 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

**“SISTEMA INALÁMBRICO DETECTOR DE VIBRACIONES SÍSMICAS, CON INTERFAZ  
GRÁFICA EN EL ENTORNO INDUSTRIAL LABVIEW.”**

**Presentado por**

Catherine María Isaza Monsalve

Julián Esteban Muñoz Saldarriaga

Lina Marcela Agudelo Mesa

**Programa Académico**

Ingeniería de Telecomunicaciones

**Director(es) del trabajo de grado**

German David Goez

**INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO**

**2018**

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## RESUMEN

---

Después de observar los fenómenos naturales y catástrofes por las cuales ha pasado la Tierra, de ver que a medida que pasa el tiempo por la falta de sistemas de gestión de riesgos se han perdido muchas vidas humanas, se ve la necesidad de buscar métodos tecnológicos que ayuden a determinar y notificar posibles catástrofes o fenómenos naturales. De esta forma con la ayuda de la tecnología se desea realizar un levantamiento de requisitos que ayuden a implementar un sistema que permita obtener alertas tempranas a posibles eventualidades de la Tierra, utilizando estándares inalámbricos como lo es el **IEEE 802.15.4** el cual maneja tasas de baja transmisión de datos y un consumo de energía reducido, todo esto integrado en una herramienta llamada Labview.

La finalidad del proyecto es presentar una simulación de un sismógrafo de bajo costo, con dispositivos portables desplegados para conformar la red de sensores, por tal motivo se consideran las distintas tecnologías inalámbricas, hasta seleccionar la más indicada para el desarrollo del trabajo, de esta forma optar por la mejor alternativa para el levantamiento de requisitos de un sistema que permita visualizar el comportamiento de las ondas y a su vez permite generar alertas y reportes tempranos a posibles fenómenos naturales.

Con el desarrollo de este proyecto se pretende integrar el estándar **IEEE 802.15.4**, con una red de dispositivos electrónicos como lo son: sensores de velocidad, transductores ideales y circuitos integrados implementados a través de un software diseñado en la interfaz gráfica de LabVIEW que permite detectar, analizar y notificar picos sísmicos que estén fuera del umbral natural de la Tierra. De esta forma generar reportes gráficos y alertas tempranas las cuales se puedan visualizar en un software que permita monitorear en tiempo real el estado de la Tierra.

**Palabras clave:** sismo, geófono, Labview, Zigbee, ondas sísmicas.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## RECONOCIMIENTOS

---

Nuestros agradecimientos inicialmente se los damos a Dios, ya que gracias a su voluntad pudimos sacar adelante este proyecto, a nuestros padres que siempre fueron el motor fundamental para que saliéramos adelante, a este grupo de trabajo, al profesor Germán Goez por guiarnos en este trabajo, finalmente agradecer a la universidad por poner a nuestra disposición las bases de datos, profesores, laboratorios y equipos, además por abrir sus puertas para el aprendizaje continuo ya que gracias e esto hoy salimos con una gran enseñanza de vida.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## ACRÓNIMOS

---

**OP- AMP** Amplificador Operacional

**VISA** Software de Instrumentos Virtuales

**ASCII** Código Estándar Americano para Intercambio de Información

**IPv6** Protocolo de Internet versión 6

**RX** Recepción

**TX** Transmisión


**mA** Unidad de medida de corriente miliamperios.

**X CTU** Interfaz gráfica de programación de dispositivos Zigbee de la Empresa Digi

**API** Modo de operación de dispositivos Zigbee

**ADC** Conversor análogo digital

**PAN** Red de área personal

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	7
1.1 Generalidades	7
1.1.2 Justificación	8
1.2 Objetivos	10
1.2.1 Objetivo General	10
1.2.2 Objetivos Específicos	10
1.3 Estructura del documento	10
2. MARCO TEÓRICO	11
2.1 Sismo	11
2.2 Foco y epicentro de un sismo	11
2.3 Tipo de ondas sísmicas	12
2.3.1 Ondas P	12
2.3.2 Ondas	13
2.4 Sensores sísmicos	15
2.4.1 Sismógrafos mecánicos	16
2.4.2 Sismógrafos Electromagnéticos	17
2.4.3 Sismómetro de banda ancha	18
2.4.4 Geófonos	19
2.5 Módulos de comunicación inalámbrica	20
2.5.1 Bluetooth	20
2.5.2 Z-wave	21
2.5.3 Wifi - 802.11	21
2.5.4 IEEE 802.15.4 –ZigBee	22
3. METODOLOGÍA	23
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25
4.1 Desarrollo objetivo 1	25
4.1.1 Análisis objetivo 1	30

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4.2 Desarrollo objetivo 2	39
4.2.1 Análisis objetivo 2	47
4.3 Desarrollo objetivo 3	48
4.3.1 Análisis objetivo 3	55
5.CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	58
6. REFERENCIAS	61
7. APÉNDICE	63

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## INTRODUCCIÓN

---

### 1.1 Generalidades

En Latinoamérica se han venido presentando una serie de catástrofes naturales que han afectado seriamente la población con consecuencias negativas para la economía, infraestructura, salud, entre otros. La gran mayoría de estas eventualidades naturales son relacionadas con los movimientos constantes de la Tierra que luego se pueden convertir en un sismo o un terremoto, por tal motivo es que las alertas tempranas para este tipo de fenómenos se han vuelto indispensables para evitar consecuencias mayores.

En este trabajo se presenta un sistema inalámbrico que permite alertar a los organismos de control sobre anomalías en un determinado terreno, aunque el sistema puede ser multipropósito para conocer el comportamiento de la Tierra, fue pensado como una alternativa a los sismógrafos.

El desarrollo de este trabajo consiste en elaborar una propuesta a través de un sistema que converge elementos de electrónica, telecomunicaciones y software todo esto para implementar una herramienta innovadora y de bajo costo que le permita a la población mantenerse informada del estado real del suelo y de esta manera estar preparados a cualquier eventualidad por la cual pueda pasar la Tierra evitando al máximo la pérdida de vidas humanas por culpa de estos fenómenos naturales.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### 1.1.2 justificación

Actualmente en el país son notables los fenómenos y catástrofes naturales generadas por distintos agentes como terremotos, deslizamientos, inundaciones, entre muchos otros. Una de las causas es que en los últimos años la población colombiana ha tenido un crecimiento exponencial en puntos urbanos concentrados en zonas de alto riesgo, lo que ha hecho que la naturaleza se pronuncie con mucha más frecuencia. (Ramírez, J. A, Buitrago, J. A, & Marin, 2014)

En Colombia con el pasar de los años se han presentado a la fecha múltiples desastres como lo fueron: “Terremoto de Popayán (Marzo 31 de 1983), Erupción del volcán Nevado del Ruiz y avalancha que destruyó a Armero (Noviembre 13 de 1985), sismos del Atrato Medio o “Terremoto de Murindó” (Octubre 17 y 18 de 1992), terremoto de Tierradentro (Junio 6 de 1994) y Terremoto del Eje Cafetero (Enero 25 de 1999). De los cuales se retribuyen grandes impactos sobre las comunidades y los ecosistemas afectados” (Cardona & Yamín, 2007)

Lo que más se debe resaltar respecto al tema es que toda esta información puede ayudar a desarrollar propuestas de prevención de desastres, y así prevenir y alertar a la población en general, por otro lado las entidades estatales han impulsado el desarrollo de políticas y campañas para la gestión de riesgos y desastres, ya que el gobierno nacional a través del decreto 4147 de 2011 creó la SIGRD entidad encargada de coordinar, impulsar y fortalecer capacidades para el conocimiento del riesgo, reducción y capacitación del mismo, manejo de desastres y la articulación con los procesos de desarrollo en los ámbitos nacional, territorial del SNPAD. (República 2011)

### Descripción del problema

La problemática actual del país radica en que los sistemas actuales para la prevención de desastres carece de innovación ya que no existen mecanismos eficientes que puedan alertar a tiempo cambios bruscos en el estado natural de la Tierra.

Por otro lado la inversión por parte del estado para todos los proyectos de prevención de desastres ha sido muy poca y para nadie es un secreto que los costos para el despliegue de sistemas actuales de prevención y monitoreo es muy alto; pero mirando desde otra perspectiva no es tanto por la falta de dinero, sino más bien por la falta de ideas innovadoras que contribuyan al desarrollo de nuevas tecnologías que permitan tener información en tiempo real del estado de la Tierra.



	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Uno de los principales problemas en la actualidad es la falta de innovación e integración con plataformas inalámbricas, lo que verdaderamente se necesita es un sistema rápido y eficaz que pueda salvar vidas, sistemas inteligentes de gestión, es por esto que se busca la manera de implementar un sistema eficiente, rápido y de bajo costo, que permita a las zonas más vulnerables y olvidadas por el estado implementar técnicas de monitoreo aprovechando las bondades de la tecnología.

Después de analizar las consecuencias de todos estos fenómenos naturales por las cuales ha pasado nuestro país y con el fin de evitar más catástrofes en nuestra población, se ve la necesidad de realizar una propuesta innovadora de bajo costo que permite integrar de una manera eficaz y rápida un sistema de control de riesgo, basada en la integración y convergencia de dispositivos electrónicos con el estándar inalámbrico **IEEE 802.15.4**, es de esta forma que nuestro producto contribuirá al mejoramiento de estos sistemas de modo que el planteamiento de este proyecto genere un impacto en la sociedad motivando a la futura generación para el desarrollo e implementación de estas nuevas tecnologías.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## Objetivos

### 1.2.1 Objetivo General

Implementar un sistema de detección y visualización de ondas sísmicas provocadas por el movimiento de la Tierra a fin de realizar alertas tempranas sobre posibles desastres naturales mediante el uso de sistemas inalámbricos.

### 1.2.2 Objetivo Específicos

1. Diseño de un sistema de detección de ondas sísmicas usando sensores de bajo costo.
2. Diseño de un sistema de comunicaciones inalámbrica asociado a protocolos de comunicación que garanticen la confiabilidad de los datos.
3. Desarrollar una interfaz de análisis y visualización de las ondas sísmicas, con el fin de crear alertas tempranas en caso de movimientos anormales de la Tierra.

### 1.3 Estructura del documento.

En el capítulo 2, se detallan las principales teorías involucradas en el desarrollo de este trabajo tales como sismología, tipos de sensores sísmicos y estándares de comunicación inalámbrica. En el capítulo 3, se detalla la metodología seleccionada para el desarrollo de este trabajo. En los capítulos 4 y 5 se exponen los principales resultados, recomendaciones, conclusiones, limitaciones y trabajos futuros que deja la finalización de este trabajo.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## MARCO TEÓRICO

---

### 2.1 Movimiento telúrico

Un sismo o movimiento telúrico corresponde a un cambio brusco que se da en la superficie de la Tierra por el movimiento repentino de las placas tectónicas, se da a través del proceso de liberación de energía, movimiento o propagación de ondas por el interior de la Tierra. Cuando estas ondas llegan a la superficie al llegar a la superficie son sentidas por las personas y también por la estructura de la Tierra, dichas ondas son conocidas como ondas sísmicas y se comportan como ondas elásticas. Las ondas sísmicas pueden ser generadas por movimientos sísmicos (naturales) o también pueden ser generadas de forma artificial (explosiones). Cabe resaltar que un sismo normalmente posee un foco y epicentro. (MINMINAS, 2017)

### 2.2 Foco y epicentro de un sismo.

El foco corresponde a la región del campo donde se inicia la liberación de energía y el epicentro es el punto exacto donde se encuentra la ruptura que genere el sismo, en ocasiones a este fenómeno se le conoce como un hipocentro.

Para encontrar y analizar la ubicación de un foco se implementan diferentes sismogramas, pero cabe resaltar que en muchos casos no es tan fácil ya que la ubicación exacta depende de muchos factores como los son: la estructura del terreno, la velocidad real de las ondas a lo largo del camino recorrido, las diferentes estaciones y las limitaciones en cuanto a precisión para determinar el punto exacto del foco y, como consecuencia, del epicentro. (Restrepo Palacio & Ospina Aguirre, 2013)

A continuación se puede ver qué ocurre cuando se lanza una piedra en una fuente de agua mansa; posterior al choque se empiezan a producir ondas, desde el origen se libera energía en todas las direcciones, a este origen es lo que se le llamó foco y desde él se

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

proyecta una línea vertical hacia la superficie y se empieza hablar de epicentro. Estas ondas liberadas son las que pueden sacudir edificios y generar los desastres como se puede observar en la Gráfica 1. (MINMINAS, 2017)



**Gráfica 1.** Descripción de un movimiento sísmico. Tomada de (MINMINAS, 2017)

## 2.3 Tipo de ondas sísmicas

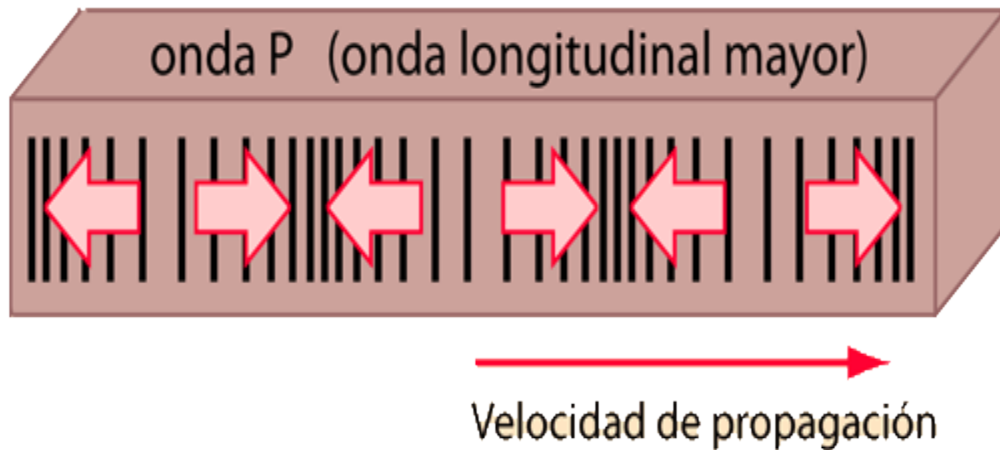
Según el departamento Geológico Colombiano, de las ondas sísmicas (Ondas Rayleigh, Onda de Love, Ondas P, Ondas S) las que representan mayor información en cuanto a datos para los dispositivos de medidas comúnmente usados son las ondas P y S. (MINMINAS, 2017).

### 2.3.1 Ondas P

Este tipo de ondas primarias son ondas de longitud, lo cual significa que el medio por el cual se desplazan es complejo ya que se encuentra comprimido, dilatado y siempre va en la dirección de la propagación. Estas ondas viajan a una velocidad mayor que la velocidad de las ondas S y pueden viajar a través de cualquier tipo de material. Velocidades típicas

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

son 330m/s en el aire, 1450m/s en el agua y cerca de 5000m/s en el granito. Como se puede observar en la Gráfica 2. (MINMINAS, 2017).



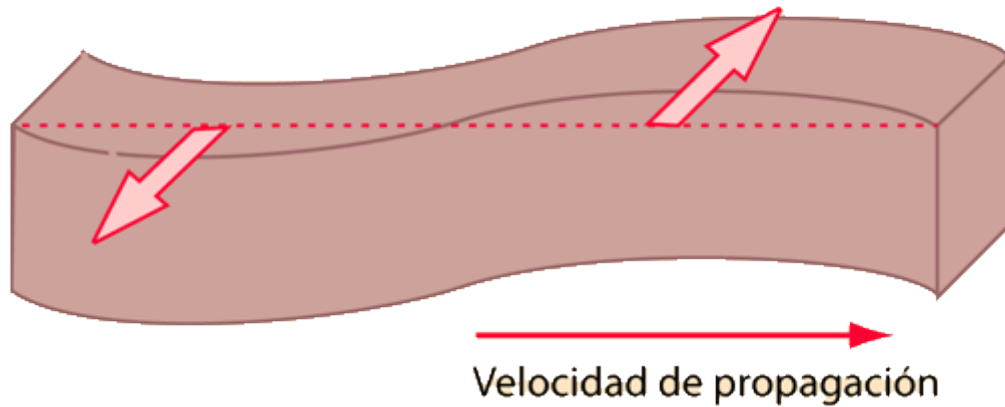
**Gráfica 2.** Onda Plana longitudinal. Tomada de (MINMINAS, 2017).

### 2.3.2 Ondas S

Este tipo de ondas secundarias tienen movimientos de arriba para abajo y de un lado hacia el otro, de ellas se dice que son transversales que se desplazan perpendicularmente a la dirección de propagación, estas ondas pueden viajar únicamente a través de sólidos, ya que los líquidos no pueden soportar esfuerzos de corte. Su mayor ventaja es que tienen una mayor amplitud que las ondas P y se sienten mucho más debido a su estructura. Su velocidad es alrededor de 58% la de una onda P para cualquier material sólido. (MINMINAS, 2017)

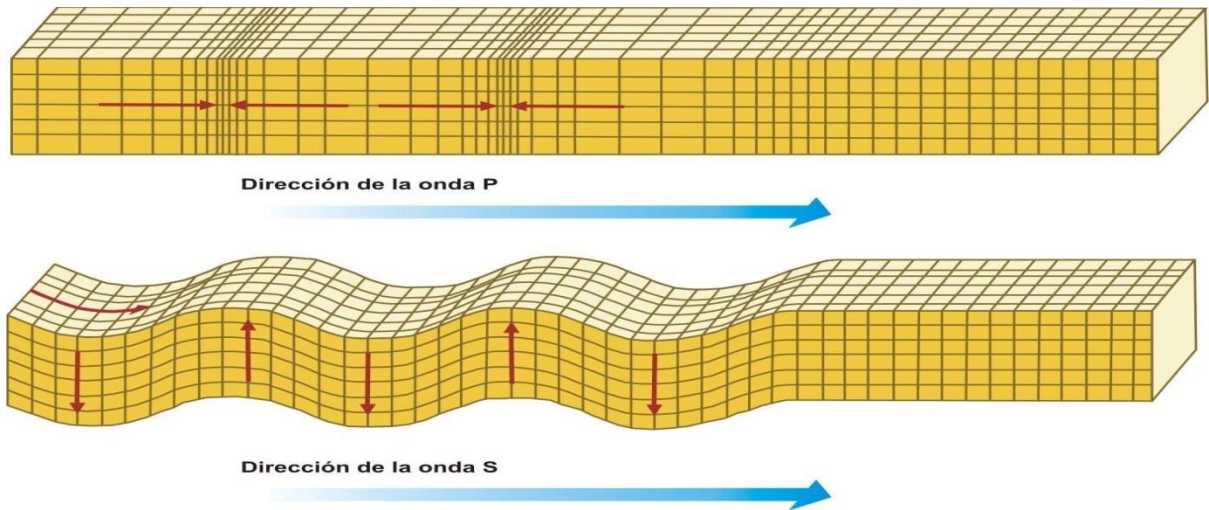
En la Gráfica 3 hallada en la referencia podemos ver la forma de una onda S.

### Onda S (onda transversal mayor)



**Gráfica 3.** Onda transversal. Tomada de (MINMINAS, 2017)

En la Gráfica 4 tomada de la referencia (MINMINAS, 2017) se comparan los dos tipos de ondas, en ella se puede concluir que la onda **P** es la primera en registrarse ya que su velocidad en el granito puede ser de unos 5000 m/s. Las ondas **P** de los terremotos llegan primero, pero debido a sus pequeñas amplitudes, no producen tanto daño como las ondas **S** o transversales que implican movimiento de Tierra perpendicular a la velocidad de propagación. Viajan sólo a través de los sólidos. Las ondas **S** viajan a menos velocidad que las ondas **p**, pero suelen ser más perjudiciales que las ondas **P**, ya que son varias veces superiores en amplitud.



**Gráfica 4.** Comparativo entre ondas P y S. Tomada de (MINMINAS, 2017)

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

De la anterior grafica se deduce que la onda S a pesar de ser más lenta para llegar es la que posee mayor amplitud y es la causante del movimiento de los materiales, lo que puede generar desde el movimiento de la Tierra hasta una posible catástrofe. (Restrepo Palacio & Ospina Aguirre, 2013).

A continuación se muestran ecuaciones de velocidad de las ondas **P** y ondas **S** las cuales se explican más adelante en el desarrollo de los objetivos.

$$v_s = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1 + \nu)}} \quad (1)$$

$$v_p = \sqrt{\frac{E(1 - \nu)}{\rho(1 + \nu)(1 - 2\nu)}} \quad (2)$$

## 2.4 Sensores sísmicos

Los sensores sísmicos son dispositivos diseñados para detectar la presencia de un sismo, su magnitud, amplitud, hipocentro, epicentro u otros relacionados con estos, se utilizan sensores o transductores especializados en estas funciones. Más adelante se muestran algunos de los sensores más usuales y de fácil acceso, detalla su aspecto, frecuencias de trabajo, u otras características técnicas asociadas a ellos.

Un sensor sísmico es un dispositivo que mide el movimiento del suelo cuando es perturbado por una fuerza anormal de la Tierra. Estos sismómetros captan el movimiento del suelo a través de una estructura de referencia que está vibrando y son tomados en cuenta a partir de una maja que se encuentre en reposo, básicamente lo que hace es convertir el movimiento en una señal eléctrica. A esto se le conoce como un (transductor de velocidad).(GEOLÓGICO, 2017)

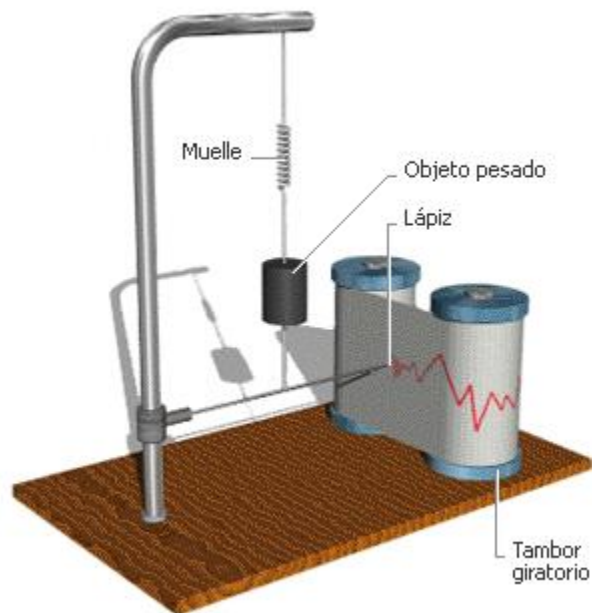
	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Los sensores más conocidos y encontrados comercialmente son los Sismómetros mecánicos, electromagnéticos y de banda ancha.

#### 2.4.1 Sismógrafos mecánicos

Este tipo de sismógrafo está constituido por un elemento detector del movimiento (sismómetro) y un sistema de palancas que amplifican dicho movimiento. El sismómetro vertical más simple está formado por una masa ( $m$ ), suspendida por un muelle de constante elástica ( $k$ ) y con una amortiguación viscosa de constante  $C$ . (GUTIERREZ & ALVAREZ, 2011)

En la gráfica 5. Se puede observar el esquema de un sismógrafo mecánico



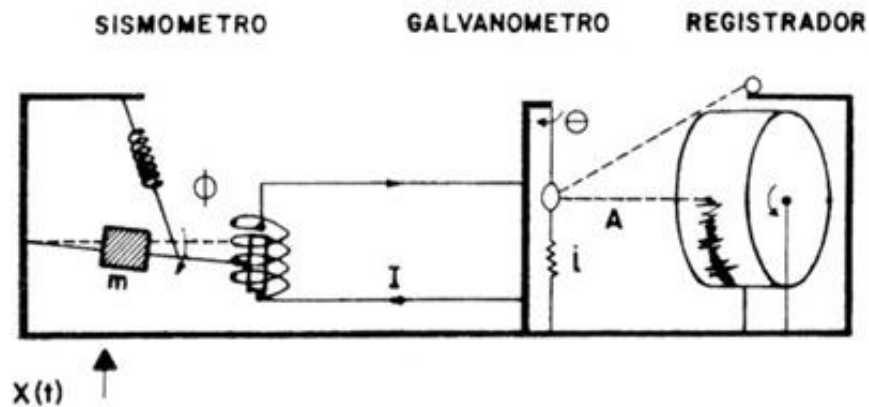
**Gráfica 5.**Sismógrafo mecánico. Tomado de(GUTIERREZ & ALVAREZ, 2011)



### 2.4.2 Sismógrafos Electromagnéticos

Es similar al anterior la única variación de este sismógrafo, es que el desplazamiento de la masa produce el movimiento el cual es llevado a una bobina generando a su vez un campo magnético. Cuenta con una parte móvil que es el imán y en otros es conocida como una bobina, cuando hay u movimiento brusco en el suelo dicho movimiento pasa por un galvanómetro y produce una cierta deflexión del espejo. Ahora, si se ha hecho incidir un haz de luz sobre el espejo unido al hilo del galvanómetro, este sufrirá una desviación que recogida en un papel fotográfico proporciona el movimiento del sismómetro. (GUTIERREZ & ALVAREZ, 2011)

En la gráfica 6. Se puede observar el esquema de un sismógrafo electromagnético

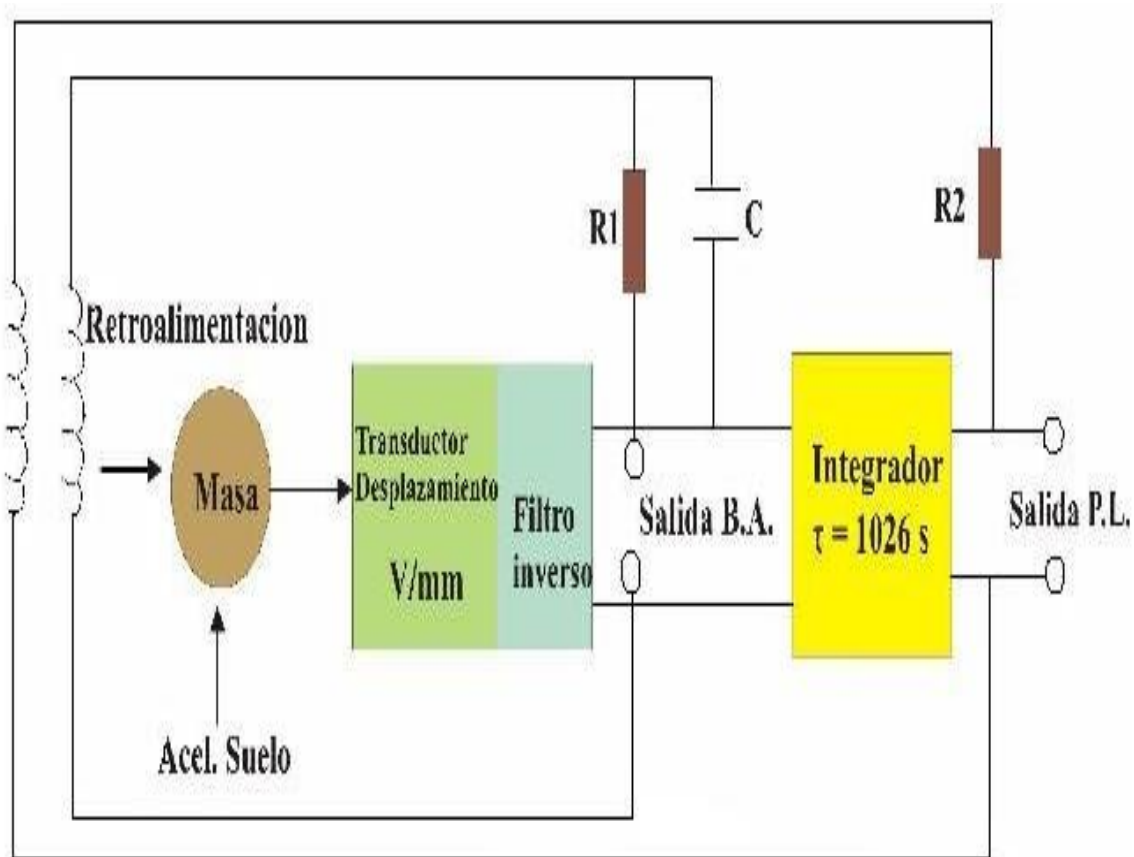


**Gráfica6.** Sismógrafo electromagnético. Tomado de (GUTIERREZ & ALVAREZ, 2011)

### 2.4.3 Sismómetro de banda ancha

Este tipo de sismómetro puede registrar información sísmica en dos diferentes rangos de frecuencia, periodos cortos (1 segundo) y periodos largos (15 - 100 segundos). Uno para campo cercano y los segundos para el campo lejano. (GUTIERREZ & ALVAREZ, 2011)

En la gráfica 7. Se puede observar el esquema de un sismógrafo mecánico

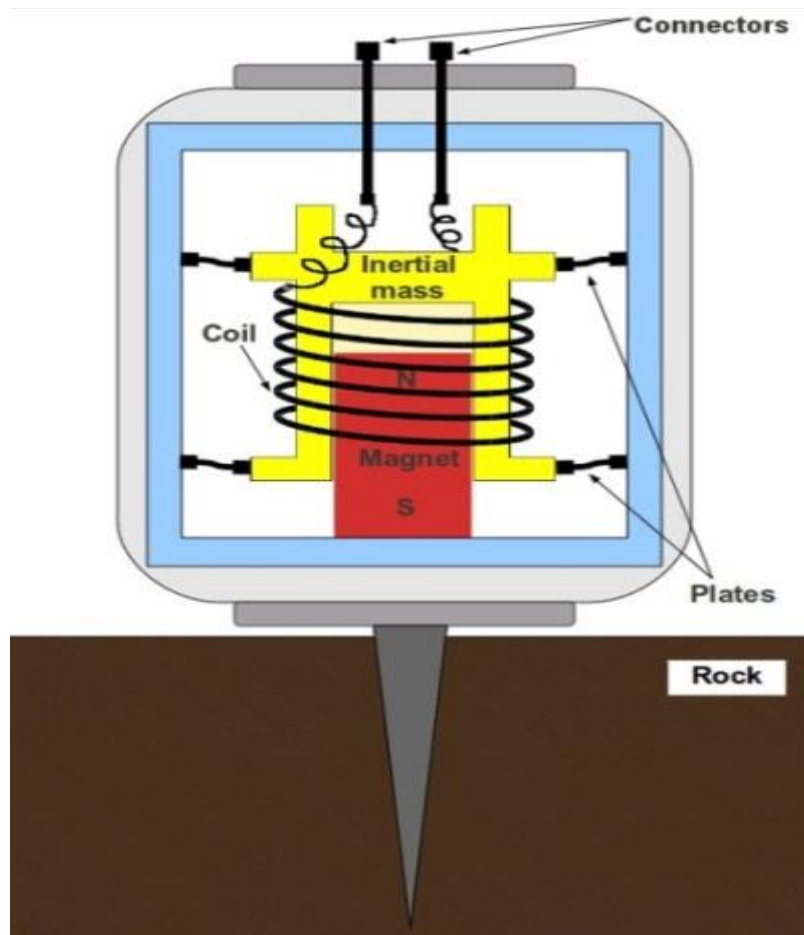


**Gráfica7.** Sismómetro de banda ancha. Tomado de (GUTIERREZ & ALVAREZ, 2011)


#### 2.4.4 Geófonos

Los geófonos son dispositivos que convierten las vibraciones en señales eléctricas mediante una bobina que se desplaza respecto a un imán, produciendo una tensión eléctrica en el extremo de la bobina (ley de Faraday).(PANTELEIMON, 2013)

En la Gráfica 8. Se puede observar un esquema ilustrativo de un geófono.



**Gráfica 8.** Estructura de un geófono. Tomado de (PANTELEIMON, 2013)

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 2.5 Módulos de comunicación inalámbrica

Los módulos de comunicación inalámbrica funcionan a través de la emisión y recepción de paquetes la cual se hace a través del espacio libre, utilizando modulación de ondas electromagnéticas. Esta tecnología es muy importante ya que hoy por hoy es prácticamente una obligación que todos los procesos en donde se establecen comunicaciones tengan una posibilidad inalámbrica. Su implementación ha crecido exponencialmente y se debe a todas las virtudes que esta tiene: La facilidad de la instalación, la disminución de costos asociados a instalaciones cableadas y una de las razones más importantes, la portabilidad.


A medida que se fue propagando esta tecnología, consigo vino un término que se ha convertido en uno de los mercados más grandes cuando se habla de comunicaciones inalámbricas, las siglas IoT (Internet of the things) que significan el internet de las cosas, que lo que busca es dotar de internet todas las cosas que utiliza la humanidad. Es aquí donde los módulos de comunicación inalámbrica aparecen para suplir las necesidades del mercado. (Prieto Blázquez, 2012)

A continuación, se muestran algunos estándares y protocolos que han permitido diseñar nuevos módulos inalámbricos:

### 2.5.1 Bluetooth

Esta el estándar IEEE 802.15.1 o Bluetooth el cual trabaja a una frecuencia de 2,4 GHz con 79 canales de 1 MHz entre 2402 y 2480 MHz. La cercanía a otras redes como las Wifi y otros que están cerca de esta banda pueden causar mucha interferencia y hacer que los canales sean inviables para la transmisión de datos.

El alcance del Bluetooth es de 10 metros fuera de línea de vista a 1mW de potencia, este alcance puede cambiar si la potencia de transmisión aumenta a 100mW, aunque desde el punto de vista HAN (Redes de área residencial) aumentar la potencia no es una buena práctica porque es rodear al ser humano de más redes electromagnéticas. La velocidad o

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

tasa de transmisión es de 1 Mbps con modulación GFSK (Gaussian Frequency Shift Key), las versiones mejoradas del estándar han permitido llegar a velocidades más altas. Se puede decir que Bluetooth es la tecnología ideal para compartir archivos multimedia por su alta tasa de transmisión. (Prieto Blázquez, 2012)


### **2.5 .2 Z-wave**

Z-Wave es un protocolo de comunicaciones inalámbricas que no pertenece a ningún estándar oficial, fue realizado con el propósito de suplir las necesidades en las redes de área residencial (HAN), existe una alianza llamada Z-Wave Alliance que la conforman muchas empresas que están inmersas en el mercado doméstico, hoy esta tecnología cuenta con más de 1500 productos a probados para el hogar y es una de las más usadas en las redes de sensores. Z wave opera en el rango de los 900Mhz, banda que fue liberada recientemente en Colombia, puede alcanzar coberturas de más de 50 metros además trabaja en topología malla lo que la hace que la cobertura se pueda incrementar, admite en torno a los 232 dispositivos, en la que puede haber uno o varios coordinadores y donde la tasa de transmisión alcanza los 50Kbps. Cada nodo permite direccionar información hacia otro lo que hace que el radio de cobertura crezca en relación con el de una sola unidad, lo que significa la existencia de ciertos nodos, llamados repetidores, no puedan dormir. (Prieto Blázquez, 2012)

### **2.5 .3 Wifi – 802.11**

Esta tecnología se basa en el estándar IEEE 802.11, las siguientes son algunas variaciones que ha tenido:

- 802.11b: trabaja a 2,4 GHz, tiene un alcance de aproximadamente 100 metros con una tasa de transferencia de 11 Mbps. Su principal ventaja es el bajo coste de los dispositivos que lo implementan.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- 802.11a: trabaja a una frecuencia de 5 GHz y su tasa de transferencia puede alcanzar los 54 Mbps.
- 802.11g: trabaja a 2,4 GHz, compatible con 802.11b, puede alcanzar velocidades de hasta 54 Mbps en un rango de alcance de unos 100 metros. Su costo y consumo de potencia son mayores.
- 802.11n: incrementa significativamente la velocidad de transmisión hasta un máximo de 600Mbps.
- Existen dos tipos de elementos de red: AP (Access Point) y las estaciones. El primero está conectado a una red Ethernet y, el segundo se trata de estaciones inalámbricas, en general ordenadores personales, teléfonos móviles, entre otros, equipados con un interfaz de red inalámbrico (Prieto Blázquez, 2012)

#### **2.5 .4 IEEE 802.15.4 ZigBee**

Zigbee es un conjunto de protocolos de comunicaciones inalámbricas basado en el estándar IEEE 802.15.4 creado por Zigbee Alliance y cuya función es solucionar los problemas de las aplicaciones que tienen limitaciones en el consumo de batería, siendo de mucha utilidad y bajos costos para sistemas que requieren poca tasa de transferencia.

Esta tecnología está enmarcada dentro de un subgrupo de las redes de área personal, las LR-WPAN (LowRate WPAN, baja velocidad de transmisión), y está orientada a la implementación de redes de sensores inalámbricos y actuadores.

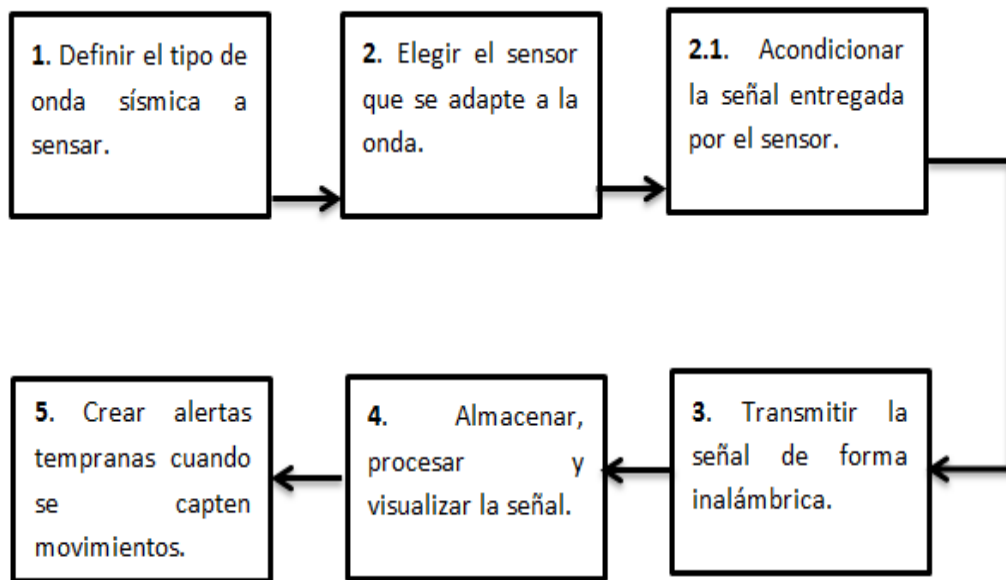
Dentro de las características más importantes se puede destacar que alcanza tasas de transmisión de hasta 250 Kbps, en un rango de cobertura de entre 10 y 100 metros y que opera en las bandas ISM a las frecuencias de 2.4 GHz, 868 MHz (Europa) y, 915 MHz (Estados Unidos). (Dignani J. P., 2014)

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22


## METODOLOGÍA

---

En este capítulo se describe el proceso metodológico que permite desarrollar los objetivos, primero se empieza analizando el tipo de onda, esto con el fin de identificar cuál de ellas generan alerta y cuál es su amplitud para ser graficada. Se busca el sensor ideal para la captura de la misma y de esta forma acondicionar la señal de forma que pueda ser transmitida inalámbricamente. Internamente el software implementado almacenara los datos y luego los procesara para que la señal sea visualizada en escalas que dependan de la fuerza del movimiento. Se busca acondicionar el programa para que una vez que la onda arroje un valor con amplitud mayor o igual a 0.9 voltios genere una alerta. Valor determinado por las especificaciones técnicas del geófono de baja frecuencia La metodología empleada en el trabajo se expone a continuación en la gráfica 9.



**Grafica 9.** Metodología empleada. Referencia propia del autor.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1. Se consultaron las características principales de las ondas primarias y secundarias, luego se eligen las ondas con bajas velocidades y se realiza un estudio con trabajos relacionados en donde se implementaban este tipo de ondas para optimizar la visualización y el comportamiento cuando se presentan movimientos anormales en la Tierra.
  
2. Una vez se determinó el tipo de onda se elige el sensor adecuado para este tipo de casos, en los cuales se cuenta con ondas de baja frecuencia y óptimo acondicionamiento.
  
3. Luego de tener la señal acondicionada se elige transmitir los datos de manera inalámbrica, debido a la amplia variedad de nuevas tecnologías que nos permiten integrar diferentes dispositivos que optimizan la transmisión de datos, adicionalmente se compararon las diferentes tecnologías inalámbricas disponibles en el mercado y se decantó por la que mejor se adapta a este proyecto. Finalmente, se realizó un hardware electrónico que permitiera acondicionar y transmitir la señal a un central.
  
4. Luego de recibir la señal vía inalámbrica en un dispositivo de mayor capacidad de cómputo y almacenamiento que el hardware electrónico diseñado, se procedió a realizar un software de procesamiento y visualización de la señal, el cual permitiera alertar a través de una notificación cuando exista un movimiento anormal de la Tierra.
  
5. Una vez sea detectado un movimiento anormal en más de 2 sismógrafos alrededor del epicentro, la alerta temprana se activara, primero se detectan las ondas P (primarias) y segundos después las ondas S (secundarias). Debido a que en esta propuesta se integrara una tecnología inalámbrica se recibirá primero la información de las ondas P dicha información será retransmitida como una alerta informativa mucho más rápido a los entes de control, ganando así varios segundos antes de la llegada de las ondas S quienes son las causantes de muchos desastres. Cuando se habla de una alerta temprana de información, todo depende de las condiciones en las que una advertencia puede ser emitida y recibida. Después de recibir una advertencia, una persona puede tener unos pocos segundos para tomar medidas de prevención.



	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

La alerta temprana está configurada para permitir a las personas mitigar los daños de un terremoto, las personas pueden protegerse a sí mismos en la casa, en la oficina o en el lugar en donde se encuentren.

Para estos casos existen dos tipos de alertas tempranas una es para usuarios avanzados (agencia meteorológica) y otro para el público en general (televisión, radio, mensajes de texto, alertas en el computador etc.) según la escala de **Richter** Un sismo que mida de 3 a 5 grados se considera leve; de 5 a 7 es moderado a fuerte; de 7 a 8 muy fuerte y al superar los 8 grados se considera catastrófico.(MINMINAS, 2017)

Para la simulación implementada y por especificaciones técnicas del geófono se realizó una escala de 0 hasta 1,4 VOLTIOS (V) en la cual de 0 a 0,8 (V) corresponden a movimientos normales de la TIERRA, entre 0,8 y 0,9 (V) movimientos moderados fuertes, entre 0,9 y 1,0 (V) movimientos muy fuertes y entre 1,0 y 1,2 (V) movimientos catastróficos.

Para determinar el tiempo en el cual el programa genera una alerta de tipo sísmico se realizan varias simulaciones, encontrando que después de agitar el geófono de forma brusca inmediatamente se genera una notificación de alerta enviada a las diferentes entidades de control, pero dicha onda S solo llega al lugar de destino en un tiempo aproximado de 10 Segundos.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

---

### 4.1 Desarrollo objetivo 1

**Diseño de un sistema de detección de ondas sísmicas usando sensores de bajo costo.**

Además de la información sobre las características de las ondas P y S expuestas en el marco teórico, también se demuestra matemáticamente la diferencia entre la velocidad de las ondas. En (UPC, 2017) se calcula la velocidad de la siguiente manera:

Las ecuaciones que describen la velocidad de propagación de las ondas S y P están en función de las constantes elásticas de los medios en que se propagan:

$$v_L = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}} \quad (3)$$

$$v_T = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\nu)}} \quad (4)$$

Siendo:  $E$  el módulo de Young (la variable más importante en el control de las velocidades sísmicas)  $\nu$  el coeficiente de Poisson  $\rho$  la densidad,  $v_L$  y  $v_T$  las velocidades de las ondas longitudinal y transversal, respectivamente.

$$\frac{v_L}{v_T} = \sqrt{\frac{1-\nu}{0,5-\nu}} \quad (5)$$

Un valor típico de  $\nu$  es 0,25 lo que da lugar a que las ondas longitudinales se propagan a una velocidad casi el doble que las ondas transversales.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

A continuación se realiza una breve tabla que caracteriza los diferentes tipos de sensores, sensibilidad, frecuencias, costos y tipos de calibración, para determinar el tipo de sensor ideal que permita llevar a cabo el desarrollo de esta propuesta.

**Tabla 1.** Características de sensores. Referencia propia del autor

<b>NOMBRE DEL SENSOR</b>	<b>TIPO</b>	<b>SENSIBLE A:</b>	<b>FRECUENCIA</b>	<b>ACONDICIONAMIENTO DE BAJO COSTO</b>
<b>Electromagnético</b>	Electromagnético	Velocidad	1 a 100 Hz	Sí
<b>Banda ancha</b>	Banda ancha	Desplazamiento	0.1 -100 Hz	No
<b>Mecánico</b>	Mecánico	Desplazamiento	-	Sí
<b>Geófono</b>	Electromagnético	Velocidad	10 – 240 Hz	Si

Después de observar la Tabla 1, se opta por escoger el geófono como transductor de señales, ya que a diferencia de los sensores de banda ancha y el mecánico que son sensibles a los desplazamientos y no facilitan el acondicionamiento, el geófono es especializado en señales de vibración de baja frecuencia, tales como señales sísmicas (10 a 240 Hz) o movimientos de Tierra generados por desastres naturales. Este tipo de sensores producen una señal eléctrica de voltaje (función de transferencia: 28V /m/s) y son de fácil acondicionamiento para implementar en zonas de alto riesgo, su mayor ventaja es que su implementación es eficaz y de bajos costos.



**Gráfica 10.** Geófono SM24. Tomada de (Dignani J. P., 2014)

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

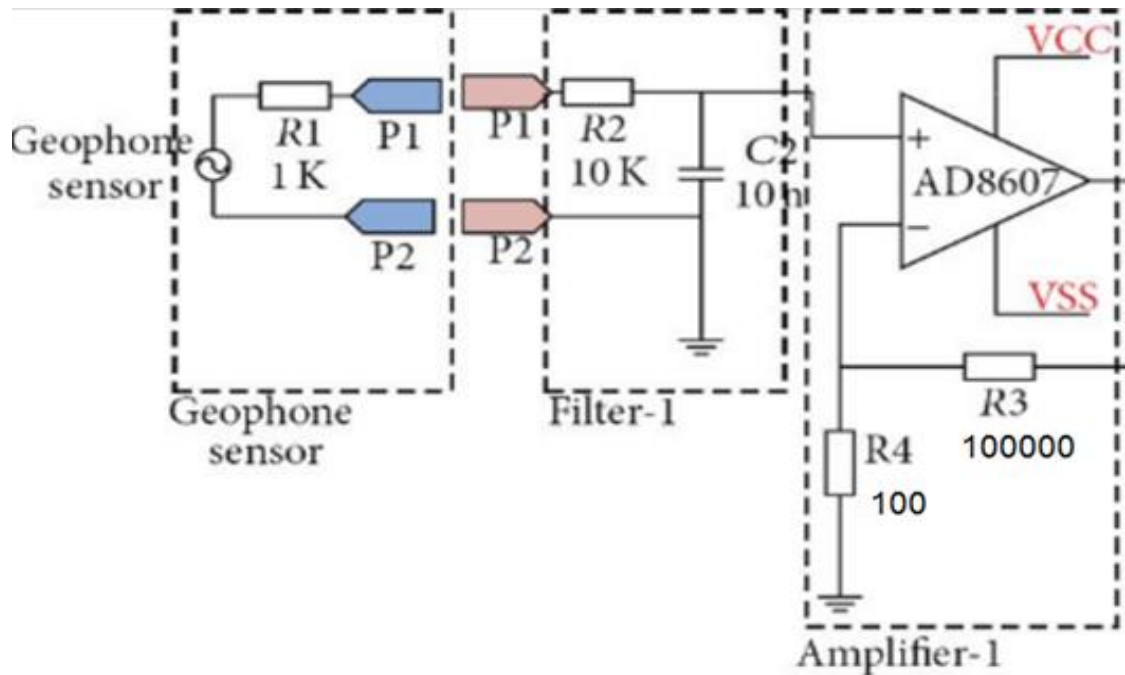
### Acondicionamiento de la señal.

Al medir el voltaje de salida del geófono con un multímetro cuando este es simulado por un movimiento anormal, se evidencia que la señal de salida es del orden de mV, se debe a que la agitación o el movimiento que se simula para probar el funcionamiento del geófono genera una velocidad pequeña y no alcanza a generar un diferencial de voltaje medible. Para dar solución a la problemática se prueban distintas configuraciones de amplificadores operacionales (OP-AMP) que dan un voltaje de 1 voltio para el movimiento o agitación mayor. Al realizar la amplificación se desea llegar un nivel de voltaje que permita observar mucho mejor el cambio en la señal, se realizan pruebas cambiando la resistencia R4, hasta que se encontró que la resistencia de 100k alcanza un nivel de voltaje que es ideal para realizar el análisis de la señal, la amplificación que se realizó corresponde a un valor de 1000 veces y para evitar señales no deseadas (interferencia, ruido o pérdida de información) se realizó un filtro. Para esto se recurre a la hoja de datos del fabricante del geófono y se consiguió un montaje (Imagen 11) propuesto que funcionó de manera correcta, solamente se calcularon los datos del amplificador y se usó en vez de la referencia AD8607, el LM324 que tiene más facilidad de obtenerse en el mercado y que posee características muy similares. La ganancia del amplificador que se encuentra configurado como elevador se calculó de la siguiente manera:

**Tabla 2.** Pruebas ganancia de amplificador.

R4	R3	Ganancia	Voltaje máx. Físico - enviado
100	100	2	2,3Mv
1000	100	11	13,18mv
10000	100	101	121,8mv
100000	100	1001	1,2V

$$\begin{aligned}
 G &= 1 + \frac{R_4}{R_3} = 1 + \frac{100,000}{100} \\
 &= 1 + 1000 = 1001
 \end{aligned}
 \tag{6}$$



**Grafica 11.** Montaje realizado. Tomado de (Dignani J. P., 2014)

La señal que sale del anterior circuito es la que se desea transmitir vía comunicación inalámbrica.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

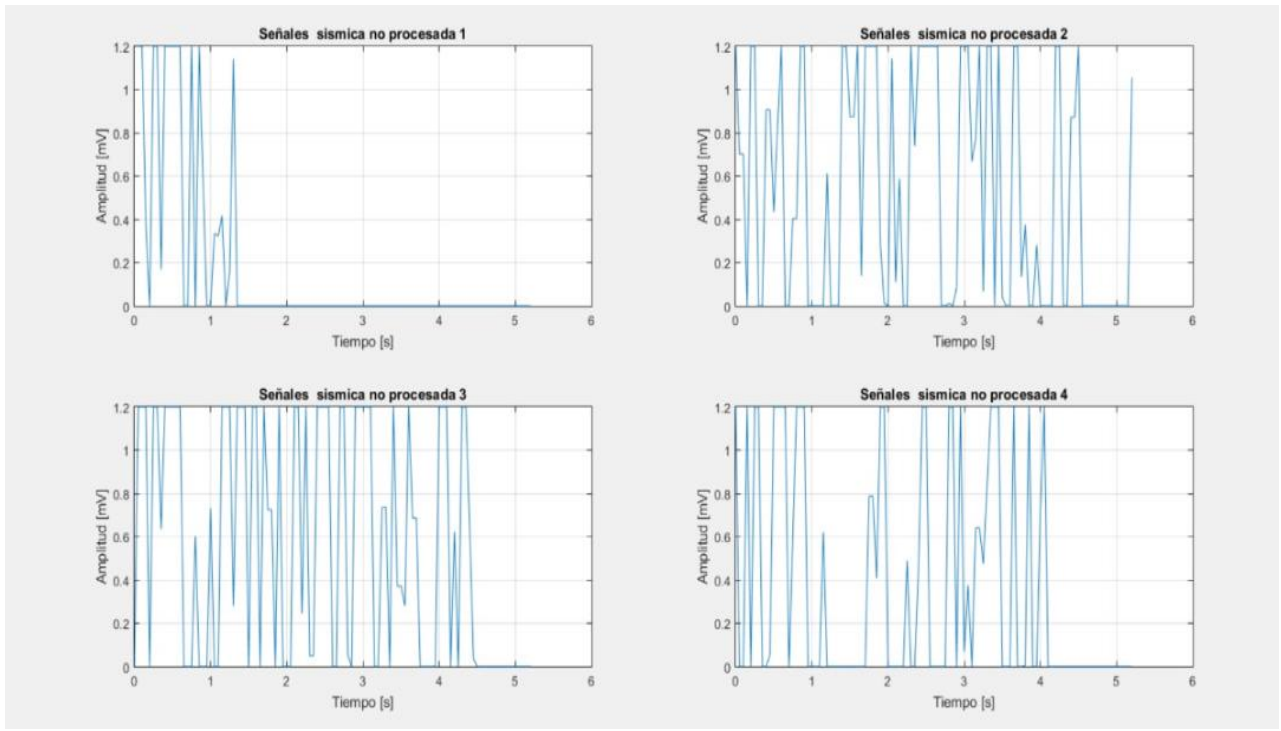
#### 4.1.1 Análisis objetivo 1

Las ondas S tienen mayor amplitud que las ondas P, debido a que las ondas P llegan mucho más rápido que las ondas S, ya que pueden viajar a través de medios sólidos y fluidos pero con baja intensidad, dado el caso que en muchas ocasiones no se pueden percibir, a diferencia de las ondas S que viajan solo a través de medios sólidos pero con gran intensidad hasta el punto de ser las culpables de daños y catástrofes a la Tierra.

Analizando su comportamiento y utilizando datos y diferentes muestras arrojados por el programa implementado en LabView de la captura de las diferentes ondas entregadas, se implementaron en la herramienta matemática de Matlab para un respectivo análisis, encontrando que las ondas se diferenciaban por su amplitud. Para el programa implementado se determinó que las ondas que no superan la amplitud de 0.9 están caracterizadas por ondas P, mientras que las ondas que superan el 0.9 en amplitud y que pueden llegar hasta 1.2 están caracterizadas como ondas S que serán las ondas de nuestro interés.

Para la simulación, análisis y visualización de las ondas en el programa se procede a colocar el geófono en un lugar plano, el cual deberá estar conectado al circuito, de igual forma el circuito estará conectado de forma inalámbrica al software a través de los dispositivos de módulos de comunicación para la generación de las ondas se deberán dar golpes alrededor del geófono, entre más fuerte sea el golpe o movimiento realizado alrededor del dispositivo, los picos en las ondas entregadas serán más altos, debido a que el geófono implementado en la simulación es de baja frecuencia se utiliza un conversor análogo digital el cual amplifica la señal en 1000 veces para poderla graficar. En las siguientes graficas podemos visualizar por medio de Matlab que cuando la señal tiene una amplitud mayor a 0.9 estará representada por una onda S y generará una alerta la cual será visualizada en el software de LabView si su amplitud es menor a este valor será representada por una onda P la cual no generara ninguna alerta, solo notificara que hubo un movimiento anormal en la Tierra. La onda S a pesar de ser más lenta para llegar posee mayor amplitud y es la encargada de ocasionar los daños materiales en un sismo.

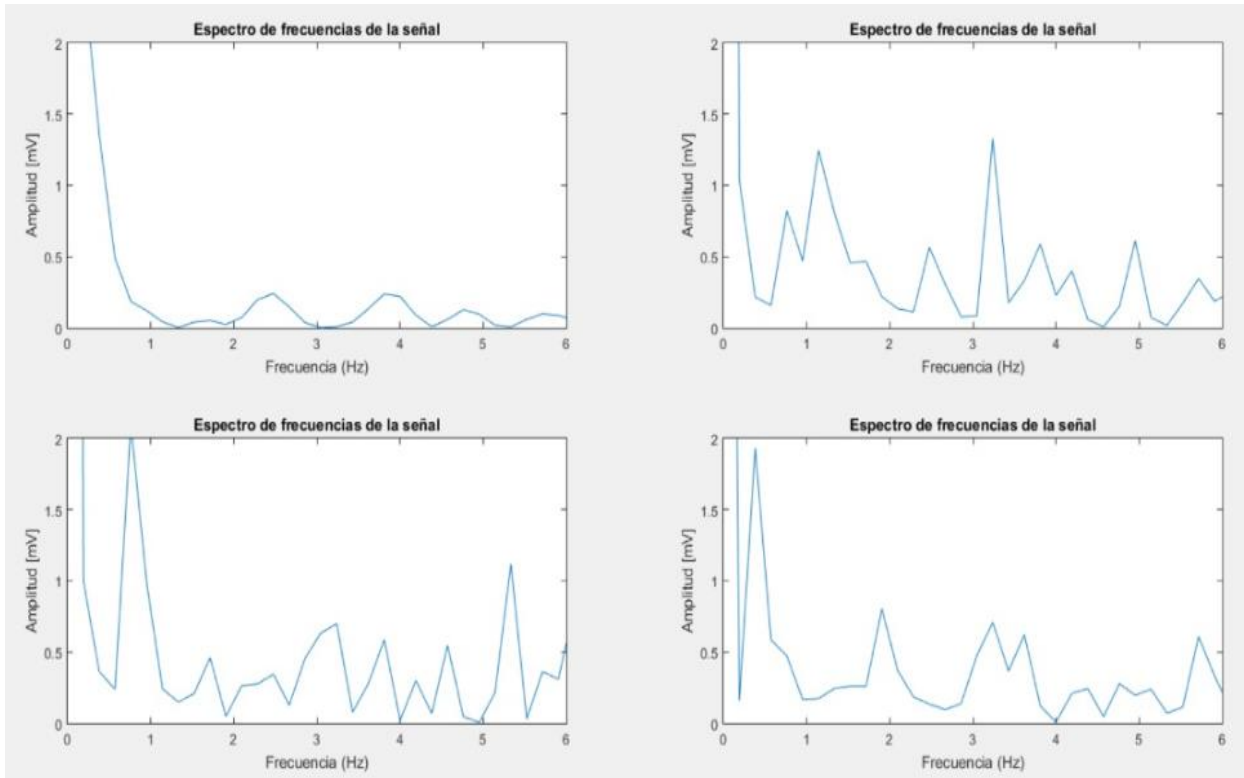
En la gráfica 12, se observa muestras de señales no procesadas:



**Gráfica 12.** Muestras de la señales sin procesar. Referencia propia del autor

1. Inicialmente en la gráfica 12 tenemos las muestras no procesadas, las cuales nos indican que hay una combinación de señales tipo s y p debido a que las muestras proceden de un simulador el cual fue movido de manera manual por lo tanto no corresponden totalmente a lo que se manifestaría realmente, cabe resaltar que los sismos por lo general se comportan oscilando de manera más armónica ya que las fuerzas proceden de señales ondulatorias no desordenadas.

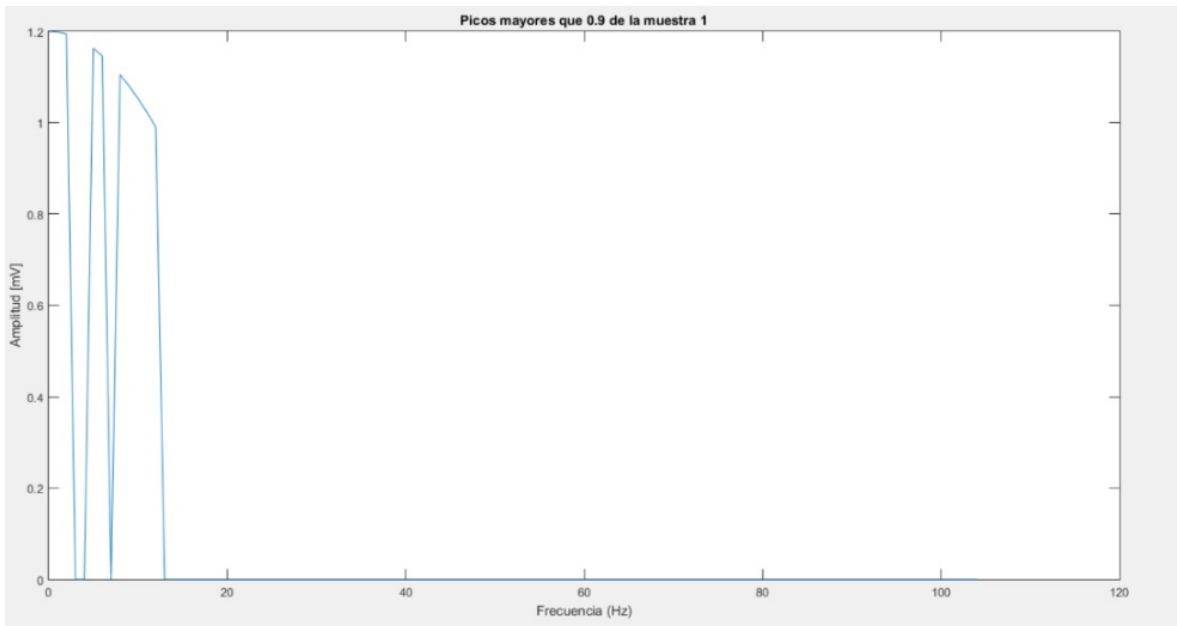
En la gráfica 13, observamos el espectro de la señal en cada muestra:



**Gráfica13.** Muestras espectro de frecuencias de las señales. Referencia propia del autor

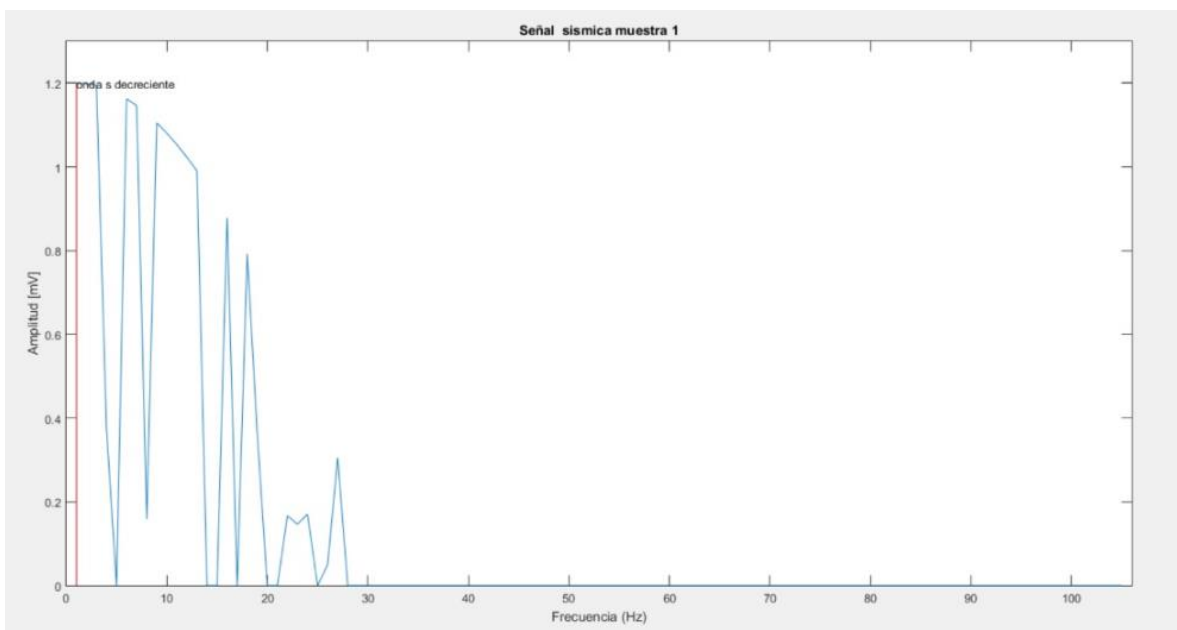
3. La gráfica 13 tenemos el espectro de frecuencias el cual ha sido obtenido aplicando la transformada de Fourier a las señales cambiando el dominio de tiempo a frecuencia. Sirve para saber que componentes de frecuencia se encuentran presentes. Y para aplicar filtros según las frecuencias que deseamos que permanezcan.





**Gráfica14.** Picos mayores a 0.9 de la muestra 1. Referencia propia del autor

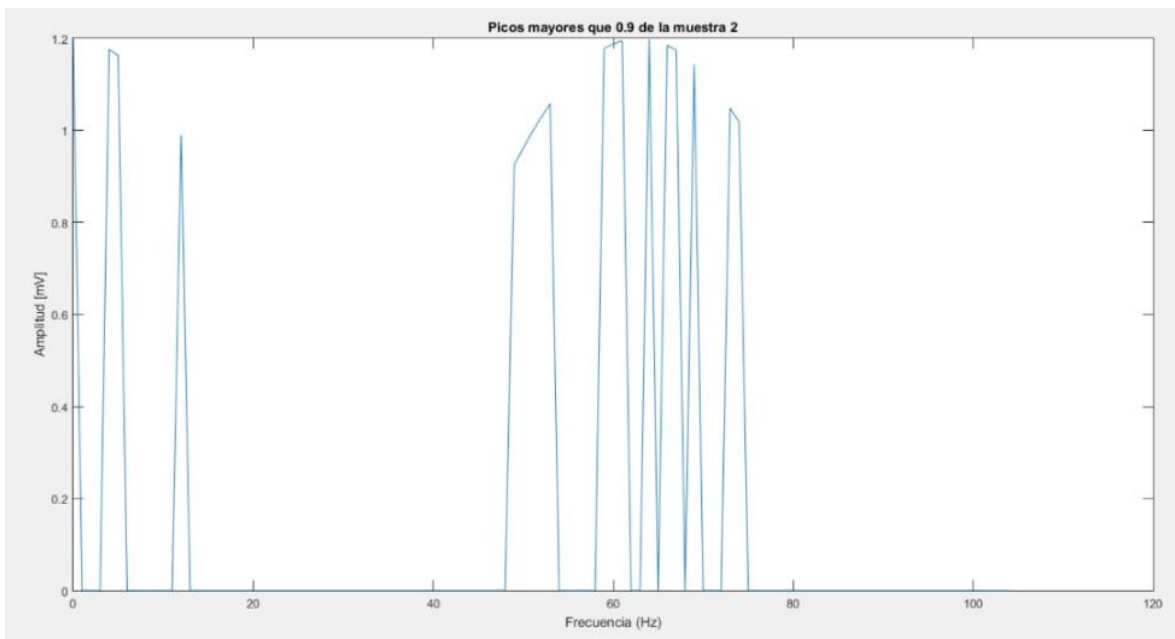
4. En la gráfica 14 realizando ya la descripción de las señales en función de la función seno aplicamos una serie de procesos para obtener los picos mayores de 0.9 los cuales son de interés ya que representan peligro y debe de reportasen como alarma. En el caso de la muestra 1 corresponde a una onda tipo S que está en decrecimiento y notamos los picos que están al inicio de la señal ya procesada.



**Gráfica15.** Muestra 1 onda S decreciente. Referencia propia del autor

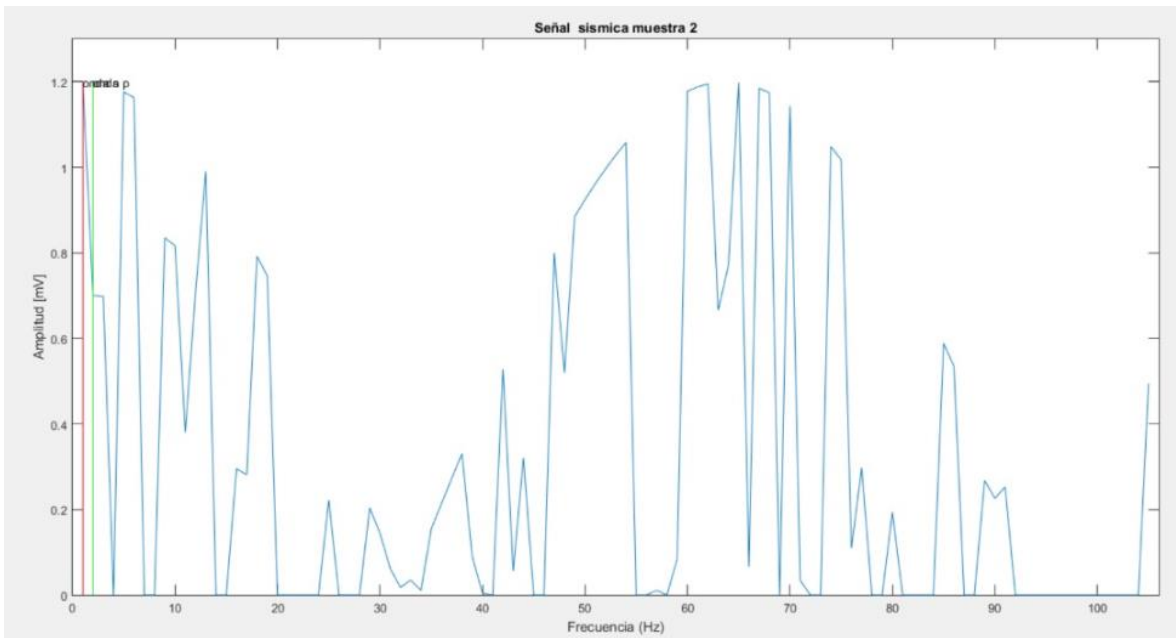
 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

5. En la gráfica 15 la onda tipo S decreciente la cual se obtiene expresando las señales en función seno, pero ingresando la fase en la que se encuentra dicha muestra, entre las cuales puede estar  $\frac{\pi}{4}$ ,  $\frac{\pi}{2}$ ,  $\pi$ ,  $\frac{3}{4}\pi$ , etc. según como ingresemos la fase nos mostrara si está en crecimiento o en decrecimiento, este proceso se hace ya que las oscilaciones sísmicas se correlacionan a funciones seno en la fase adecuada. Es de suma importancia ingresar la fase correcta ya que debe de simularse mediante Matlab de manera lo más próxima a la realidad, si la muestra la tomamos completa debemos definir si el sismo inicio con un pico alto y fue decreciendo o si fue con un pico bajo y fue creciendo, esto coincide con la realidad donde se presentan ambos casos. Así que en las simulaciones el programa de Matlab solicita ingresar para cada muestra una fase, según sea el criterio de quienes obtuvieron la muestra.



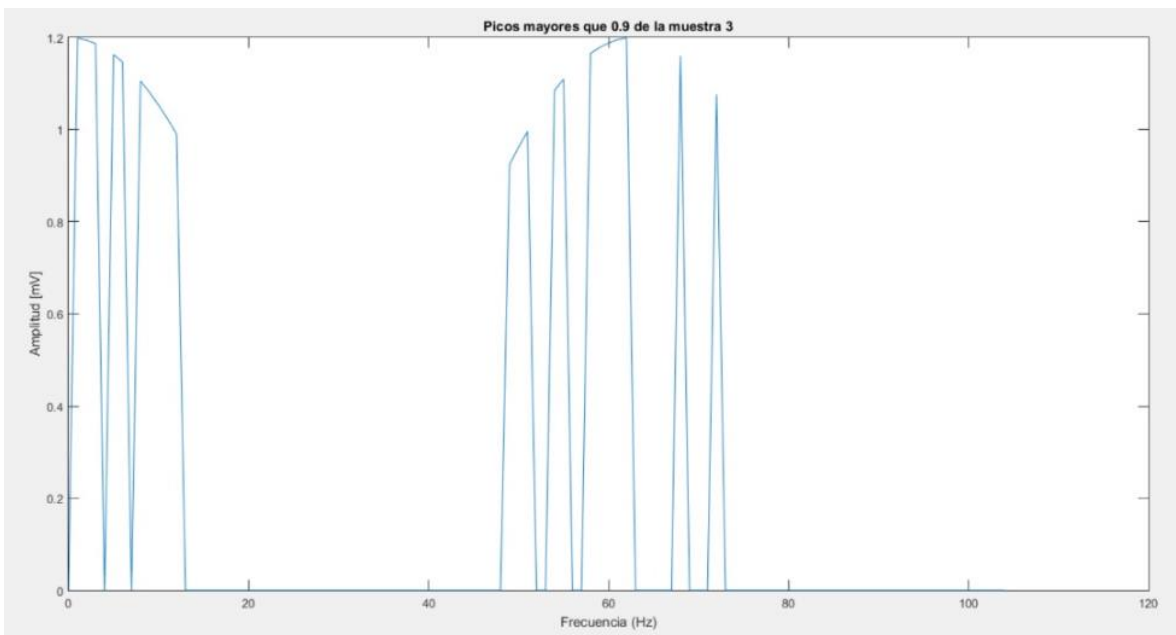
**Gráfica16.** Picos mayores a 0.9 de la muestra 2. Referencia propia del autor

6. En la gráfica 16 se puede observar dos picos correspondientes uno a una onda p que inicialmente tiene su mayor pico y luego continúa con una amplitud más baja, y posteriormente la onda tipo S la cual tiene su mayor pico alrededor de los 50 segundos después de iniciado el sismo, y la cual continua pero decreciendo.



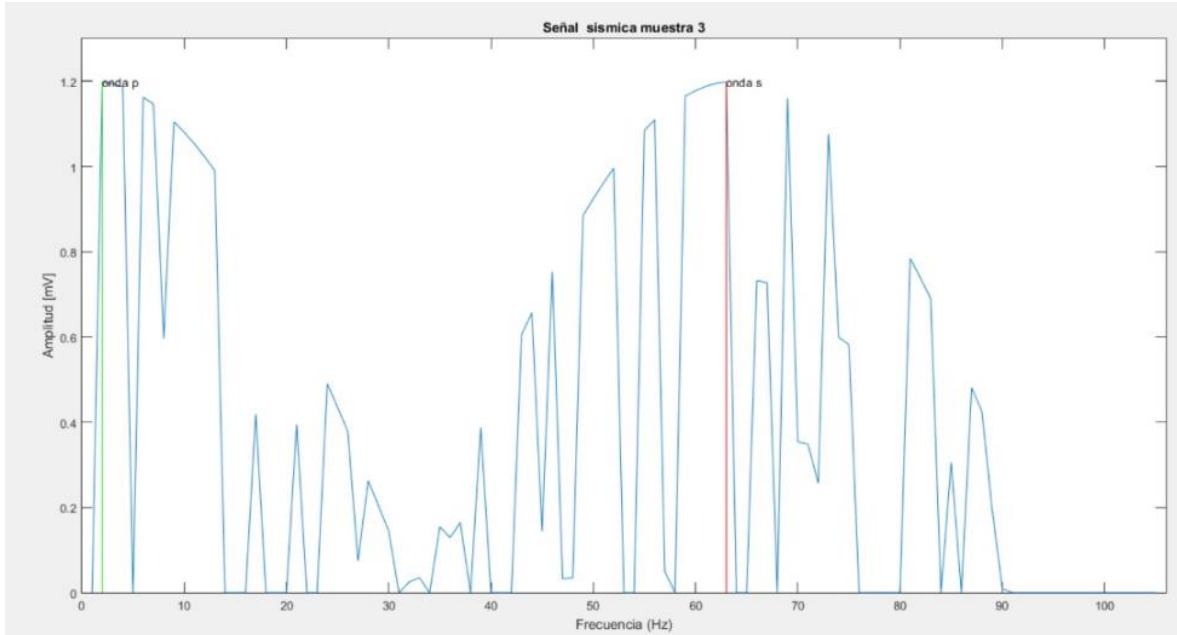
**Gráfica 17.** Muestra 2 visualizaciones de ondas S y P. Referencia propia del autor

7. En esta gráfica 17 se observa como posteriormente a la onda p continua la onda s. Esta señal grafica se obtiene con un algoritmo que traza automáticamente las líneas roja y verde etiquetándolas con sus respectivos nombres en los picos más relevantes.



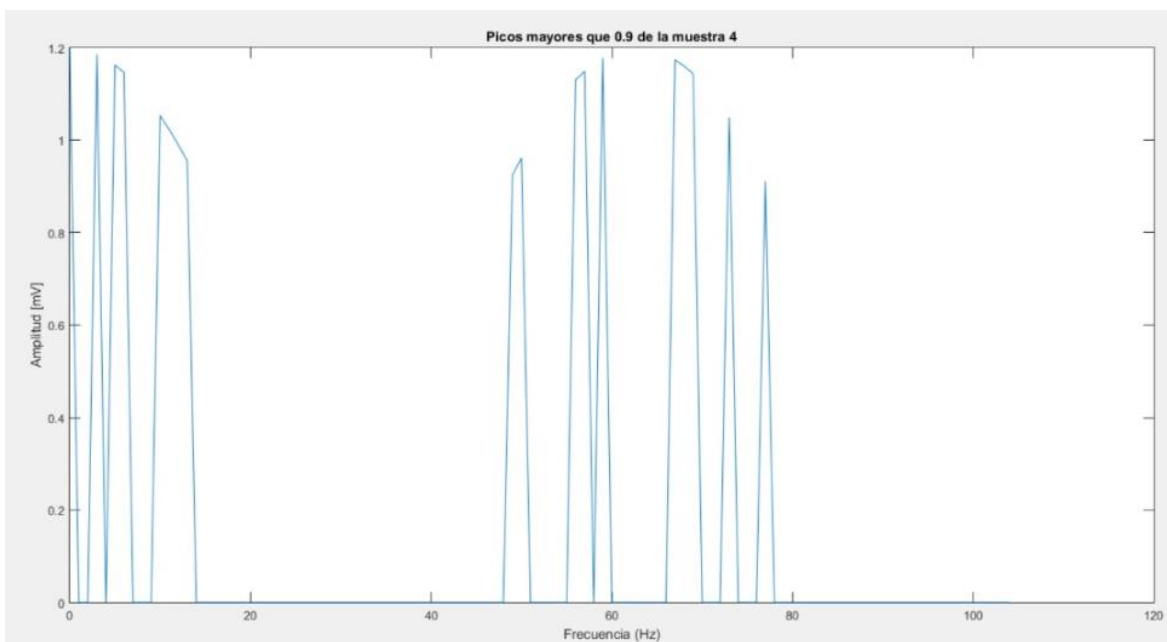
**Gráfica 18.** Picos mayores a 0.9 de la muestra 3. Referencia propia del autor

8. En esta gráfica 18 observamos dos picos principales mayores a 0.9 esta grafica ha sido obtenida por la ecuación representativa de un sismo y posteriormente graficada aplicando el filtro mayor a 0.9 de amplitud.



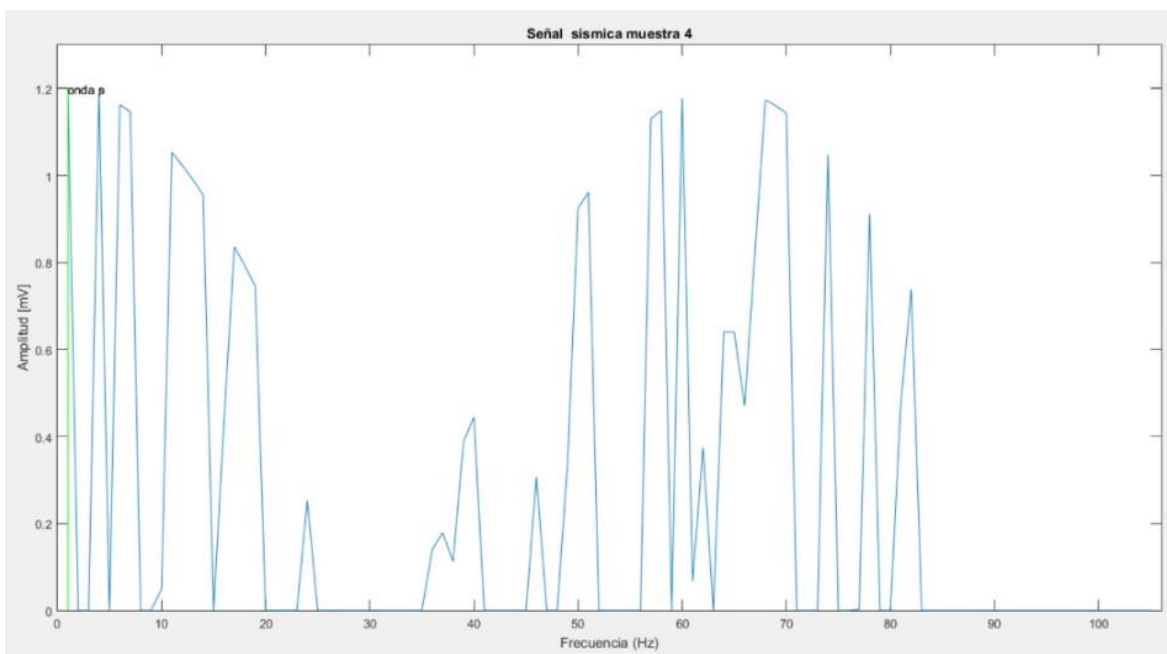
**Gráfica 19.** Muestra 3 visualizaciones de ondas S y P. Referencia propia del autor

9. En la gráfica 19 se observa más claramente cómo se realizan las oscilaciones de ida y de vuelta en la realidad un sismo como estos tendría grandes consecuencias y probablemente víctimas mortales.



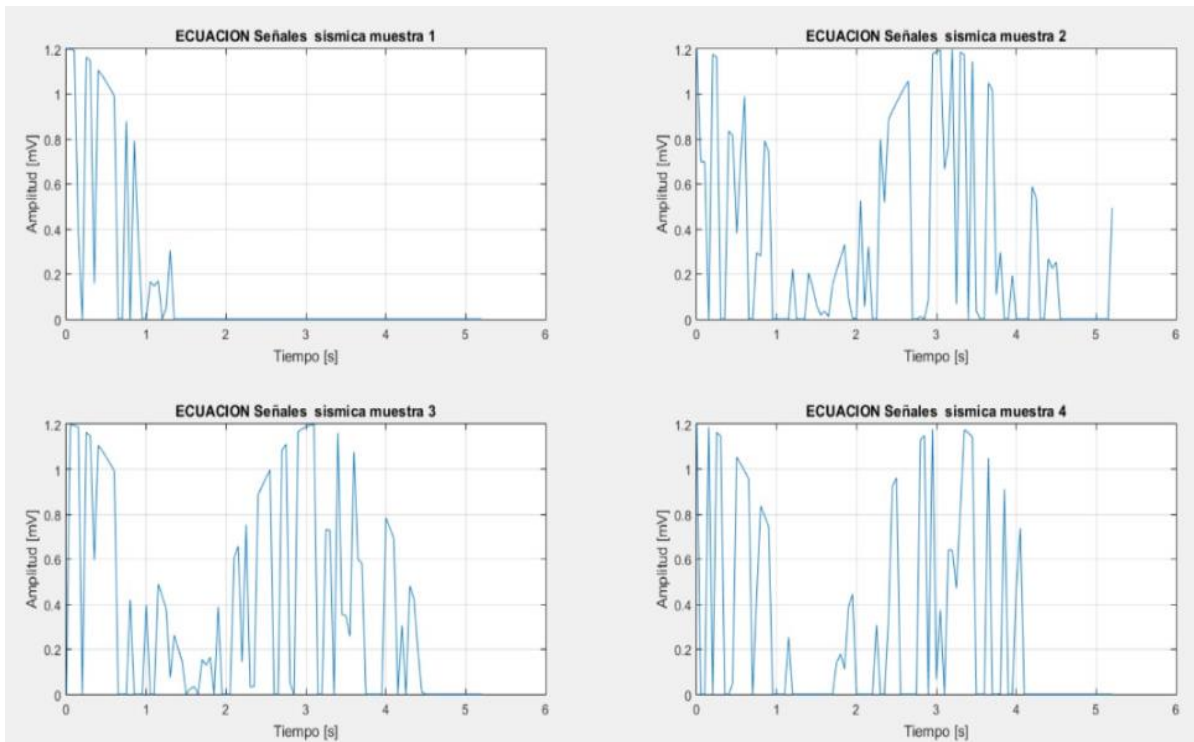
**Gráfica 20.** Picos mayores a 0.9 de la muestra 4.

10. Esta gráfica 20 se obtiene aplicando un filtro para picos mayores que 0.9 este filtro se usa mediante un ciclo for el cual por repetición sucesiva va localizando los valores que cumplen la condición y los grafica posteriormente.



**Gráfica 21.** Muestra 4 visualizaciones de ondas S y P. Referencia propia del autor

11. Se observa la gráfica 21 en la cual hay una mezcla de señales tipo p y s pero únicamente se etiquetaron las más destacadas. Se obtuvo la gráfica usando la ecuación representativa de un sismo.



**Gráfica 22.** Graficas de las 4 Muestras de ondas sísmicas. Referencia propia del autor

12. En la gráfica 22 podemos observar paralelamente las cuatro muestras que se obtuvieron mediante las ecuaciones representativas de un sismo. Cabe destacar que las muestras que se obtengan de sismos reales y no de sismos obtenidos de manera manual mediante el geófono pueden llegar a dar mucha mejor claridad y a resaltar mucho más la información ya que correspondería a funciones generalmente ondulatorias lo cual serviría para procesar la información de manera más clara y efectiva.

### **Análisis, explicación y ubicación de los dispositivos a utilizar**

La posición del geófono influye y se pueden captar datos errores o falsas alarmas debido a la transmisión inapropiada de señales, por esto, se debe tener sumo cuidado de mantener el geófono en posición vertical o perpendicular al suelo. Algunos resultados expuestos en

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

(Penagos, et. Al, 2017), muestran que al inclinar el geófono se obtiene un aumento de su ancho de banda y también se evidencia un corrimiento en la frecuencia de resonancia.

El acondicionamiento de la señal se realizó siguiendo las recomendaciones del fabricante, se realizó la amplificación anteriormente señalada de 1000 veces en el que se pudo observar el comportamiento de la señal, además de aplicar un filtro que permite separar la señal real con ruido, tal y como recomiendan en la hoja de datos. No se tomaron en cuenta otros métodos encontrados en la literatura y expuestos por ejemplo en (Cisneros Mera, Enríquez López, & Marcillo Lara, 2005) dado que estos implicaban unos conocimientos electrónicos mayores.

La calibración del geófono o el acondicionamiento de la señal entregada por este se realizó de forma empírica y basado en las hojas de datos del fabricante y no basado en algunos métodos encontrados en la literatura y expuestos en (Cisneros Mera, Enríquez López, & Marcillo Lara, 2005) debido a que nuestra propuesta está enfocada a la implementación de un sistema de bajo costo.


## **Desarrollo objetivo 2**

### **Diseño de un sistema de comunicaciones inalámbrica asociado a protocolos de comunicación que garanticen la confiabilidad de los datos.**

En la transmisión de la información vía inalámbrica es necesario tener en cuenta algunas condiciones indispensables para seleccionar la tecnología adecuada, en el caso de un geófono las siguientes son muy importantes:

- Bajo tráfico en la red.
- Comunicación Bidireccional.
- Facilidad para la programación.
- Bajo consumo.
- Potencia de transmisión mínima con alto alcance.

No es necesario que tengan una alta tasa de transferencia, porque la información que va a entregar el geófono es comparada con el texto plano, el tamaño máximo que puede

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

enviarse de un dato que va empaquetado en una trama API empleada en una red zigbee para este tipo de sensores es de 1.03Kb, un tamaño ideal para la tasa de transferencia utilizada por esta tecnología que puede alcanzar hasta los 250Kbps.

Teniendo en cuenta estos puntos, se procedió a analizar cuál es la tecnología más conveniente para realizar el trabajo. En la tabla 2 se puede observar una comparativa sobre las tecnologías inalámbricas que se pusieron a consideración en este trabajo:

**Tabla 3.** Comparación de tecnologías inalámbricas.

Prestaciones	Zigbee	WiFi (802.11n)	Bluetooth	Z-wave
Tasa máxima de transmisión	250 Kbps	600 Mbps	1 Mbps	40 Kbps
Capacidad de red (nodos)	65.536	100	8	232
Banda	2.4 GHz	2.4 GHz, 5 GHz	2.4 GHz	900 MHz
Consumo	Tx:35mA Rx:30mA	Tx:220Ma Rx:215mA	Tx:30mA Rx:40mA	Tx:40Ma Rx:30mA
Interoperabilidad	Alta	Alta	Media	Alta
Alcance	12km	100m	50m	100m
Documentación	Alta	Alta	Alta	Baja

### Tecnología escogida

Las tecnologías que se describieron con anterioridad trabajan en su mayoría en la banda de las 2,4 GHz con excepción de Z-Wave que está en la banda de 900Mhz.

- Bluetooth es una tecnología interesante pero la falencia que tiene para este trabajo es el alcance, su alto consumo de energía y la topología que utiliza esta tecnología, por lo tanto queda descartada.
- Wifi presenta una elevada tasa de transferencia lo que hace que el consumo de energía también aumente. Por esta razón queda descartada.



	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Z- wave es una muy buena tecnología para redes de sensores, pero tiene dos falencias, está diseñada exclusivamente para redes de área residencial y encontrar documentación es una tarea más compleja.
- Zigbee en cambio, se trata de una tecnología cuya tasa de transmisión no supera los 250Kps y con una cantidad de datos baja es suficiente. No precisa de gran capacidad de cómputo, ni de grandes potencias de transmisión. Precisamente el objetivo buscado. El alcance y la topología permiten que el proyecto tenga menos limitaciones. La cantidad de nodos que tiene es también muy importante porque la red se puede crecer para aumentar la fiabilidad y con esa cantidad prácticamente no se sufrirá en ese rubro. Zigbee es la tecnología escogida y el módulo que se utilizará es Zigbee de la marca DIGI.
- **IEEE 802.15.4 Zigbee**

Después de analizar y estudiar cada una de las tecnologías de comunicación inalámbrica prestamos gran interés y nos enfocamos en trabajar sobre 802.15.4 Zigbee debido a su amplia documentación, capacidad y eficiencia, por otra parte encontramos que su adaptación e integración a proyectos electrónicos es rápida y eficaz y por ultimo porque a diferencia de las otras tecnologías su bajo costo en implementación se adapta a las necesidades de nuestra población. Comercialmente no es el dispositivo Zigbee más económico del mercado, sin embargo, si es el de mayores prestaciones si de proyectos desde cero se trata.

Para diseñar una red se necesitan dos módulos de comunicación inalámbrica Xbee, un coordinador que se encarga de formarla y un Reuter o enddevice que se encarga de recopilar la información, transmitir al coordinador, que a su vez se comunica con el software en el entorno de desarrollo gráfico LabView. La configuración de estos módulos se hace en el software XCTU de DIGI, este permite tener una interacción grafica con el dispositivo, el modo de transmisión de los dispositivos es API, para acertar en la comunicación es necesario modificar los parámetros para de los módulos y lograr formar una conexión lógica punto a punto.

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Los parámetros a configurar son: PAN ID, ScanChannels, ScanDuration, NodeJoin Time. Estos deben de ser iguales en ambos dispositivos para poder lograr la comunicación, el dispositivo que se configura como sensor, queda router API, esto se hace con el objetivo de que cuando la red se crezca puedan actuar como una topología malla. Además, se activa una de las entradas análogas, está es la que se conecta al sensor o geófono.

Para poder transmitir los valores que genera el geófono es necesario hacer la conversión ADC que se hace por el pin escogido, el dispositivo Xbee ya teniendo esos datos y dependiendo de la configuración realizada, crea una trama API que se envía al dispositivo configurado para la recepción. El software es el encargado de extraer esos datos y hacer el respectivo análisis del voltaje medido en cierto instante de la siguiente manera:

$$\frac{DATO * 1,2}{1023} = VALOR EN VOLTIOS \quad (7)$$

Donde 1023 es la resolución del conversor ADC del Xbee y 1.2 el voltaje de referencia.

- IEEE 802.15.4 Zigbee
- IEEE 802.15.4 Zigbee

#### FOTOS DEL MONTAJE

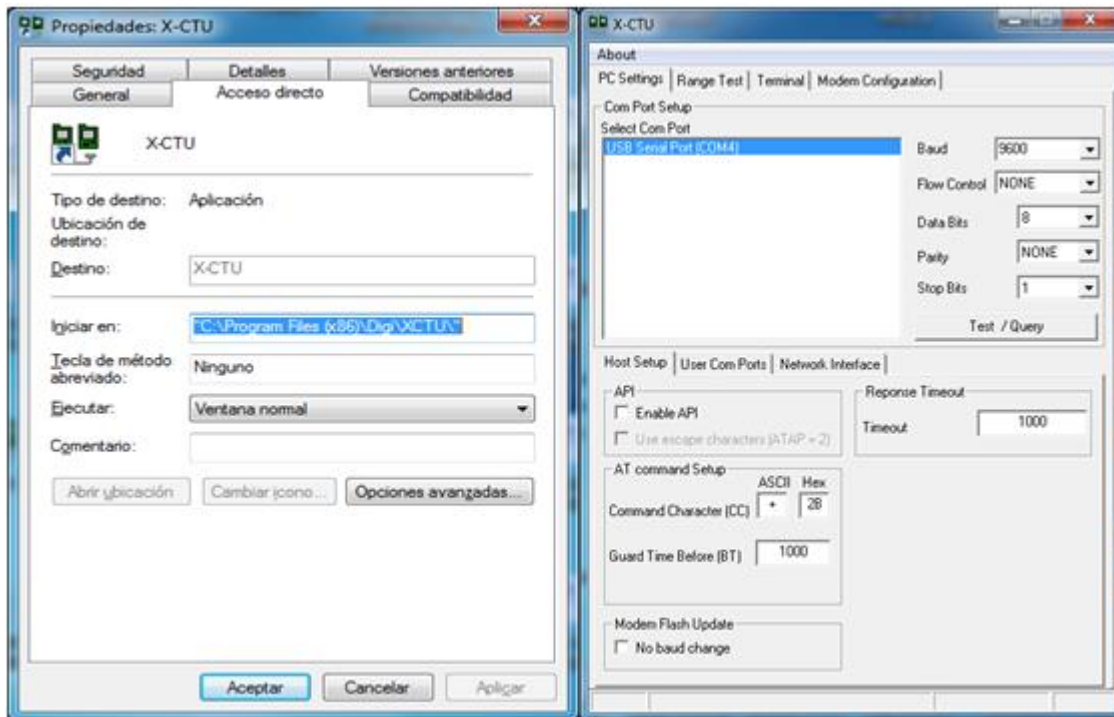


**Grafica .23** Módulo Zigbee Administrador y coordinador. Referencia propia del autor

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



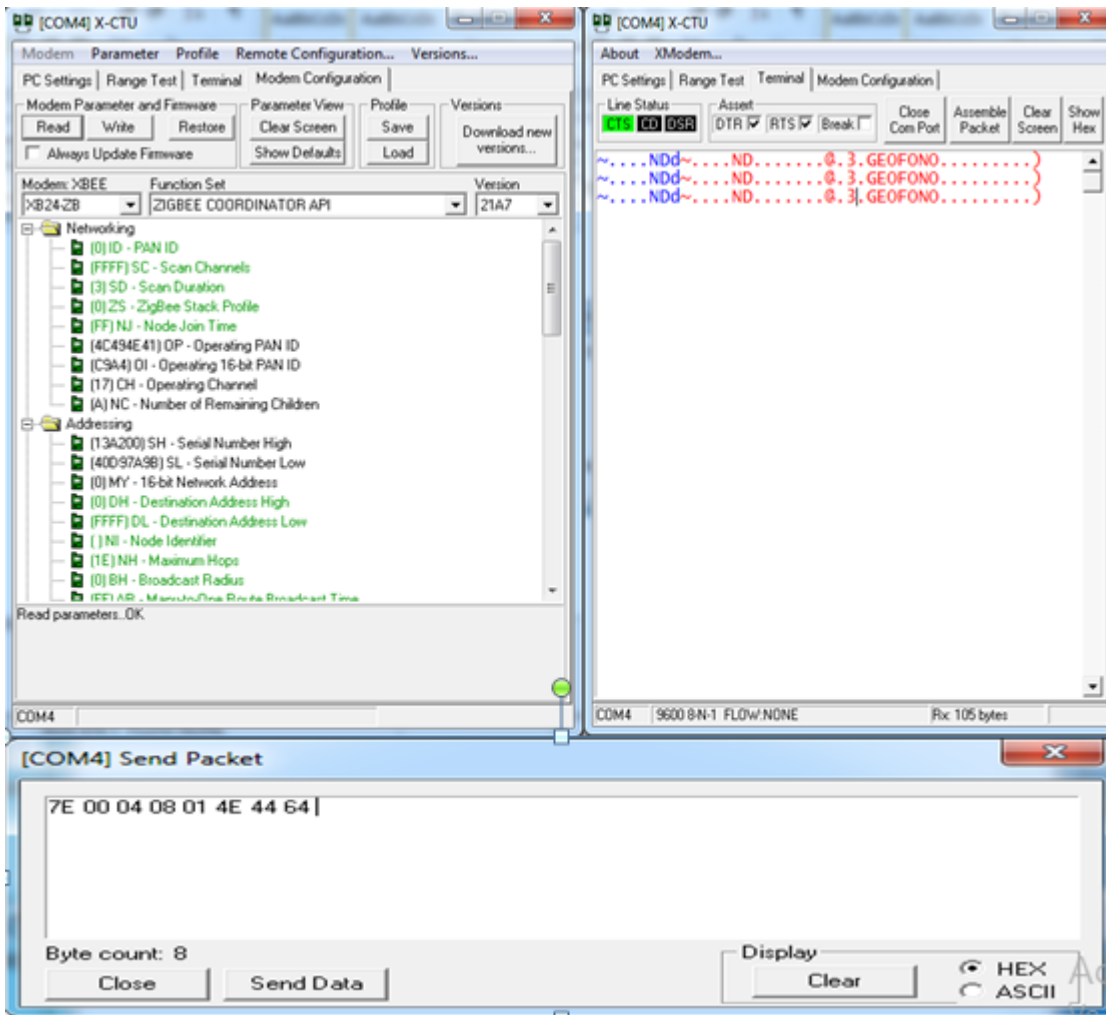
**Grafica 24.** Circuito impreso, detector de vibraciones sísmicas. Referencia propia del autor



**Grafica 25.** Configuración módulos Zigbee en el software

X-CTU\_Acceso Directo. Referencia propia del autor

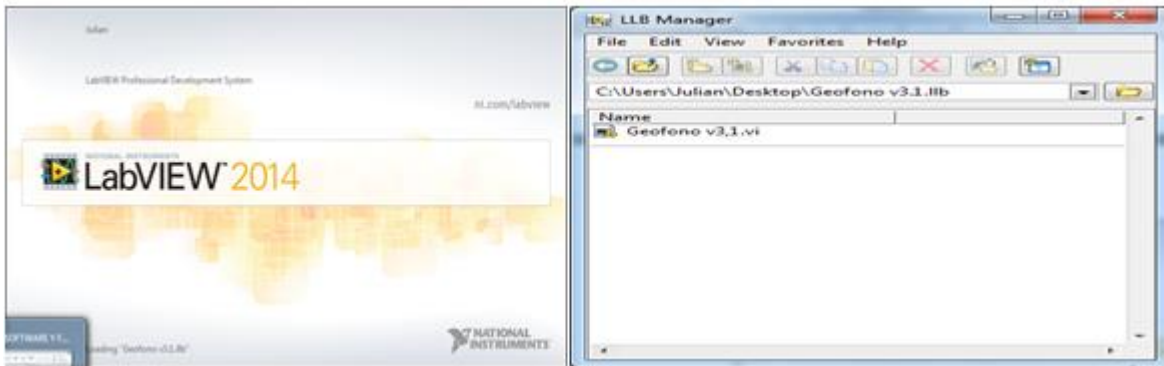
 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



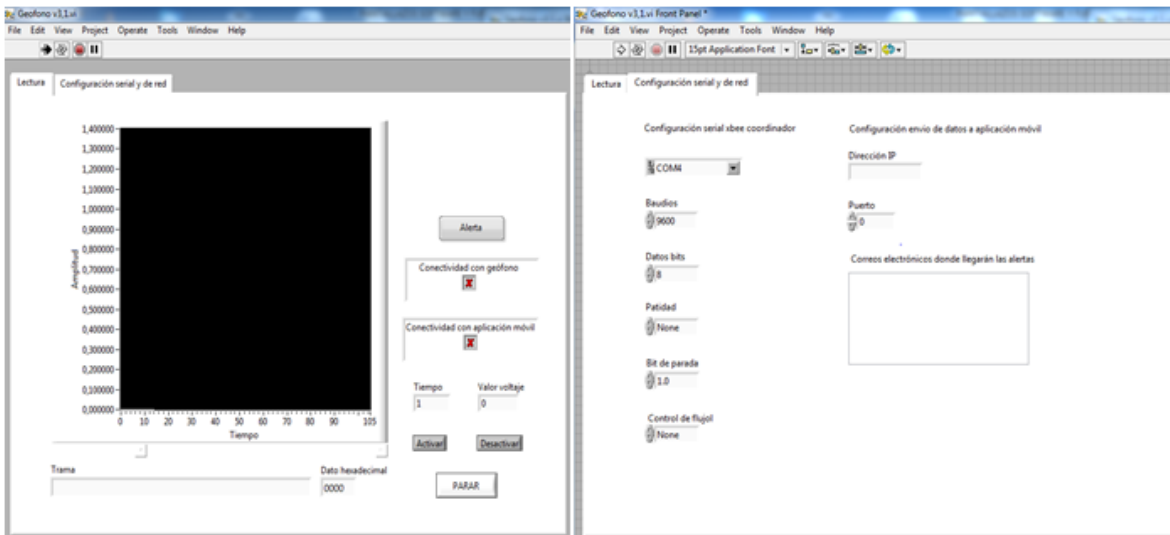
**Grafica 26.** Configuración módulo Zigbee en el software

X-CTU\_ Modem. Referencia propia del autor

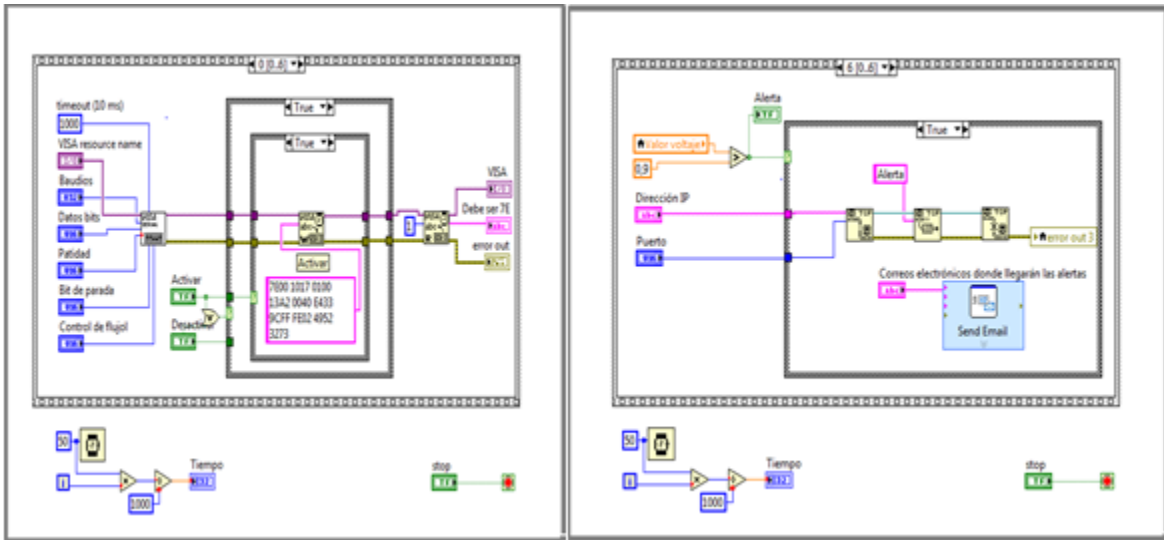
 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



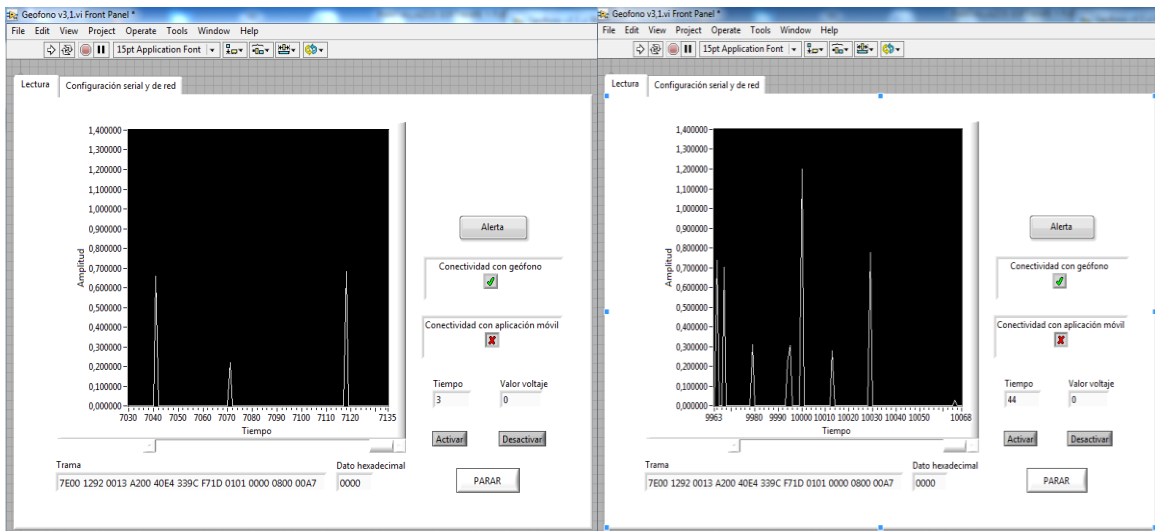
**Grafica 27.** Configuración de dispositivo en el Software Labview. Referencia propia del autor



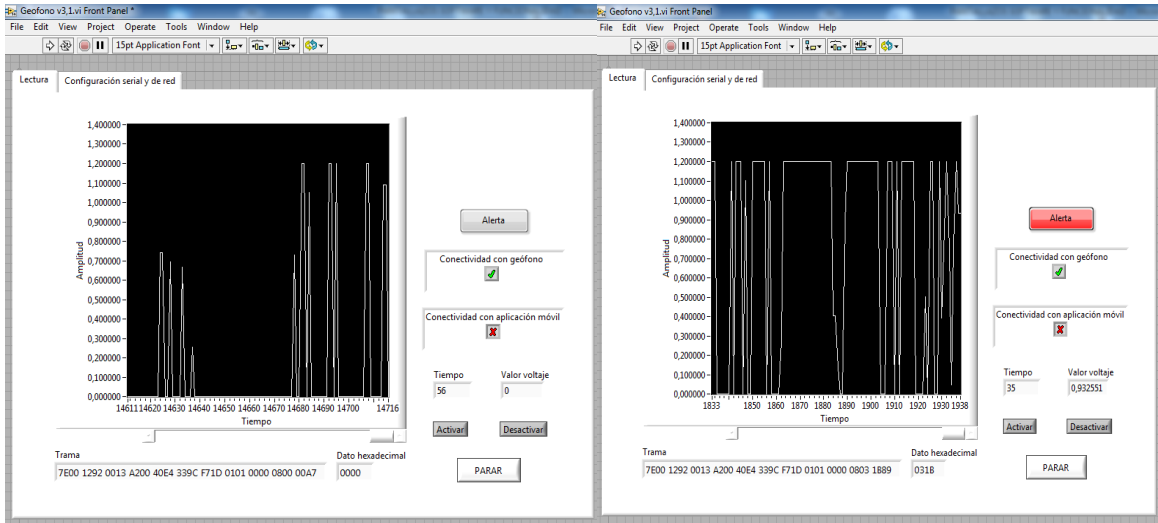
**Grafica 28.** Configuración señal y red. Referencia propia del autor



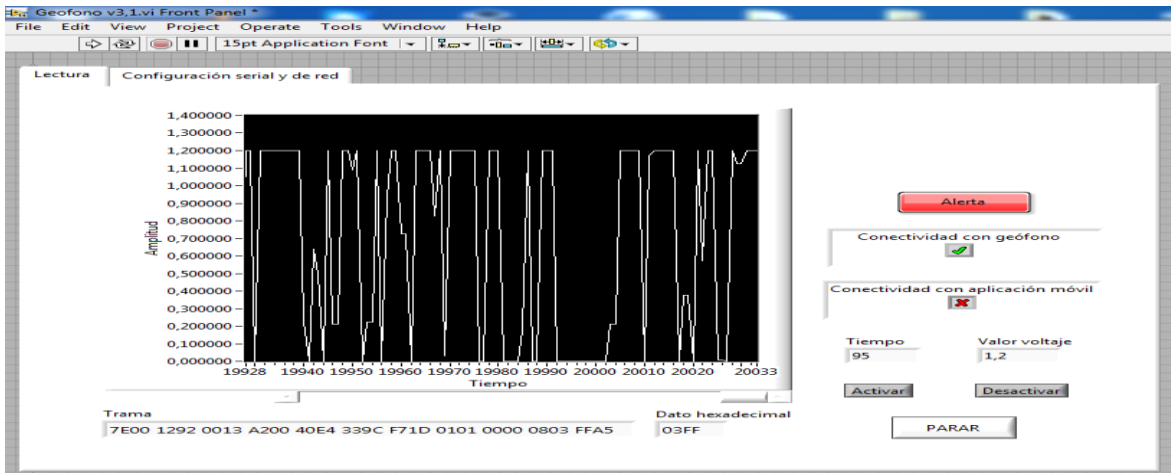
**Grafica 29.** Esquema circuito en CircuitMaker. Referencia propia del autor



**Grafica 30.** Pantallazo funcionamiento de Software en Labview con diferentes tiempos (3, 44 s. Referencia propia del autor



**Grafica 31.** Pantallazos funcionamiento de software en Labview con tiempos (56-35) Se muestra alerta con voltaje 0.932551. Referencia propia del autor



**Grafica .32** Pantallazo funcionamiento de software con tiempo 95, voltaje 1.2 muestra alerta. Referencia propia del autor



	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

#### **4.2.1 Análisis objetivo 2**

La comunicación de los módulos es eficiente, sin embargo, el ADC puede mejorar la interpretación de los datos, puesto que las señales que envía un geófono son muchas en un instante de tiempo muy pequeño, el dispositivo Zigbee utilizado solo puede recibir un dato en máximo 50ms. En (Chin Marin & Cobos Castro, 2010) se realiza un diseño de un ADC especial para un sismógrafo, también se utilizan geófonos como dispositivo para el levantamiento de datos, sin embargo, se maneja un microcontrolador con un ADC con una mayor resolución. Tiene la restricción de no ser inalámbrico, sin embargo, es una opción de encontrar mejores resultados.

Se tuvieron problemas a la hora de probar con una batería el circuito, a pesar que el consumo es menor con respecto a otras tecnologías, él envió de señales constante descarga cualquier tipo de batería. Una de las soluciones planteadas para esta problemática, es utilizar baterías de litio y hacer un sistema de carga eficiente.

Se alcanzaron distancia punto a punto de hasta 25 metros sin línea de vista, pero, sin ningún tipo de obstáculo. Eventualmente se probó con un repetidor de señal en otro dispositivo Zigbee, esto para simular ambientes más lejanos, no tuvo ningún problema a la hora de la comunicación y en esta ocasión si se hizo con algunas paredes como obstáculos.

#### **Desarrollo objetivo 3**

**Desarrollar una interfaz de análisis y visualización de las ondas sísmicas, con el fin de crear alertas en caso de movimientos anormales de la Tierra.**

Para el procesamiento y visualización de la señal procedente del módulo de comunicación inalámbrico se usó una plataforma de programación gráfica que se encuentra disponible y licenciado en las instalaciones del Instituto Tecnológico Metropolitano. Este entorno fue especialmente útil dado que puede leer puertos COM o seriales lo que permite una



	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

transmisión de datos confiable entre el módulo Zigbee y el computador.

El código gráfico en Labview del archivo Geófono v3.1 está dividido en 7 secuencias que al ejecutarlas hace posible la lectura de datos recibidos a través de la conexión serial establecida entre el dispositivo ZigBee y el computador. A continuación, se explican las secuencias que se ejecutan dentro del programa.

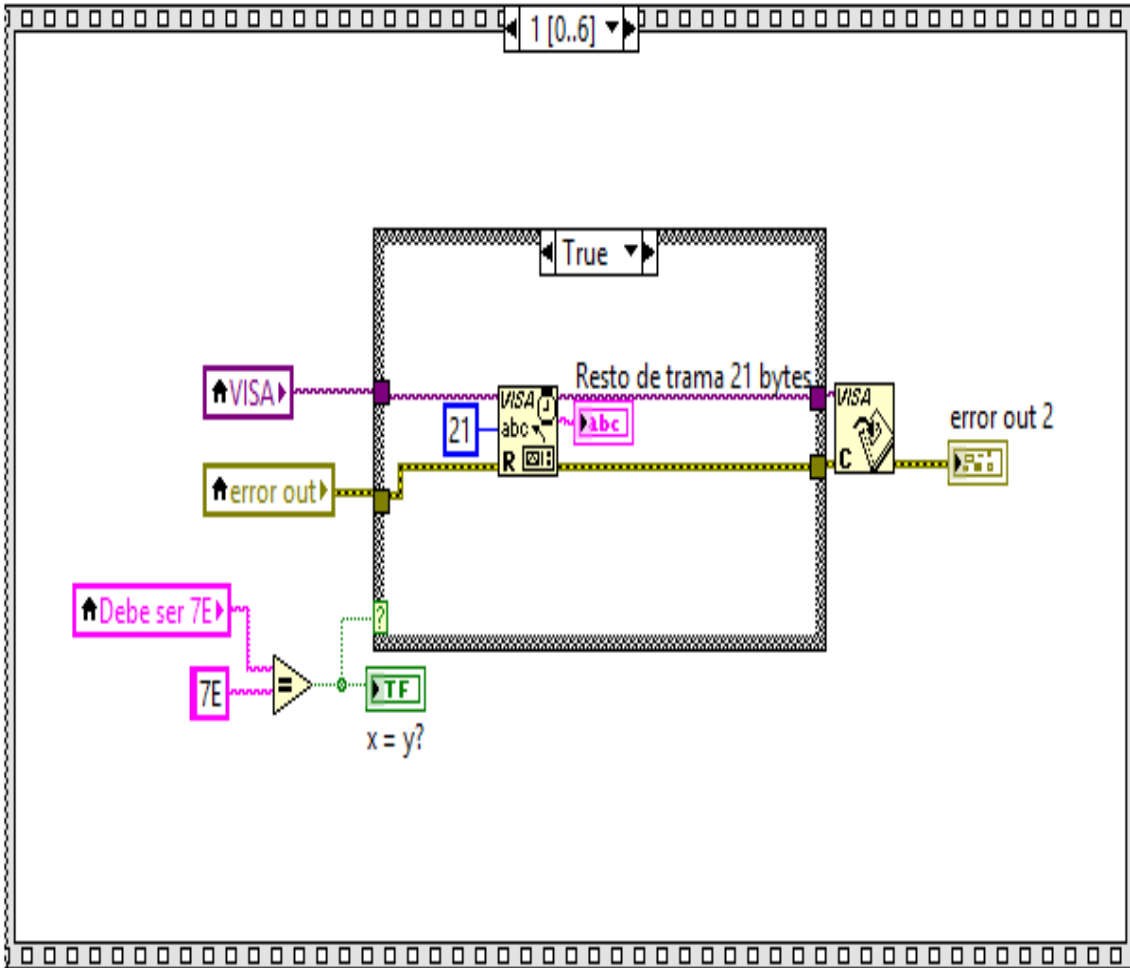
### **1. Secuencia cero.**

Se configuran los parámetros necesarios para la comunicación serial.

Etapa de lectura: en el instante que el usuario presiona el botón “Activar” se escribe en el serial una trama API que se envía al sensor para poner en funcionamiento el envío del estado del sensor cada 50 milisegundos y si presiona el botón “Desactivar” se le envía al geófono la trama API ordenándole que desactive el envío de esos datos.

Las tramas API comienzan siempre por el valor “7E”, por esta razón, la lectura comienza leyendo 1 byte de los datos que llegan para poder continuar leyendo los datos adicionales.

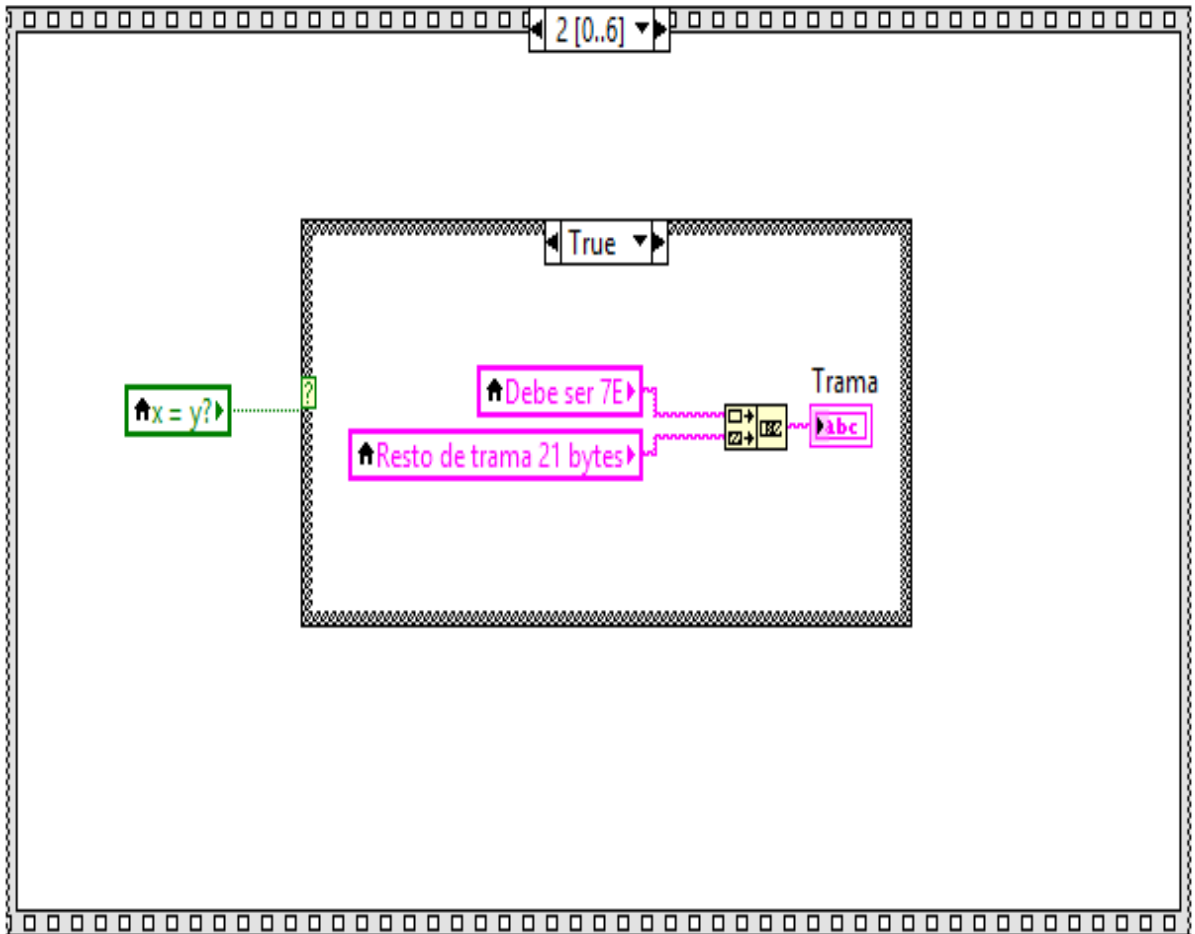




**Gráfica 34** .Secuencia uno. Referencia propia del autor

### 3. Secuencia dos.

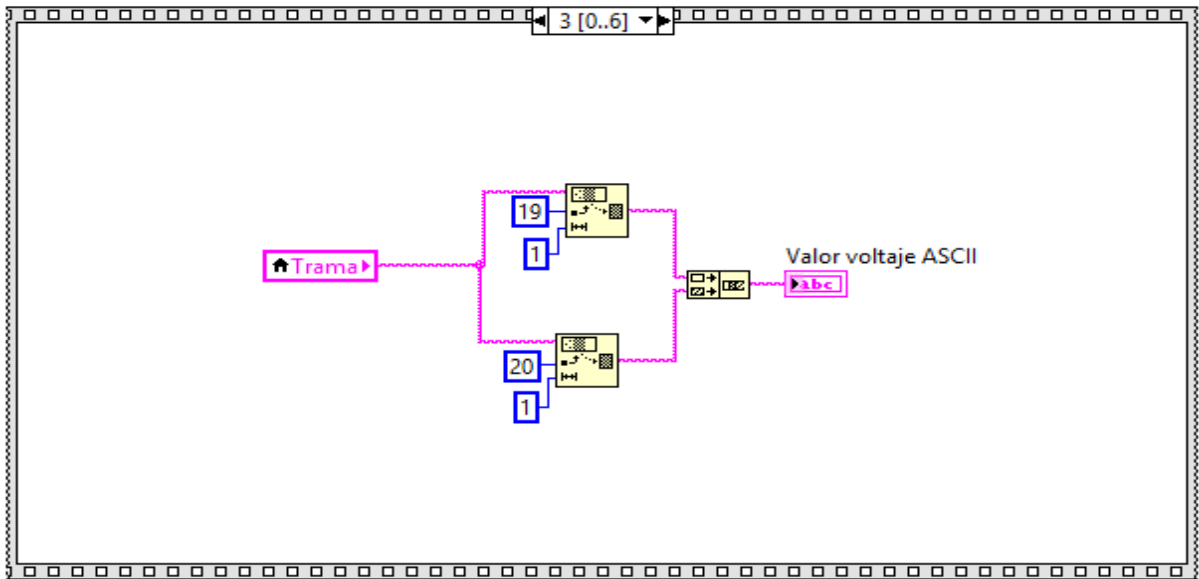
En este paso, se concatena el valor "7E" y el resto de la trama con el objetivo de visualizarla mejor.



**Gráfica 35** .Secuencia dos. Referencia propia del autor

#### 4. Secuencia tres.

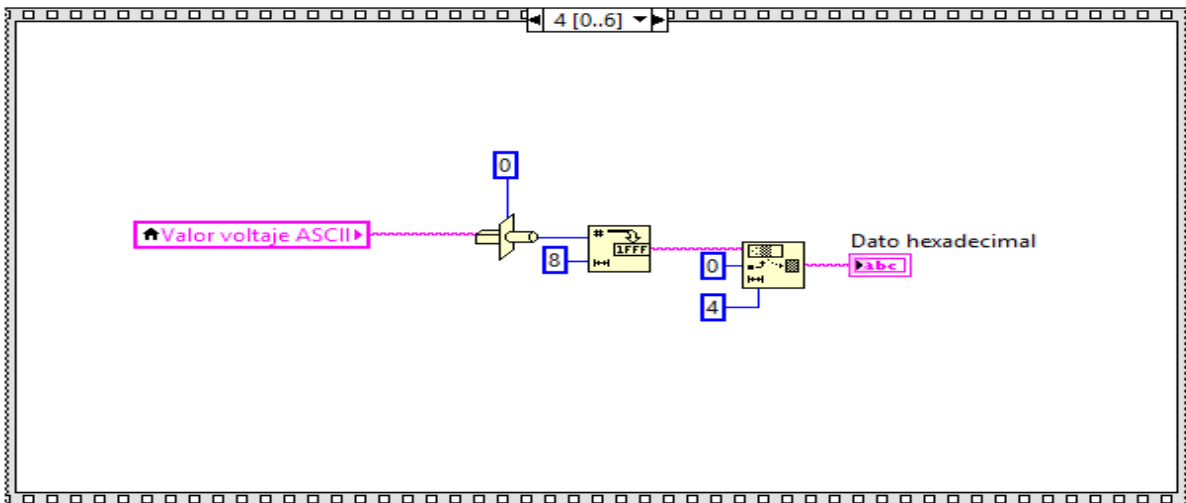
Se extraen los valores del byte 19 y 20 que son los que contienen los datos del sensor geófono.



**Gráfica 36.**Secuencia tres. Referencia propia del autor

#### 5. Secuencia cuatro.

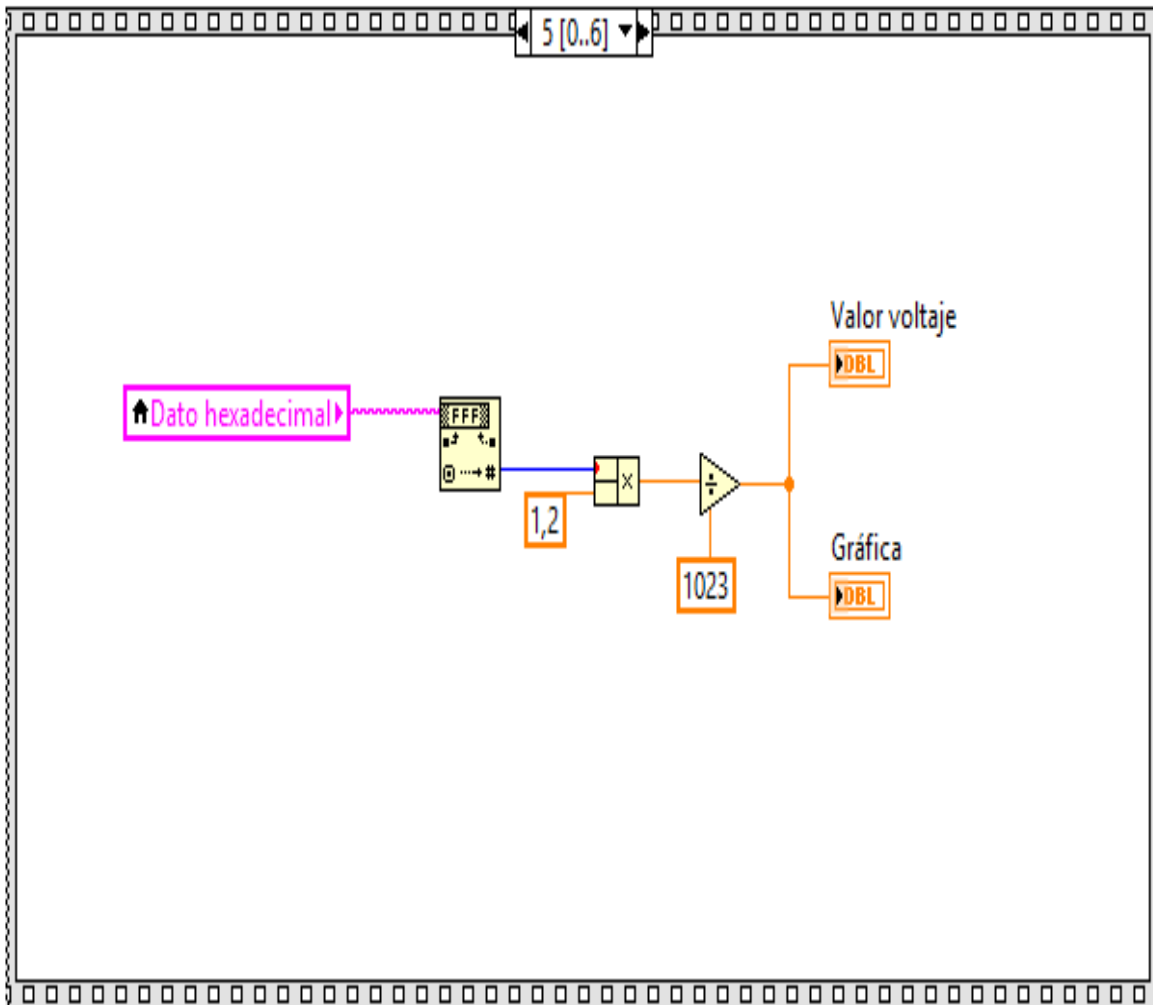
Al momento de extraer el valor anterior, este es leído en código ASCII, por lo cual es necesario hacer la conversión a hexadecimal para poder ser tratado.



**Gráfica 37 .**Secuencia cuatro. Referencia propia del autor

### 6. Secuencia cinco.

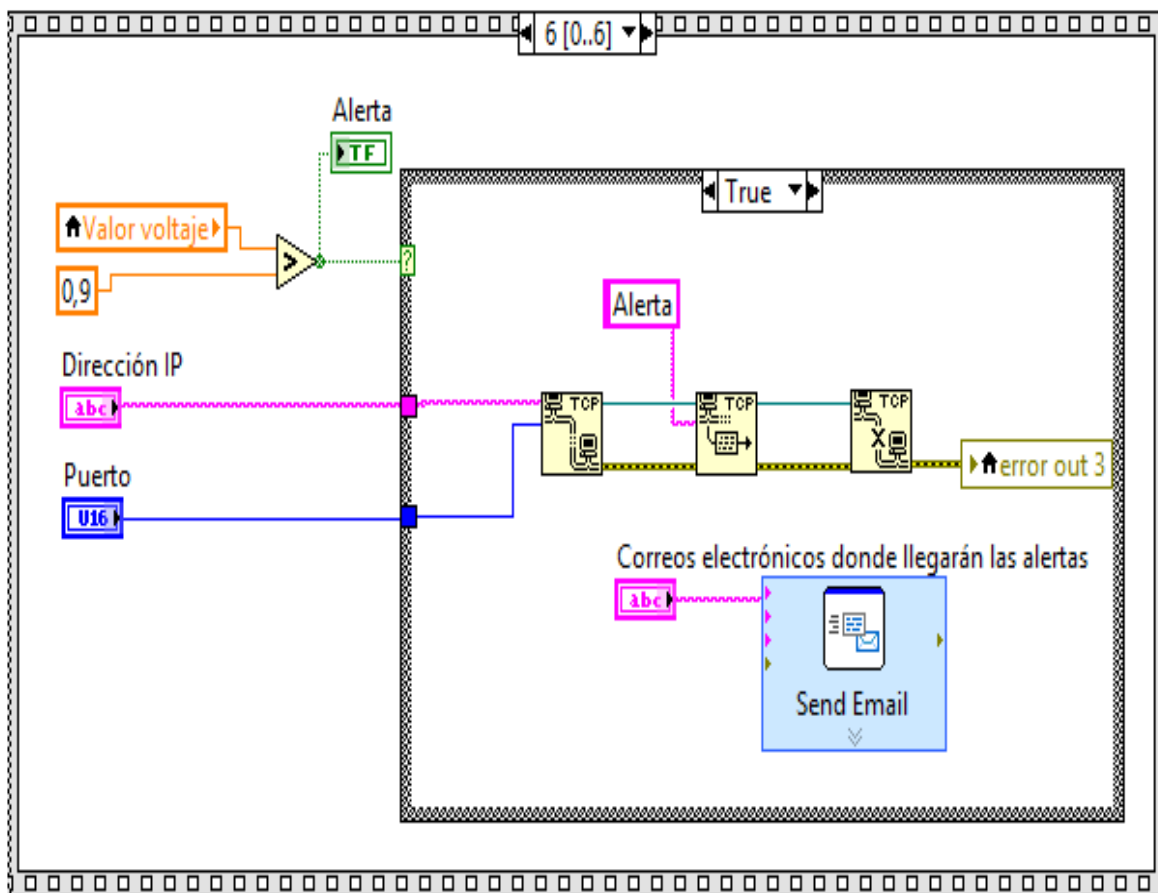
El valor resultante del ítem anterior se multiplica por 1.2 y se divide por 1023 la cual es resolución del conversor ADC que trae integrado el dispositivo ZigBee. Luego de hacer esa operación se muestra el valor del voltaje en un cuadro y en la gráfica.



**Gráfica 38.** Secuencia cinco. Referencia propia del autor

### 7. Secuencia seis.

En esta última secuencia se conecta el cliente TCP (Programa en Labview) con el servidor TCP (Aplicación móvil o cualquier otro dispositivo que soporte esa tecnología). Si el valor resultante del paso anterior es menor a 0.9, entonces se establece la conexión con el servidor, enviando un texto que dice “Normal” ; en caso contrario, envía un texto que dice “Alerta” y además envía un correo electrónico con el texto preestablecido.

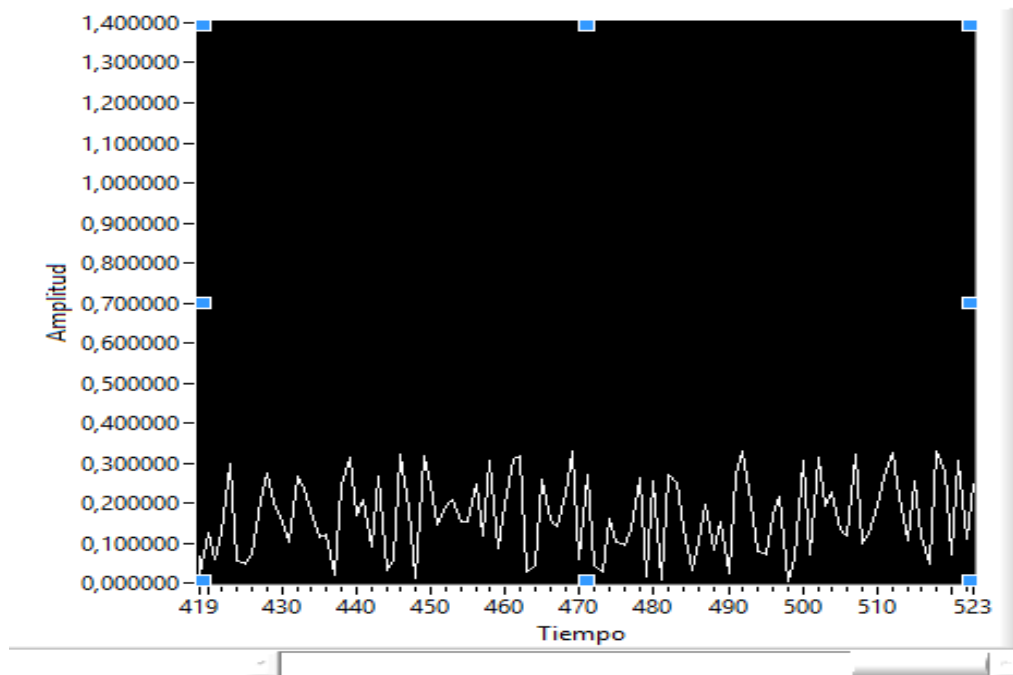


**Gráfica 39.** Secuencia seis. Referencia propia del autor

### 4.3.1 Análisis objetivo 3

Se implementara y diseñara una interfaz de usuario en LabView, donde se pueda ver de forma virtual la simulación de ondas sísmicas a través de un sistema de conversión de diferentes etapas.

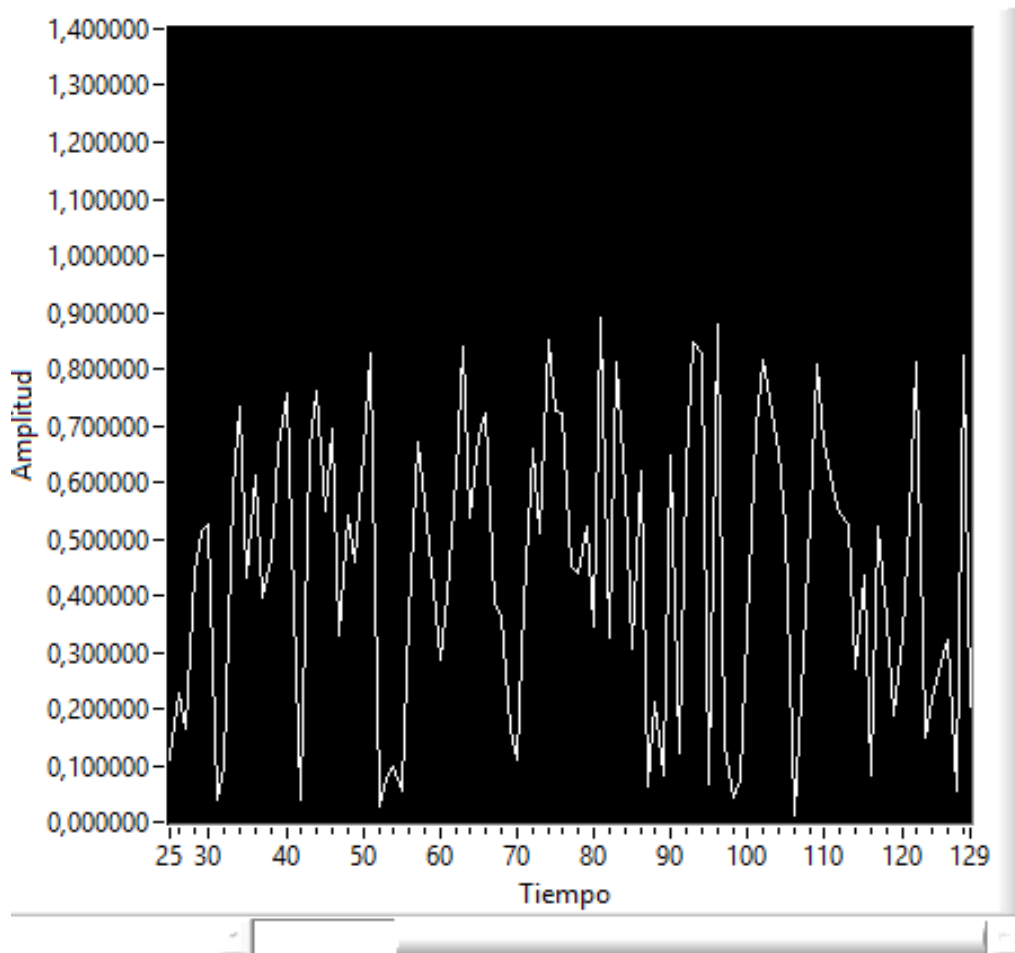
Dado que es complejo esperar el momento de un sismo real, se realizan diferentes pruebas con simulaciones del sistema para ver su funcionalidad, la primera prueba se realiza con saltos suaves y constantes alrededor del geófono ubicado en el suelo y se obtiene los siguientes resultados:



**Gráfica 40.** Simulación número uno. Referencia propia del autor

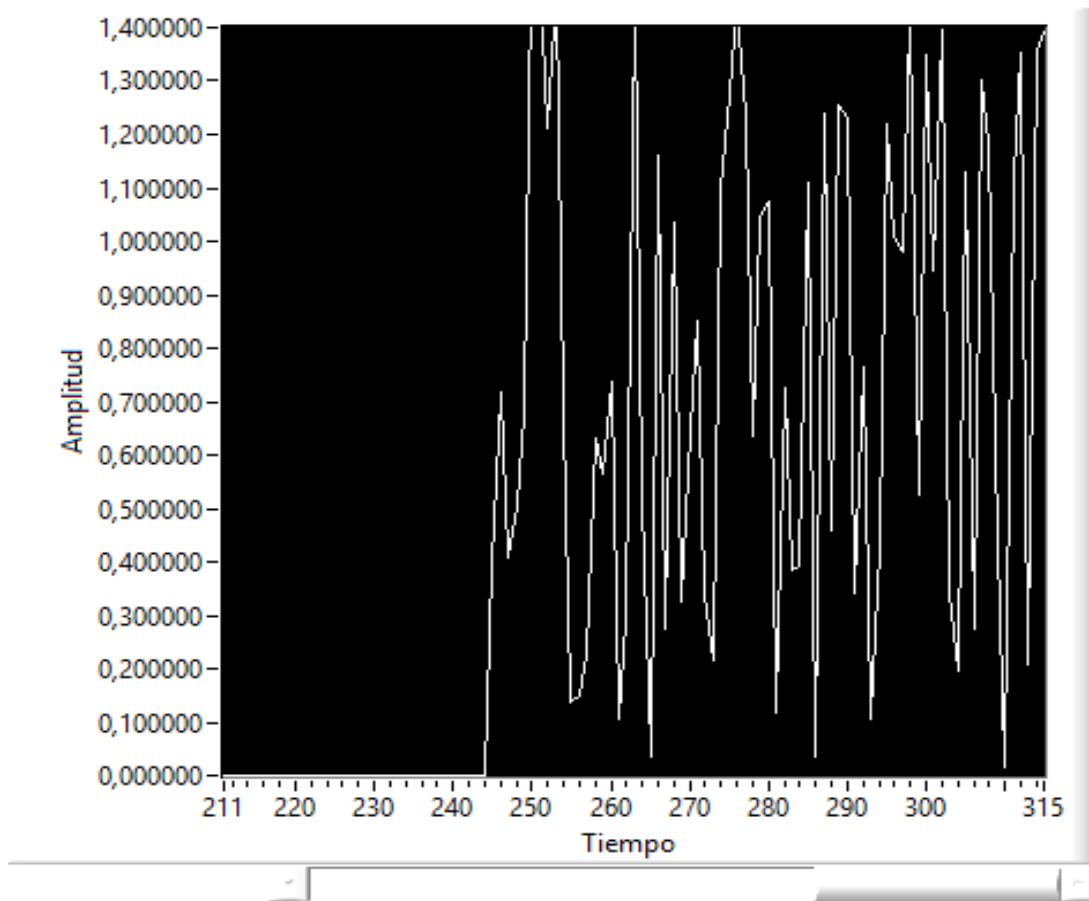


En la gráfica 41 se puede observar que, este movimiento simularía un pequeño sismo de menos de 3.5 en la escala de Richter, donde el terremoto no sería perceptible por el ser humano, pero si lo podrían percibir algunos animales.



**Gráfica 41.** Simulación número dos. Referencia propia del autor

En la gráfica 42 se observa la amplitud generada con un salto un poco más grave, provocaría o simularía un terremoto de 5.5 en la escala de Richter, la cual generaría daños ligeros a edificios y se formarían grietas en el suelo.



**Gráfica 42.** Simulación número tres. Referencia propia del autor

En la gráfica 42 se muestran los resultados obtenidos darían el peor resultado, este sería un gran terremoto, se producirían fallas en el terreno, además de desplazamientos de masas de aguas.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

Los sismógrafos que hay en la actualidad se pueden mejorar aplicando conocimientos ingenieriles con tecnologías de vanguardia. La meta de establecer mecanismos que permitan que la información llegue con más certeza ante una posible alerta sismográfica es muy viable puesto que las herramientas están dadas para que así se cumpla, el auge de las redes de datos omnipresentes cada día crece más y directamente proporcional están creciendo las soluciones inalámbricas en todos los rubros de la humanidad.

En este trabajo se pudo encontrar los caminos para realizar un sismógrafo de alta calidad y al menor costo posible. Es una aproximación a lo que muchas empresas involucradas en el tema, actualmente están implementando para mejorar en la detección de sismos o en su defecto conocer el estado de determinado terreno.

Las conclusiones después de terminar el trabajo teórico-práctico son las siguientes:

- Se diseñó un sistema de adquisición, transmisión inalámbrica, procesamiento y visualización de señales provenientes de movimientos terrestres, que cumple con ser económico y funcional pero no absolutamente confiable para detectar movimientos telúricos, debido a factores como el ruido en la señal, las posibles pérdidas de información debido a la baja tasa de transmisión de señales del módulo inalámbrico, la no calibración del sensor a señales sísmicas reales y la posición variante del sensor, factores que en conjunto no permiten total caracterización de las señales recibidas por el dispositivo de procesamiento y visualización.
- En la metodología expuesta en este trabajo no se puede caracterizar el tipo de onda y se limitó a interpretar la ausencia o presencia y cantidad de movimiento en áreas cercanas al sensor geófono.

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- El dispositivo de comunicación inalámbrica para un sismógrafo debe ser el de menos consumo del mercado y eso lo dictaminan la cantidad de electrónica adicional a la radio que tienen, el que se utilizó para este trabajo fue perfecto para el proyecto, pero, a nivel comercial deberá usarse específicamente para lo que se necesita, lo que evitará consumos fantasmas y sobrecostos.
- La red de Zigbee no tuvo interferencias de otras señales como Wifi o Bluetooth. Se pudo comprobar con un analizador de espectro que las señales trabajan en la misma banda, pero con diferentes canales, este es un hecho que deja como conclusión que la tecnología escogida ha sido la indicada.
- La resolución del conversor análogo digital debe aumentar para poder caracterizar mucho mejor la onda, las señales de un geófono tienen una velocidad que supera los 50ms por muestra de la actual solución. En ese mismo instante de tiempo pueden llegar más de 30 señales que se pierden por la resolución del dispositivo.
- Al momento de recibir las tramas API, el software desarrollado en LabView presenta unos picos altos dado que hay pérdidas en algunos instantes de información, en ese momento el programa con la línea de ejecución con la que cuenta, toma esos errores como un pico alto, esto no significa que en ese punto hubo un movimiento brusco en el terreno, en un trabajo futuro se puede mejorar el algoritmo gráfico con el objetivo de eliminar este error.
- No es recomendable colocar un solo dispositivo detector de ondas sísmica, se deben poner un grupo de ellos en diferentes ubicaciones ya que con un solo dispositivo no se pueden medir diferentes variables como la velocidad de propagación de las ondas sísmicas; para poder poner ese grupo de dispositivos es necesario diseñar una nueva versión del software en LabView con el fin de interpolar y promediar los diferentes datos provenientes de los diferentes dispositivos.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

La continuación de este trabajo deberá contener las mejoras adecuadas para que el sismógrafo pueda ser comercial, a continuación, se listan algunos trabajos a futuro:

- Sistema de alimentación y sistema de carga del mismo.
- Red de geófonos en ambientes reales.
- Aplicación móvil para la detección e interpretación en tiempo real de la señal.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## REFERENCIAS

---

### Bibliografía

- Ramírez, J. A., Buitrago, J. A., & Marin, J. I. (2014). RED DE SENSORES DE LARGA DISTANCIA USANDO ZIGBEE. *REVISTA UNIVERSIDAD DEL QUINDIO*, 64.
- Cardona, O. D., & Yamín, L. (13 de DICIEMBRE de 2007). *INFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DE RIESGO DE DESASTRES*. Recuperado el 12 de FEBRERO de 2017, de INFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DE RIESGO DE DESASTRES: <https://www.cepal.org/publicaciones/xml/8/33658/colombiacapi.pdf>
- REPÚBLICA, P. D. (03 de NOVIEMBRE de 2011). *Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres*. Recuperado el 12 de Febrero de 2017, de Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres: [http://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/20501/Dec\\_4\\_147\\_2011.pdf;jsessionid=277E98EF11EF7A74821FA7B6EBA90B94?sequence=1](http://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/20501/Dec_4_147_2011.pdf;jsessionid=277E98EF11EF7A74821FA7B6EBA90B94?sequence=1)
- MINMINAS. (08 de OCTUBRE de 2017). *SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO*. Recuperado el 12 de FEBRERO de 2017, de SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO: <https://www2.sgc.gov.co/Paginas/PageNotFoundError.aspx?requestUrl=https://www2.sgc.gov.co/Servicios-de-informacion-al-ciudadano/Glosario.aspx>
- Restrepo Palacio, R. A., & Ospina Aguirre, J. (2013). *TRABAJO DE GRADO DISEÑO DE UN SISMÓMETRO ELECTROMAGNÉTICO*. Pereira: Unversidad Tecnológica De Pereira.
- MINMINAS. (08 de OCTUBRE de 2017). *SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO*. Recuperado el 12 de FEBRERO de 2017, de CONCEPTOS BASICOS: <https://www2.sgc.gov.co/Paginas/PageNotFoundError.aspx?requestUrl=https://www2.sgc.gov.co/Servicios-de-informacion-al-ciudadano/Glosario.aspx>
- GEOLÓGICO, S. (08 de OCTUBRE de 2017). *SENSOR SISMICO*. Recuperado el 12 de FEBRERO de 2017, de SENSOR SISMICO: <http://200.119.88.135/RSNC/index.php/red-de-estaciones/instrumentacion>
- GUTIERREZ, J., & ALVAREZ, A. (24 de NOVIEMBRE de 2011). *Desarrollo de un prototipo de sistema de alerta y control de eventos de riesgo*. Recuperado el 12 de FEBRERO de 2017, de Desarrollo de un prototipo de sistema de alerta y control de eventos de riesgo:

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

<https://udtelecoproject.wikispaces.com/file/view/Bibliografia%20%28Zotero%29.pdf/324878524/Bibliografia%20%28Zotero%29.pdf>

PANTELEIMON, B. (04 de FEBRERO de 2013). *Construcción de un sismógrafo*. Recuperado el 12 de FEBRERO de 2017, de Construcción de un sismógrafo: <http://www.scienceinschool.org/es/2012/issue23/earthquake>

Prieto Blázquez, J. (27 de enero de 2012). *Introducción a los sistemas inalámbricos*. Recuperado el 12 de febrero de 2017, de Introducción a los sistemas inalámbricos: [https://www.exabyteinformatica.com/uoc/Informatica/Tecnologia\\_y\\_desarrollo\\_en\\_dispositivos\\_moviles/Tecnologia\\_y\\_desarrollo\\_en\\_dispositivos\\_moviles\\_\(Modulo\\_1\).pdf](https://www.exabyteinformatica.com/uoc/Informatica/Tecnologia_y_desarrollo_en_dispositivos_moviles/Tecnologia_y_desarrollo_en_dispositivos_moviles_(Modulo_1).pdf)

Dignani, J. P. (7 de agosto de 2014). *ANÁLISIS DEL PROTOCOLO ZIGBEE*. Recuperado el 12 de febrero de 2017, de ANÁLISIS DEL PROTOCOLO ZIGBEE: [http://postgrado.info.unlp.edu.ar/Carreras/Especializaciones/Redes\\_y\\_Seguridad/Trabajos\\_Finales/Dignanni\\_Jorge\\_Pablo.pdf](http://postgrado.info.unlp.edu.ar/Carreras/Especializaciones/Redes_y_Seguridad/Trabajos_Finales/Dignanni_Jorge_Pablo.pdf)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## APÉNDICE

---

**Apéndice A:** Muestras tomadas por el software en diferentes intervalos de tiempos, en los cuales se puede observar que cuando la amplitud se encuentra entre el rango de 0.9 a 1.2 Voltios está realizando alertas tempranas a posibles desastres naturales.



MUESTRA  
1,2,3,4.xlsx


**Apéndice B:** Código utilizando cuatro muestras en diferentes tiempos donde podemos visualizar en graficas en el programa de simulación Matlab las ondas P y S:



Codigo  
sismografo.txt



 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

FIRMA ESTUDIANTES

*Catherine Ibarra*  
*Lina M Agudelo*  
*Julian Esteban Muñoz S.*

FIRMA ASESOR \_\_\_\_\_

*[Signature]*

FECHA ENTREGA: 08-03-2018

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD \_\_\_\_\_

RECHAZADO \_\_\_      ACEPTADO \_\_\_      ACEPTADO CON MODIFICACIONES \_\_\_

ACTA NO. \_\_\_\_\_

FECHA ENTREGA: \_\_\_\_\_

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD \_\_\_\_\_

ACTA NO. \_\_\_\_\_

FECHA ENTREGA: \_\_\_\_\_