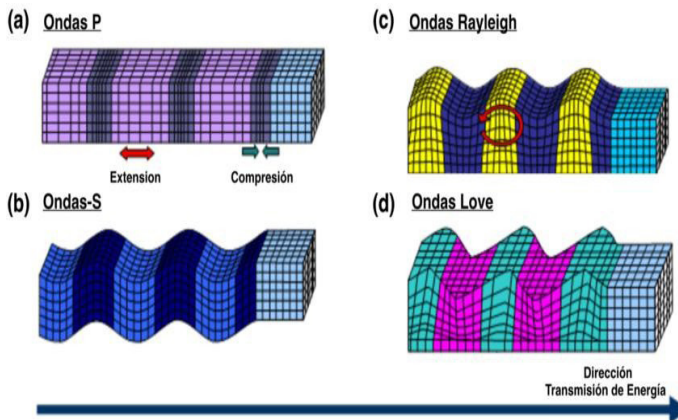


Figura 1. Tipos de ondas internas y superficiales. Tomado del texto de Miguel Saenz titulado "Correlación cruzada de ruido sísmico para la obtención de perfiles profundos de velocidad de onda de corte en la cuenca de Santiago".

Sismógrafo: instrumento utilizado para medir movimiento de la tierra. Los sismógrafos funcionan con un sistema de masa-resorte mecánico como se muestra en la siguiente figura:

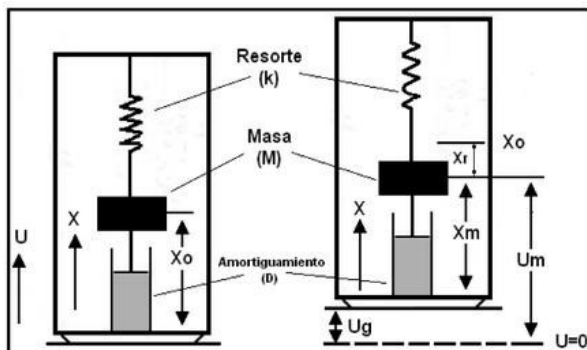


Figura 2. Sistema masa-resorte.

De acuerdo a Díez Bolívar (2016) los sensores de sismos “se dividen de acuerdo a la banda de frecuencias de registros, siendo los sismómetros de corto periodo de 1 Hz a 100 Hz, sismómetros de banda ancha de 0,001 a 50 Hz y los sensores de ultra-banda que registran 0,0005 a 10 Hz” [5], cuanto menor es la frecuencia de la onda más catastrófico puede ser el sismo porque es mayor la longitud de onda ( $\lambda=c/f$ ).

En Colombia, de acuerdo al geológico colombiano [6], estos son los sensores de sismo utilizados:

- 00 - 09: Sensor de velocidad de banda ancha ( $\Rightarrow$  120s)
- 10 - 19: Acelerómetro
- 20 - 29: Sismómetro de corto período
- 30 - 39: Sismómetro de banda intermedia (40 – 60 s)
- 40 - 49: Sismómetro de movimiento fuerte (TSM-1)

Redes Ad-hoc: Es una topología de red descentralizada, en la cual se conectan dispositivos con tarjeta de red inalámbrica tales como computadores o teléfonos móviles sin enrutadores o Access point (AP) y las conexiones son punto a punto (peer to peer).

## 4.2 Topologías en sistemas de alerta temprana de terremotos

La relación entre las topologías de red y la red de detección de terremotos se evidencia en la investigación de Mouans-Sartoux (2011):



Figura 3. Sistema de alerta temprana en el Sur de Italia. Topología del sistema de comunicación ISNet muestra la configuración de estrella de la red sísmica. Imagen obtenida de Mouans-Sartoux, F (2011) con ejemplo de triangulación.

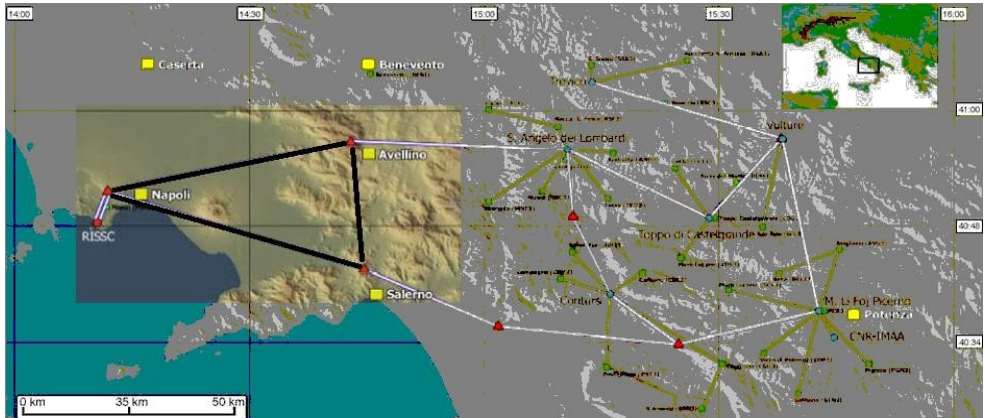
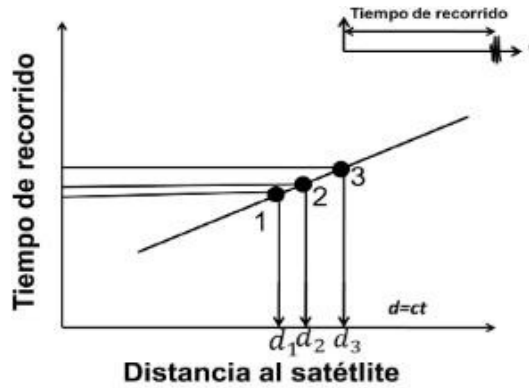


Figura 4. Triangulación del sismo en el Sur de Italia. Imagen obtenida de Mouans-Sartoux, F (2011) en su artículo "Earthquake early warning system in Southern Italy."

En las figura 3 y 4 se introduce el concepto de triangulación de señales sísmicas, siendo la primera imagen la topología y la segunda una limitación de zona donde podía hacer un sismo por la triangulación de 3 estaciones.

Esta forma de limitar las zonas donde se presentan los sismos se pueden apreciar en el trabajo de Gómez Treviños

E. (2014) en la figura 5, con tres satélites y un radar, que componen una topología en estrella con triangulaciones entre los satélites y el radar, evidenciando un tiempo de recorrido la cual deriva en tiempo de transmisión de datos entre los dispositivos en el espacio.



(a)



(b)

Figura 5. En (a) se encuentran los tiempos de recorrido calculados de unos receptores GPS y en (b) es su repercusión en el cálculo de posición de las ondas P y S. Imagen tomada de "Trilateración: Sismos, GPS, rayos y teléfonos celulares, y la XIX Olimpiada de Ciencias de la Tierra" de Gómez Treviños E.

Para el tratamiento de terremotos se considera los temas de esta red bibliométrica, entre los que se incluye, monitoreo, estabilidad, redes complejas, prevención de desastres, sistemas de alarma, machine learning, entre otros. Los más importantes (círculos más grandes) es el sistema de alerta y la topología que se estudian en este documento con base en los estudios de Mouans-Sartoux y Gómez Treviños E.



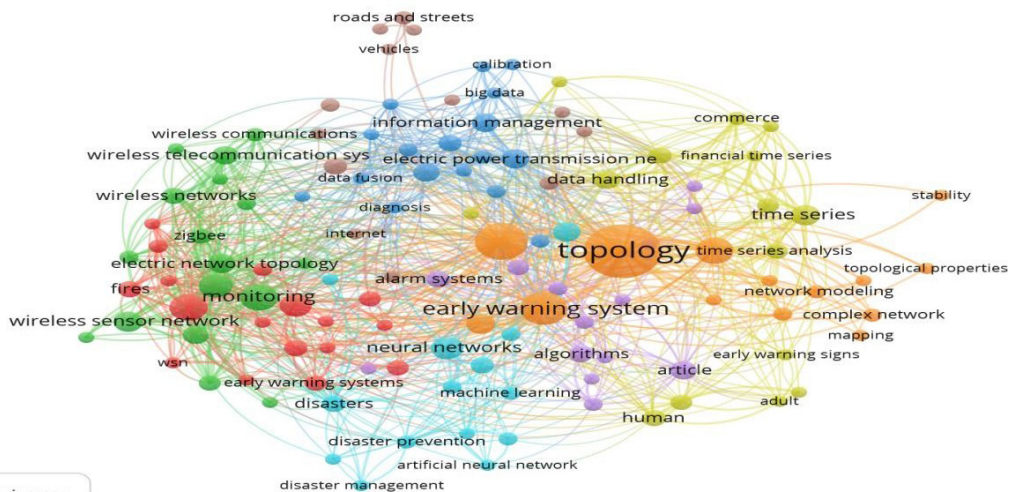


Figura 6. Redes bibliometricas de los trabajos relacionados con sismos. Tomado desde el artículo del tutor Ricardo Ceballos y Plamen Natchev (2022) "Earthquake Forecasting from the Elementary Catastrophes' Theory".

## 5 I METODOLOGIA

Se revisó documentación de proyectos acerca de alerta temprana de terremotos, de donde se desglosa temas como el medio de transmisión de datos de una estación sismográfica (Ethernet, SDH, Radio enlace, entre otros), formas de onda presentes en las catástrofes, tratamiento de señales sísmicas, tipos de sismógrafos y en especial la forma de triangular la localización del sismo al detectarse por varias estaciones en una zona específica. De igual manera se utilizó el software de programación matemática Matlab para simular el tratamiento y la correlación de señales sísmicas de diferentes lugares.

En la siguiente figura se esquematiza la metodología del proyecto:

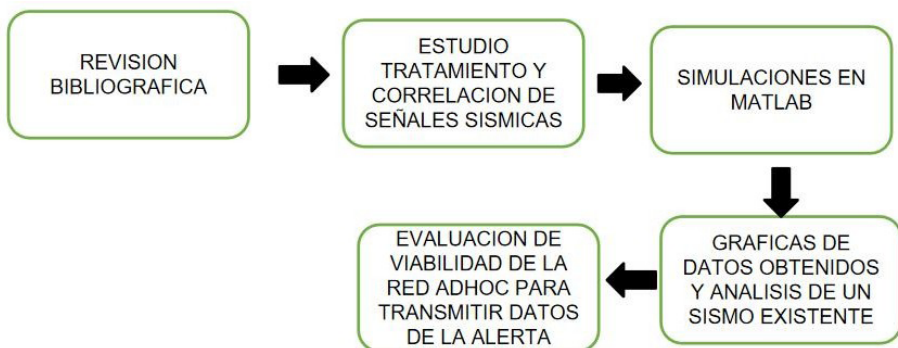


Figura 7. Esquema metodología de la investigación presente en el documento.



## 6 I EJEMPLO SISMOGRAMA DEL TERREMOTO DE COALCOMAN, MEXICO EN SEPTIEMBRE DEL 2022

Se toma como ejemplo de estudio de un sismo acontecido el Sucedido el 19 de Septiembre del 2022 en México, el cual tuvo los siguiente registros

### SISMO

**Magnitud: 7.7**

**Región epicentral: 63 km al SUR de COALCOMAN, MICH Fecha y hora: 2022-09-19 13:05:09 (tiempo del centro de México) Epicentro (latitud y longitud): 18.22°, -103.29°**

**Profundidad: 15 km**

**Hasta las 22:00 horas del 22/septiembre/2022 se han registrado 1,501 réplicas del sismo de M 7.7**

**ocurrido en Michoacán el 19/septiembre/2022, la más grande de M 6.9.**

**El gráfico en Matlab del comportamiento del sismo calculado con la escala de Richter presentada y la distancia del epicentro al sitio de la medición es la que se muestra a continuación:**

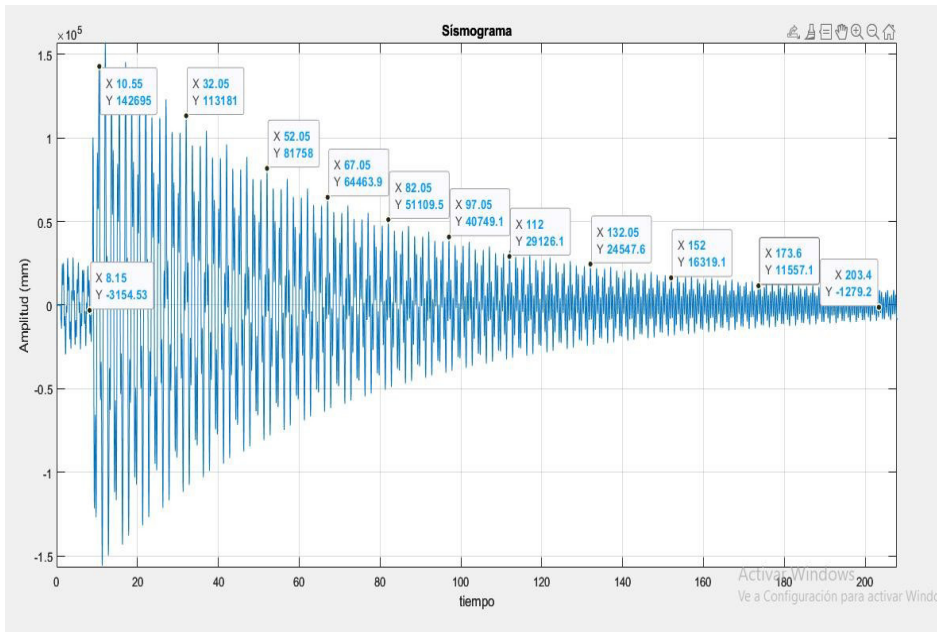


Figura 8. Diagrama en función del tiempo del sismo del 19 de Septiembre del 2022 del Sur de Coacoman, México. Fuente propia

Siendo el tiempo en segundos, la diferencia entre la onda P y S es de 8 segundos. A

partir de ahí en menos de 3 minutos (180 segundos) se efectuó toda la catástrofe.

## 7 I SISTEMA GEOLOGICO COLOMBIANO

En Colombia tanto para temas de alerta de terremotos como de vulcanología (los volcanes como el nevado del Ruiz, Moserrate, Nevado de Santa Isabel, entre otros, producen movimiento sísmicos) ,la entidad encargada de llevar un histórico de estos fenómenos es el Servicio Geologico Colombiano. El siguiente es un ejemplo de de la detección de un sismo de magnitud 3.8 de Puerto Wilches-Santander, Colombia, donde se evidencia cuantas estaciones ,fases y profundidades se manejan para el sismo:

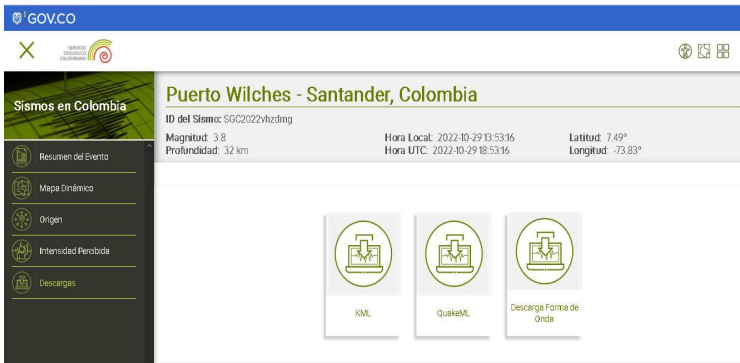


Figura 9. Estadística generales del sismo de magnitud 3.8 sobre Puerto Witches. Recuperado desde la base de datos del Servicio geologico Colombiano : <http://sismo.sgc.gov.co:8080/fdsnws/dataselect/1/builder>

Información	Datos
Magnitud	3.8
Incertidumbre	0.133
Localización	7.49°,-73.83°
Incertidumbre	0.778, 0.778 km
Profundidad	32 km
Incertidumbre	2 km
Tiempo de Origen	2022-10-29 13:53:16 Hora Local 2022-10-29 18:53:16 UTC
Número de estaciones	96
Número de Fases	101
Región	Puerto Wilches - Santander, Colombia
Estado	Manual
Ultima Actualización	2022-10-29 22:00:36 UTC

Figura 10. Estadísticas sismo el Puerto Wilches-Santander, Colombia. Recuperado desde la base de datos del Servicio geologico Colombiano : <http://sismo.sgc.gov.co:8080/fdsnws/dataselect/1/builder>

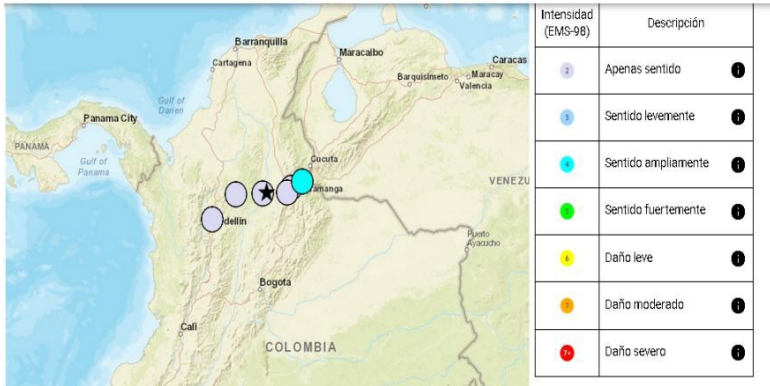


Figura 11. Mapa geológico y puntos de impacto del sismo. Recuperado desde la base de datos del Servicio geológico Colombiano : <http://sismo.sgc.gov.co:8080/fdsnws/dataselect/1/builder>

## 8 | SIMULACIÓN DEL TRATAMIENTO DE SEÑALES POR TRIANGULACIÓN DE MATLAB

Se analizó por medio de la obtención de datos un sismo individual como la de Coacomán, México. Pero para la investigación se obtienen los datos de varios sismógrafos que miden el mismo fenómeno pero en diferentes lugares. Con el siguiente algoritmo se simuló el comportamiento de tres estaciones sísmicas que midieron un sismo remoto, se hizo una correlación entre las ondas recibidas para obtener la información del lugar por una triangulación y finalmente filtrar la señal para no confundirse con otras ondas presentes en la superficie terrestre como puede ser la explotación de pozos petroleros, maquinaria de construcción.

Con estas simulaciones se obtuvo como resultado el procedimiento de tratamiento de una señal sísmica como la que se muestra a continuación:



Figura 12. Esquema de las etapas necesarias para el tratamiento de la señal de un sismo. Fuente propia.

## 9 | CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta que el objetivo principal de las Telecomunicaciones es poder entregar información (recepción y transmisión) principalmente de señales que en su mayoría son electromagnéticas, de una manera eficaz en un medio, se deben tener en cuenta todos los caminos que debe recorrer dicha información (con el menor riesgo de pérdida, en este caso de estudio particular esta información será de vital importancia para el establecimiento y buen funcionamiento de un sistema de alerta temprana.

## REFERENCIAS

- [1]. [Gil, 2010] P.Gil, J. Pomares, F.A. Candelas, "Redes y Transmisión de Datos". Publicaciones Universidad de Alicante, 2010. Transparencias asociadas al libro en Repositorio de la Universidad de Alicante (RUA)
- [2]. [Torres, 2001] F. Torres, F.A. Candelas, S.T. Puente, "Sistemas para la Transmisión de Datos". 2ª Edición. Publicaciones Universidad de Alicante, Alicante, 2001.
- [3]. [Barcia, 2005] N. Barcia, C. Fernandez, S. Frutos, G. Gómez y otros, "Redes de computadores y arquitecturas de comunicaciones. Supuestos prácticos". Prentice-Hall, Madrid, 2005.
- [4]. [Beasley, 2008] J. S. Beasley, "Networking". 2ª Edición. Pearson Education, Michigan, 2008.
- [5]. [Berná, 2002] J.A. Berná, M. Pérez, L.M. Cr3espo, "Redes de Computadores para Ingenieros en Informática". Publicaciones Universidad de Alicante, Alicante, 2002.
- [6]. [Cisco, 2008a] "Academia de Networking de Cisco Systems: Guía del primer año CCNA 1 y 2". 3ª Edición. Cisco Press, Madrid, 2008.
- [7]. [Cisco, 2008b] "Academia de Networking de Cisco Systems: Guía del segundo año CCNA 3 y 4". 3ª Edición. Cisco Press, Madrid, 2008.
- [8]. [Forouzan, 2007] B. Forouzan, "Transmisión de datos y redes de comunicaciones". 4ª Edición. McGraw Hill, Madrid, 2007.
- [9]. [Kurose, 2004] J. F. Kurose, K.W. Ross, "Redes de Computadores: Un Enfoque Descendente Basado en Internet". 2ª Edición. Pearson Education, Madrid, 2004.
- [10]. [Magaña, 2003] E. Magaña, E. Izkue, M. Prieto, J. Villadangos, "Comunicaciones y Redes de Computadores. Problemas y ejercicios resueltos". Prentice-Hall, Madrid, 2003.
- [11]. [Stallings, 2004] W. Stallings, "Comunicaciones y Redes de Computadores". 7ª Edición. Pearson Education, Madrid, 2004.
- [12] Zollo, A., Iannaccone, G., Convertito, V., Elia, L., Iervolino, I., Lancieri, M., ... Gasparini, P. Earthquake early warning system in Southern Italy. In R. Meyers (Ed.), Extreme environmental events (pp. 175-201). New York, NY: Springer.
- [13] Ceballos,R.. Netchev,P.Earthquake Forecasting from the Elementary Catastrophes' Theory". Pitchburb,Pelsilvania,2022.